

Aus dem Institut für Tierzucht
(Lehrstuhl für Tierzucht und Allgemeine Landwirtschaftslehre:
Univ.-Prof. Dr. Dr. Martin Förster)
der Tierärztlichen Fakultät der Universität München
Angefertigt unter der Leitung von
Priv.-Doz. Dr. Armin M. Scholz
(Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim)

**Referenzuntersuchungen (Totalzerlegung) zur Ermittlung der Genauigkeit
der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)-Messungen für die
Körperzusammensetzung von Kälbern**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Claudia Carola Musick
aus
Rottweil am Neckar

München 2007

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. Braun
Berichterstatter:	Priv.-Doz. Dr. Scholz
Korreferent:	Univ.-Prof. Dr.Dr. h.c. Stolle

Tag der Promotion: 8. Februar 2008

Meinen Eltern und
meinem Freund

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literatur und Quellen	3
2.1	Körperzusammensetzung	3
2.1.1	Modelle	3
2.1.2	Methoden	5
2.1.2.1	Luftverdrängungs-Plethysmographie (ADP)	6
2.1.2.2	Computer-Tomographie (CT)	7
2.1.2.3	Magnetresonanz-Tomographie (MRT)	8
2.1.2.4	Die Neutronenaktivierungs-Analyse (NAA)	10
2.1.2.5	Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)	11
2.1.2.5.1	Funktionsweise	11
2.1.2.5.2	DXA beim Menschen	14
2.1.2.5.3	DXA beim Tier	14
2.1.2.5.4	Weitere Einsatzgebiete von DXA	29
3	Material und Methodik	30
3.1	Tiermaterial	30
3.2	Haltung und Fütterung	30
3.3	DXA-Methodik	31
3.3.1	DXA in vivo	32
3.3.2	DXA post mortem (Schlachthälften)	33
3.4	Schlachtung und Referenz-Zerlegung	34
3.5	Statistische Analyse	35
4	Ergebnisse	36
4.1	DXA in vivo	36
4.2	DXA Schlachthälften	38
4.3	Schlachtung und Zerlegung	40
4.4	Beziehungen zwischen In-vivo-DXA- und Zerlegungs-Ergebnissen	41
4.4.1	Gesamtmaterial	41

4.4.1.1	Adult normal	41
4.4.1.2	Pädiatrie groß	42
4.4.2	Altersgruppen	42
4.4.2.1	Adult normal	42
4.4.2.2	Pädiatrie groß	43
4.5	Beziehungen zwischen Schlachthälften-DXA- und Zerlegungs-Ergebnissen	45
4.5.1	Gesamtmaterial	45
4.5.1.1	Pädiatrie medium	45
4.5.1.2	Pädiatrie klein	46
4.5.2	Altersgruppen	47
4.5.2.1	Pädiatrie medium	47
4.5.2.2	Pädiatrie klein	48
4.6	Beziehungen zwischen DXA-Scanmodi	49
4.6.1	In vivo	49
4.6.2	Schlachthälften	50
4.6.3	In vivo vs. Schlachthälften	51
5	Diskussion	53
5.1	Anwendung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bei Kälbern	53
5.1.1	Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bei lebenden Kälbern	53
5.1.2	Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bei Schlachtkörperhälften von Kälbern	55
5.2	Schlachtkörperzusammensetzung von Kälbern	56
5.3	Vergleiche zwischen DXA-Werten und Zerlegungs-Ergebnissen	62
5.3.1	Beziehungen zwischen In-vivo-DXA- und Zerlegungs-Ergebnissen	62
5.3.2	Beziehungen zwischen Schlachthälften-DXA- und Zerlegungs-Ergebnissen	66
5.4	Beziehungen zwischen verschiedenen DXA-Scanmodi	68
6	Zusammenfassung	72
7	Summary	74
8	Literaturverzeichnis	76

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Abb.	Abbildung
ADP	Air-displacement plethysmography = Luftverdrängungs-Plethysmographie
A.n.	Scanmodus „Adult normal“
AREA	Projektionsfläche der Knochenmineralfläche in cm ²
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
BMC	Bone Mineral Content = Knochenmineralgehalt in g
BMC%	Percentage of Bone mineral Content = Knochenmineralgehalt in Prozent
BMD	Bone Mineral Density = Knochenmineraldichte in g/cm ²
BONE	Knochengewebe in kg
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
C3	Os carpale III
CA	Chemische Analyse
Ca	Calcium
ca.	zirka
CARWT	Schlachthälftengewicht in kg
Cl	Chlor
CT	Computer-Tomographie
CV	Variationskoeffizient: Standardabweichung/Stichprobenmittel
d.h.	das heißt
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
DPA	Dual-Photonen Absorptiometrie
DXA	Dual Energy X-Ray Absorptiometry = Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie
DXAWT	von DXA ermitteltes Gesamtgewicht in kg
FFM	fettfreie Masse
FAT	Fettgewebe in kg
FAT%	Fettgewebeanteil in Prozent
g	Gramm
Gd	Gadolinium

H	hohes Intensitätsmaximum
HF	Hoch-Frequenz
I	Endintensität der Energie
I_0	Anfangsintensität der Energie
InfWB	Infant Whole Body Software
IWB	Infant Whole Body Software
K	Kalium
KG	Körpergewicht
kg	Kilogramm
keV	Kiloelektronenvolt
kV	Kilovolt
L	niedriges Intensitätsmaximum
l	Liter
LEAN	Magerweichgewebe in kg
LEAN%	Magerweichgewebe in Prozent
ln	natürlicher Logarithmus
LWT	Lebendgewicht in kg
μA	Mikroampere
Mg	Magnesium
mg	Milligramm
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mm^2	Quadratmillimeter
MRS	Magnetresonanz-Spektroskopie
MRT	Magnetresonanz-Tomographie
N	Stickstoff
Na	Natrium
NAA	Neutronenaktivierungs-Analyse
ORX	orchidektomierte Ratten
P	Phosphor
p	statistische Irrtumswahrscheinlichkeit
PedWB	Pediatric Whole Body Software
P.g.	Modus „Pädiatrie groß“
P.k.	Modus „Pädiatrie klein“

P.m.	Modus „Pädiatrie medium“
pQCT	periphere quantitative Computer-Tomographie
PWB	Pediatric Whole Body Software
QCT	quantitative Computer-Tomographie
r	Korrelationskoeffizient
R ²	Bestimmtheitsmaß
RA	Röntgenabsorptiometrie
RVAL	R-Wert
R-Wert	spezifische Weichgewebeverhältniszahl aus DXA in Abhängigkeit von der Röntgenschwächung
S	Schwefel
SEE	Standard Error of Estimation = Standardschätzfehler
T	Zeit
T1-Relaxationszeit	longitudinale Relaxationszeit = Zeitspanne zwischen Ende der Anregung und dem Zurückfallen in den ursprünglichen Zustand
T2-Relaxationszeit	transversale Relaxationszeit = Zeitkonstante, die von der Interaktion der „zurückfallenden“ Protonenspins untereinander abhängt
TE	Echozeit zwischen HF-Impuls und Empfang des Echos
TMR	Totale Mischratio
TR	Wiederholungszeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Impulsen
u.a.	unter anderem
US	Ultraschall
UWW	Unterwasserwägung
v.a.	vor allem
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel

Der Tierversuch wurde unter der Registriernummer 209.1/211-2531.2-7/04 bei der Regierung von Oberbayern angezeigt.

1 Einleitung

Das Interesse für die Körperzusammensetzung der Nutztiere und auch des Menschen ist schon sehr früh in der Geschichte entstanden. Die Möglichkeiten der Erforschung der Körperzusammensetzung waren jedoch auf die Analyse post mortem beschränkt und diese war und ist beim Menschen aus ethischen Gründen bedenklich. Als Ersatz zum Menschen werden oft die verschiedensten Tierarten herangezogen, allen voran das Schwein, da es eine enge physiologische Ähnlichkeit mit dem Menschen aufweist. Die Wissenschaft suchte und sucht jedoch nach neuen Möglichkeiten, die Zusammensetzung tierischer und menschlicher Körper in vivo zu erforschen. Besonders ab der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts wurden verschiedene technische Verfahren entwickelt, welche auch die Körperzusammensetzung ermitteln können. Diese sind beispielsweise die Ultraschallmessung (US), die Computertomographie (CT), die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) und die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA). Die Einsatzgebiete der verschiedenen Verfahren sind vielseitig und für die heutige Veterinär- und Humanmedizin unentbehrlich geworden.

Für die Ernährung des Menschen spielt die Beschaffenheit und der in der Nahrung enthaltene Nährwert eine immer wichtigere Rolle. Deshalb haben auch die Fleischindustrie und die Fleischerzeuger, d.h. die Landwirte, ein Interesse daran zu wissen, in welchem Verhältnis die Anteile an Fett- und Muskelgewebe in dem jeweiligen Tier vorhanden sind. Aufgrund dieses Wissens können dann spezielle Züchtungen in die eine oder andere Richtung vorangetrieben werden. Der Vorteil der In-vivo-Messung liegt darin, die Körperzusammensetzung derjenigen Tiere zu bestimmen, die auch zur Zucht weiter genutzt werden sollen. Früher konnten nur Tiere aus der gleichen Zuchtlinie, niemals aber die Individuen selbst auf Fett- und Magerfleischanteil untersucht werden.

Die Entwicklung und das Wachstum von jungen Nutztieren sind ebenfalls im Hinblick auf Fütterung und Haltung von Bedeutung. Nur durch optimale Züchtung, Haltung und Fütterung und dadurch optimalen Gesundheitszustand kann die heutige Intensivhaltung von Nutztieren zum einen wirtschaftlich sein und zum anderen tierschutzrechtlich Bestand haben.

Ziel dieser Arbeit ist eine Referenzuntersuchung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie, um zu überprüfen, ob diese Methode das Potential besitzt, auf lange Sicht die Standardreferenzmethode der Totalzerlegung beim Kalb abzulösen. Auch werden in dieser Arbeit verschiedene Scanmodi miteinander verglichen, um Unterschiede und Gemeinsamkeiten herauszustellen.

2 Literatur und Quellen

2.1 Körperzusammensetzung

2.1.1 Modelle

HEYMSFIELD et al. (1997) beschreiben in ihrer Arbeit ein „Fünf-Level-Modell“, welches die verschiedenen Möglichkeiten zur Interpretation der Zusammensetzung des Körpers aufzeigt. Die verschiedenen Schichten sind: die atomare Ebene, die molekulare Ebene, die zelluläre Ebene, das Gewebesystem und der gesamte Körper. Wichtig bei dieser Betrachtung ist, dass man sich vor Augen führt, dass der jeweils höhere Level aus den Komponenten des jeweils niedrigeren Levels besteht. Als Beispiel führen HEYMSFIELD et al. (1997) das Fettgewebe an. Das Fettgewebe gehört, wie der Name schon sagt, zum Gewebesystem, beinhaltet aber die Adipozyten auf zellulärer Ebene, Lipide auf molekularer Ebene und Kohlenstoff sowie Wasserstoff und Sauerstoff auf atomarer Ebene.

Ebenso ist ein stabiles Verhältnis der Körperkomponenten zueinander relevant. Nur wenn das Körpergewicht und die Homöostase der Flüssigkeiten aufrechterhalten werden, sind die Relationen zwischen den einzelnen Körperkomponenten innerhalb eines Individuums und zwischen unterschiedlichen Individuen annähernd konstant. Beispielsweise besteht eine relativ stabile Beziehung zwischen Lipiden und Fettgewebe (z.B. Fettmasse = $\sim 0,8 \times$ Fettgewebemasse), obwohl die einen dem molekularen Level zugeordnet werden, während das andere dem Gewebesystem angehört. Die Gesetzmäßigkeit ist innerhalb eines Individuums und zwischen Probanden gültig. Dadurch wird den Forschern die Möglichkeit eröffnet, eine unbekannte Komponente zu erschließen, indem eine bekannte, messbare Eigenschaft in ein stabiles Verhältnis zur unbekanntenen Komponente gestellt wird und so Rückschlüsse gezogen werden können. Die Probanden können Menschen, aber auch Tiere sein.

HEYMSFIELD et al. (1997) stellen ausführlich die einzelnen Stufen vor und beschreiben die möglichen Messmethoden. Wichtig für die atomare Ebene sind vor allem die vier Elemente Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff. Sie sind für über 95% der Körpermasse verantwortlich. Zusammen mit weiteren sieben Elementen (Na, K, P, Cl, Ca, Mg und S) bilden sie sogar über 99,5% der Körpermasse. Mögliche Methoden zur Bestimmung der einzelnen Elemente sind die chemische Analyse (CA), welche beim Menschen an ethische

Grenzen stößt, die Neutronenaktivierungs-Analyse (NAA), die Kalium⁴⁰-Gammaskopie und die Tracer-Verdünnung.

Fünf Hauptgruppen finden bei der molekularen Ebene Beachtung: Lipide, Wasser, Proteine, Kohlenhydrate (z.B. Glykogen) und Mineralstoffe. Mögliche Messmethoden sind die bioelektrische Impedanzanalyse (BIA), die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA), deren Funktionsweise in Kapitel 2.1.2.5.1 beschrieben wird, die Infrarot-Interaktanz, die Unterwasserwägung (UWW) und die auf dem selben Prinzip beruhende neuere Methode der Luftverdrängungs-Plethysmographie (air-displacement plethysmography = ADP).

Auf zellulärer Ebene werden drei Komponenten unterschieden: die Zellmasse, die extrazellulären Flüssigkeiten und die extrazellulären Feststoffe, wobei letztere von untergeordnetem medizinischem Interesse sind, da sie hauptsächlich aus Knochenmineralien, Kollagen, retikulären und elastischen Fasern bestehen. Messmethode der Wahl ist hier die Tracer-Verdünnung.

Das Gewebesystem wird unterteilt in Fettgewebe, Skelettmuskulatur, Knochen, Eingeweide und Gehirn. Zur Messung dieser Gewebe stehen hauptsächlich die bildgebenden Verfahren im Vordergrund: Computertomographie (CT), Magnetresonanztomographie (MRT), Sonographie mit Ultraschall und auch Ausscheidungsanalysen von Kreatinin und 3-Methyl-Histidin.

Zur Betrachtung des gesamten Körpers dient die Anthropometrie, welche sich ausgesuchter Körpermaße wie dem Körpergewicht, der Körperlänge, dem Umfang und der Länge bestimmter Körperregionen und der Hautfaltendicke bedient und beispielsweise im Body Mass Index (Körpergewicht/Körperlänge²) Anwendung findet.

Aus dem „Fünf-Level-Modell“ von HEYMSFIELD et al. (1997) lassen sich verschiedene Komponenten-Modelle zur Körperzusammensetzung ableiten. ELLIS (2000) gibt hierzu einen Überblick. Das Basismodell stellt das Zweikomponenten-Modell dar, welches den Körper in zwei Teile aufteilt. Ein Teil beinhaltet das Körperfett, während alle verbleibenden Gewebe in einem zweiten Teil zusammengefasst werden, der fettfreien Masse (FFM). Es wird angenommen, dass der Wassergehalt in der FFM für alle Altersgruppen des Menschen konstant ist und bei 73,2% liegt. Beide Teile zusammen ergeben die Körpermasse eines Probanden. Das nachfolgende Dreikomponenten-Modell teilt die FFM in enthaltenes Wasser und verbleibende Feststoffe (hauptsächlich Proteine und Mineralstoffe). Für dieses Modell wird die Dichte des Wassers, des Fettgewebes und der körpereigenen Feststoffe benötigt. Eine weitere Unterteilung der fettfreien Masse in Gesamtkörperwasser, Proteine und Mineralstoffe führt zum Vierkomponenten-Modell. Eine Modifikation des selbigen teilt die FFM in

Körperzellmasse, extrazelluläre Flüssigkeit und extrazelluläre Feststoffe auf. Wenn man die Mineralstoffe noch weiter in Knochenmineralstoffe und freie Mineralstoffe unterteilt und zusätzlich die Kohlenhydrate von den Proteinen abgrenzt, erreicht man die Ebene des Sechskomponenten-Modells. Die bei ELLIS (2000) erwähnten Multikomponenten-Modelle beziehen sich auf das von HEYMSFIELD et al. (1997) ausgeführte „Fünf-Level-Modell“, womit sich der Kreis wieder schließt.

2.1.2 Methoden

Die verschiedenen Messmethoden kann man nach DEURENBERG and SCHUTZ (1995) in direkte und indirekte Methoden unterteilen. Die direkten Methoden beinhalten die chemische Analyse (CA) von Körpern und die Neutronenaktivierungs-Analyse (NAA), welche beide in der Lage sind, aus dem Körper direkte Rückschlüsse auf dessen Zusammensetzung zu ziehen. Der große Vorteil der NAA liegt darin, dass auch In-vivo-Studien durchgeführt werden können. Die indirekten Methoden umfassen die Densitometrie, die Verdünnungstechniken, die K^{40} -Zählmethode, die Anthropometrie, die Infrarot-Absorptiometrie, die Ultraschallmessungen, die bioelektrische Impedanzanalyse, die Kreatinin- sowie die N-Methylhistidin-Exkretion, die Computertomographie, die Magnetresonanz-Tomographie und die DXA bzw. deren Vorläufer, die Dualphoton-Absorptiometrie (DPA). Die verschiedenen Messungen sind auf bereits erhobene Daten, die aus direkten Messungen stammen und als konstante Annahmen für mindestens eine Komponente vorausgesetzt werden, angewiesen. Dies wird im Kapitel 2.1.2.5.1 über die Funktionsweise von DXA noch verdeutlicht werden.

Die erwähnten Messmethoden werden ausführlich bei verschiedenen Autoren beschrieben (LUKASKI, 1987; DEURENBERG and SCHUTZ, 1995; HEYMSFIELD et al., 1997; ELLIS, 2000; YASUMURA et al., 2000 und MITCHELL and SCHOLZ, 2001). Die Funktionsweisen von ADP, CT, MRT und NAA werden zum Verständnis in einer kurzen Abhandlung beschrieben. Das Prinzip der DXA-Methodik wird in Kapitel 2.1.2.5.1 ausführlicher besprochen.

2.1.2.1 Luftverdrängungs-Plethysmographie (ADP)

Die Luftverdrängungs-Plethysmographie (air-displacement plethysmography = ADP) ist ein Verfahren, welches nicht bildgebend ist, sondern auf dem Prinzip der Volumenverdrängung basiert und somit zu den Densitometrien gezählt wird. Der statische Auftrieb eines sich in Flüssigkeit – oder Gas – befindlichen Körpers ist nach dem Archimedischen Prinzip gleich dem Gewicht der – des – von ihm verdrängten Flüssigkeit – Gases (DTV LEXIKON, 1999). Daraus lässt sich über die bekannte Dichte der Flüssigkeit oder des Gases und des Gewichtes des Körpers die spezifische Dichte des Körpers errechnen.

Die zuerst verwendete Messmethode, welche auf diesem Prinzip basiert, ist die Unterwasserwägung (UWW). Dieser liegt ein Zweikomponenten-Modell zugrunde. In dem klassischen Zweikomponenten-Modell der Körperzusammensetzung kann das Körpergewicht in Fettfraktion und fettfreie Fraktion geteilt werden (ELLIS, 2000). Der Anwendung der densitometrischen Methode wohnt die Anerkennung einiger grundlegender Annahmen inne. Es wird vorausgesetzt, dass die chemische Zusammensetzung des fettfreien Körpers relativ konstant ist, so dass die Dichte der fettfreien Masse sich beträchtlich von der des Fettes unterscheidet (1,100 vs. 0,900g/cm³). Andere Annahmen beinhalten ein konstantes Hydratationsniveau und ein gleichbleibendes Verhältnis von Knochenmineralstoffen (z.B. Skelett) zu Muskelmasse im fettfreien Körper (LUKASKI, 1987). Bei einem lebenden Organismus kann man jedoch nicht automatisch von einer Konstanz dieser Parameter ausgehen. Es können durchaus individuelle Variationen auftreten, die mit der Tierart und dem Geschlecht zusammenhängen, ebenso wie individuelle Veränderungen in der Dichte, die mit dem Wachstum, der sexuellen Reife, dem Altern, der physischen Aktivität und einer Reihe von Krankheiten einher gehen (ELLIS, 2000). Auch müssen bei dieser Art der Bestimmung der Körperzusammensetzung die im Körper verbleibenden Gase berücksichtigt werden. Diese sind das residuale Lungenvolumen bei der Aspiration und das Gasvolumen im Magen-Darm-Trakt, welches je nach Individuum zwischen 50ml und 300ml liegen kann (LUKASKI, 1987). Die UWW wird in letzter Zeit zunehmend von der ADP abgelöst. Der Vorteil der ADP liegt darin, dass die Probanden nicht mehr komplett unter Wasser tauchen müssen, sondern sich in einer geschlossenen, mit Luft gefüllten Kammer befinden. Somit können auch weniger kooperative Probanden, wie Kinder oder eventuell Tiere, leichter untersucht werden. Jedoch bleiben die oben ausgeführten Ungenauigkeiten auch in diesem System bestehen.

Das ADP-System besteht aus zwei Kammern, die durch eine verschiebbare Membran getrennt sind. In die eine Kammer wird der Proband eingebracht, die andere dient als

Referenzvolumen (ELLIS, 2000). Durch Verschieben der Membran wird eine im Betrag gleich große, im Vorzeichen jedoch entgegengesetzte Volumenänderung der Kammern herbeigeführt (SAINZ and URLANDO, 2003). Aus der bekannten Beziehung von Druck und Volumen lässt sich bei konstanter Temperatur das Volumen der Kammer mit dem Probanden bestimmen (ELLIS, 2000).

SAINZ and URLANDO (2003) beurteilen in ihrer Arbeit die Präzision und Genauigkeit eines neuen ADP-Systems für die Feststellung der Körperzusammensetzung von Kindern. Sie nutzten dafür 24 Phantome, die sie aus Magerfleisch und Fettgewebe von Rindern herstellten. Die Phantome unterschieden sich in der Masse (1,3894-9,9516kg) und im Fettgehalt (2,08-34,40% Fett). Dadurch wurden Kinder vom Zeitpunkt der Geburt bis zu einem Alter von sechs Monaten simuliert. Es wurden Schätzungen von Fettgehalten miteinander verglichen, welche aus der chemischen Analyse (CA), der UWW und der ADP stammten und sehr hoch miteinander korrelierten ($r > 0,99$). Die Regressionsgleichung ($\%Fat_{CA} = 0,996\%Fat_{ADP} + 0,119$; $SEE = 0,600$; $R^2 = 0,997$) unterscheidet sich nicht signifikant von der line of identity ($\%Fat_{CA} = \%Fat_{ADP}$). Die Autoren kamen nach Beendigung ihrer Arbeit zu folgender Schlussfolgerung: Die ADP liefert einen präzisen und genauen Schätzwert für den Fettgehalt von Phantomen, die aus Rindergewebe hergestellt wurden und im pädiatrischen Bereich von Körpermasse und Körperfett liegen.

2.1.2.2 Computer-Tomographie (CT)

Die CT ist ein bildgebendes Verfahren, welches aus der kurativen Medizin heutzutage nicht mehr wegzudenken ist. Dies bezieht sich gleichermaßen auf die Human- sowie die Veterinärmedizin. In der Veterinärmedizin wird die CT allerdings bisher überwiegend im Kleintiersektor angewandt, da die Kosten immer noch verhältnismäßig hoch sind. Mit der CT wird der Körper des Probanden in Querschnittsbildern dargestellt und eine, im Gegensatz zur Übereinanderprojektion bei der konventionellen Röntgenaufnahme, projektionsfreie Darstellung der Organe erreicht. Bei der 1967 von dem englischen Ingenieur HOUNDSFIELD (Nobelpreis 1979) entwickelten und Anfang der 1970er Jahre in die Praxis eingeführten Computertomographie handelt es sich um ein Röntgenschnittverfahren, das zum Bildaufbau einen Computer verwendet. Wie in der konventionellen Radiologie passiert Strahlung einer Röntgenröhre den Probanden und wird von den Organen unterschiedlich geschwächt. Ein gegenüberliegender Kranz von elektronischen Strahlendetektoren misst diese Intensitätsminderung der Röntgenstrahlung hinter dem Probanden. Von einem Computer

werden Millionen von Messungen verschiedener Absorptionen in kleinen Volumenelementen des Körpers errechnet und zu einem Schnittbild zusammengefügt, das dann auf einem Monitor dargestellt wird.

Bei der Inkrementaltechnik wird nach jedem Schnittbild der Tisch mit dem zu untersuchenden Probanden für eine vorgegebene Distanz jeweils für eine Aufnahme in Längsrichtung verschoben, wodurch der Reihe nach Querschnittsbilder der untersuchten Region angefertigt werden. Die so erhaltenen Bilder entsprechen Scheiben von z.B. zwei, acht oder zehn Millimetern Stärke. Diese Technik gestattet eine überlagerungsfreie Abbildung aller Organe. Statt der aus der konventionellen Röntgen-Nativdiagnostik bekannten drei Dichtegruppen (Luft/Fett, Wasser, Knochen) sind über 2000 verschiedene Dichtewerte unterscheidbar, die in bis zu 20 verschiedenen Graustufen abgebildet werden (KAUFFMANN et al., 2001). Wenn von Volumenelementen (Voxel) gesprochen wird, entspricht das einem Bildelement (Pixel), welches beispielsweise 1mm^2 misst und welches eine dritte Dimension hat, die sich aus der Scheibenstärke ableitet (HEYMSFIELD et al., 1997).

In der Erforschung der Körperzusammensetzung kann man die CT-Bilder dazu verwenden, die gesamte Fettgewebemasse in seine subkutanen und viszerale Komponenten aufzuteilen, oder die Magerweichgewebemasse in Skelettmuskulatur und Organmasse. Ebenso kann Knochen aufgrund seiner Dichte als kortikal oder spongiös erkannt werden (ELLIS, 2000).

2.1.2.3 Magnetresonanz-Tomographie (MRT)

Die MRT ist ebenso wie die CT ein bildgebendes Verfahren, welches Gewebe in Volumeneinheiten darstellen kann. Jedoch ist die Funktionsweise gänzlich verschieden zu derjenigen der CT. Die grundlegende Idee der MRT basiert auf einer Interaktion zwischen Kernen von Wasserstoffatomen (Protonen) und Magnetfeldern, die vom MRT-Gerätesystem produziert und kontrolliert werden. Protonen besitzen ein magnetisches Moment, welches dazu führt, dass sie sich als kleine Magnete verhalten. Normalerweise sind diese magnetischen Momente im schwachen Magnetfeld der Erde willkürlich ausgerichtet und sie tendieren dazu, sich gegenseitig aufzuheben (HEYMSFIELD et al., 1997). Wenn man jedoch einen Körper in einem starken Magnetfeld (Größenordnungen stärker als das Erdmagnetfeld) platziert, werden einige Kerne versuchen, sich parallel oder antiparallel zum Magnetfeld auszurichten (ELLIS, 2000).

Für die MRT-Bildgebung ist das „Wasserstoffproton“ von entscheidender Bedeutung, da Wasserstoff in gebundener Form (z.B. an Fettsäuren oder im Zellwasser) sowohl sehr häufig

im Körper vorkommt als auch die höchste Sensitivität in der MRT besitzt. Die Protonen weisen zusätzlich zu ihrer Drehung um die eigene Achse (Spin-Achse) eine Rotation um die Achse des Hauptmagnetfeldes (Präzession) auf. Die Frequenz, mit der sich die Protonen dabei drehen, heißt Präzessionsfrequenz und wird von der Stärke des Hauptmagnetfeldes beeinflusst: je höher die Magnetfeldstärke, desto größer die Präzessionsfrequenz. Sie wird auch Larmorfrequenz genannt und verhält sich proportional zur Stärke des Magnetfeldes (KAUFFMANN et al., 2001). Wenn man Hochfrequenz(HF)-Impulse, die der Larmorfrequenz entsprechen, senkrecht zum Magnetfeld einstrahlt, werden die Protonen diese Energie absorbieren und ihre Ausrichtung ändern. Schaltet man den HF-Impuls ab, verlieren die Protonen ihre Ausrichtung und geben die gespeicherte Energie wieder ab (ELLIS, 2000). Das Signal, welches bei der Energieabgabe entsteht, wird dazu verwendet, Magnetresonanz-Bilder herzustellen.

Die Zeit (T), welche die Protonen benötigen, um zu ihrer ursprünglichen Position zurück zu finden, ist eine Funktion von zwei Parametern, der longitudinalen Relaxationszeit (T1; Zeitspanne zwischen Ende der Anregung und dem Zurückfallen in den ursprünglichen Zustand) und der transversalen Relaxationszeit (T2). Der T2-Parameter ist eine Zeitkonstante, die von der Interaktion der „zurückfallenden“ Protonenspins untereinander abhängt. Die longitudinale Relaxationszeit (T1) ist eine Konstante, die von der Interaktion zwischen dem „zurückfallenden“ Protonenspin und der umgebenden Gewebestruktur abhängt. Der T1-Wert der Protonen ist im Fettgewebe im Vergleich zu Wasser viel kürzer (~1/4), wodurch es folglich möglich ist, Bilder mit gutem Kontrast von Fettgewebe gegenüber Nicht-Fettgewebe zu erzeugen. Optimaler Bildkontrast benötigt eine Selektion von HF-Impulsfolgen, welche die T1-Unterschiede zwischen den beiden Geweben richtig ausnutzen. Dies wird erreicht, indem man die Parameter TR (Wiederholungszeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Impulsen) und TE (Echozeit zwischen HF-Impuls und Empfang des Echos) verändert. Eine solche Pulsfolge (Spin-echo) variiert den TR-Parameter, um Unterschiede im T1-Wert der verschiedenen Gewebearten auszunutzen und somit hochqualitative Bilder mit Gewebekontrast zu erzeugen. Die T1 gewichtete Pulsfolge wird normalerweise bei der Erforschung der Körperzusammensetzung angewandt. Die T2 gewichteten Bilder werden zur Charakterisierung der akuten Auswirkungen von körperlicher Ertüchtigung auf die Skelettmuskulatur benutzt (HEYMSFIELD et al., 1997).

Der Vorteil der MRT gegenüber der CT liegt darin, dass die MRT ohne ionisierende Strahlung auskommt. Die MRT ist jedoch nach wie vor mit hohen Kosten und einem großen Raumbedarf verbunden.

MITCHELL et al. (2001) benutzten die MRT zur In-vivo-Messung von Volumina verschiedener Organe und Gewebe von insgesamt 111 Schweinen (männlich und weiblich), die ein Körpergewicht von 6,1 bis 97,2kg aufwiesen. In einem Experiment wurden die von der MRT-Messung gewonnenen Volumina der Organe und Gewebe mit den Gewichten, die bei der Sektion ermittelt wurden, verglichen. Für die inneren Organe reichte das Bestimmtheitsmaß (R^2) zwischen der MRT-Volumenmessung und den Organgewichten, die aus der Sektion bestimmt wurden, von 0,64 für das Herz bis zu 0,90 für die Leber. Für Fett- und Muskelgewebe reichte das Bestimmtheitsmaß von 0,82 (Musculus psoas) bis 0,97 (gesamte rechte Oberschenkelmuskulatur). In einer anderen Serie von Experimenten wurden MRT-Volumenmessungen von Fett- und Muskelregionen für die Vorhersage von Fettgewebegehalt, Magerweichgewebegehalt und Proteingehalt, bezogen auf den gesamten Körper, mithilfe von Regressionsgleichungen bewertet. Die Autoren kamen abschließend zu folgendem Ergebnis: Fett- und Muskelvolumenmessungen von genau bestimmten Bereichen aus den Rücken- und Schinkenregionen liefern Informationen für die richtige Vorhersage der Körperzusammensetzung von Schweinen.

2.1.2.4 Die Neutronenaktivierungs-Analyse (NAA)

Die NAA zählt zu den direkten Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung. Sie erlaubt eine direkte Analyse der Elemente im lebenden menschlichen und tierischen Körper. Alternative Techniken, welche die Körperzusammensetzungen von Lebewesen bestimmen können, wie beispielsweise CT, MRT, DXA, bioelektrische Impedanzanalysen (BIA) und Tracer-Verdünnungsmethoden, stellen im allgemeinen Informationen bereit, die mit der Gewebedichte oder deren Volumina zusammenhängen, sie können jedoch nicht die chemische Zusammensetzung von Probanden ermitteln. Die NAA wird aus diesem Grund häufig als Referenzmethode für alternative Techniken verwendet. Heute kann man praktisch alle bedeutenden Elemente des Körpers in vivo bestimmen: Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Kalzium, Phosphor, Natrium, Chlor und Kalium (mit der K^{40} -Zählmethode) (ELLIS, 2000).

Ganzkörper-Neutronenaktivierungs-Systeme, die für In-vivo-Studien entworfen wurden, setzen den Probanden einem abgeschwächten Strahl von beschleunigten Neutronen aus. Das „Einfangen“ dieser Neutronen von Atomen der Zielelemente im Körper führt zur Bildung von instabilen Isotopen, wie z.B. ^{49}Ca und ^{15}N . Diese kehren unter Aussendung ein oder mehrerer Gammaquanten mit für das Element charakteristischer Energie in ihren stabilen

Ausgangszustand zurück. Diese Gammaquanten werden aufgezeichnet und nach Energie und Anzahl pro Zeit ausgewertet. Das Energieniveau ist spezifisch für das Element, der Aktivitätsanteil weist auf seine Häufigkeit hin (LUKASKI et al., 1987). Genauere Angaben zu den verschiedenen Wechselwirkungen der Atome mit den Neutronen und ihre Ausnutzung für die Analytik findet sich bei HEYMSFIELD et al. (1997).

Nachteile der NAA sind die Strahlenexposition des Probanden, die sehr teuren Geräte, die Notwendigkeit spezialisierten Bedienungspersonals und die relativ lange Dauer (bis zu einer Stunde) einer Untersuchung.

2.1.2.5 Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)

2.1.2.5.1 Funktionsweise

In der Arbeit von LUKASKI (1987) wird das Prinzip der Dualphoton-Absorptiometrie (DPA), woraus sich die DXA entwickelt hat, erläutert. Die γ -Strahlenquelle (Gadolinium 153, ^{153}Gd), die bei der DPA Verwendung fand, wurde durch Röntgenstrahlung ersetzt, löste damit mehrere Probleme (die hohen Kosten des Isotops, die relativ kurze Halbwertszeit von 240 Tagen) und führte außerdem zu einem tausendfach höheren Photonenfluss und dadurch zu besserer Bildauflösung mit genauerer Konturfindung (KREFTING, 2005). PIETROBELLI et al. (1996) geben detailliert die physikalischen Grundlagen der DXA wieder und auch MITCHELL and SCHOLZ (2001) führen diese aus.

Die DXA-Geräte wurden ursprünglich für die Osteoporosediagnostik in der Humanmedizin entwickelt. Wenn eine Röntgenstrahl- oder Photonenquelle auf einer Seite eines Objektes platziert wird, hängt die Intensität des Strahles auf der gegenüberliegenden Seite des Objektes von seiner Körpertiefe, Dichte und chemischen Struktur ab. Dieses Abschwächungsphänomen ist ebenso abhängig von der Energie des einfallenden Photons und wird bei niedrigen Energien von zwei Prinzipien dominiert: dem photoelektrischen Effekt und der Compton-Streuung (ELLIS, 2000). Beim atomaren photoelektrischen Effekt wird ein Gammaquant durch die Elektronenhülle eines Atoms vollständig absorbiert. Die Photonenenergie geht dabei auf ein Elektron über, das dadurch in einen angeregten Zustand überführt wird oder die Atomhülle verlässt, falls die Photonenenergie größer ist als die Bindungsenergie des Elektrons. Der Compton-Effekt bezeichnet eine Streuung elektromagnetischer Strahlung (Photonen, Röntgen-, γ -Quanten) an freien oder schwach gebundenen Elektronen. Das Photon

überträgt einen Teil seiner Energie und seines Impulses an das Elektron und fliegt in anderer Richtung mit kleinerer Energie, d.h. größerer Wellenlänge, weiter (DTV LEXIKON, 1999).

Wie der Name schon vermuten lässt, werden bei der DXA zwei verschiedene Energieniveaus verwendet. Bei den heute gängigen Geräten werden zwei verschiedene Techniken angewandt, um die zwei erforderlichen Intensitätsmaxima zu generieren. Entweder wechselt die Spannung der Röntgenröhre zwischen der hohen und der niedrigen Energie hin und her oder es wird über eine konstante Röntgenstrahlung ein Ceriumfilter gelegt. Das Filterelement aus einer seltenen Erde kann die Röntgenstrahlung in zwei Energieniveaus (z.B. 38-40 und ca. 70 keV) aufspalten.

Bei der Durchführung der Messung wird der Proband auf einen Scannertisch gelegt, welcher durch seine Größe und Belastbarkeit die Körpergröße und das Gewicht des Probanden limitiert. In den Tisch ist die Röntgenröhre eingelassen und über dem Probanden befindet sich ein elektronischer Detektor. Beide, die Röntgenröhre und der Detektor, bewegen sich gemeinsam in immer gleichbleibenden, voreingestellten Rasterschritten quer zur Längsachse des Tisches. Der Detektor misst die Intensität der den Probanden durchdringenden Röntgenstrahlung jeweils für die niedrigen (L) und hohen (H) Intensitätsmaxima. Der DXA-Scanner kann eine gewebespezifische Verhältniszahl (R) ermitteln, indem er folgende Werte berücksichtigt: I_0 (L) bezeichnet die Anfangsintensität des niedrigen, I_0 (H) dementsprechend die Anfangsintensität des hohen Energieniveaus; I (L) und I (H) bezeichnen die entsprechenden Endintensitäten. Die Formel für R lautet demnach:

$$R = \ln(I/I_0)_L / \ln(I/I_0)_H.$$

PIETROBELLI et al. (1996) zeigen in ihrer Arbeit, dass der R-Wert mithilfe des Massenschwächungskoeffizienten und der Gewebetiefe auch theoretisch berechnet werden kann. Jedes Element hat einen charakteristischen R-Wert, wobei generell ein höherer R-Wert bei Elementen mit hohen atomaren Massen auftritt. Die R-Werte der einzelnen Körpergewebe unterscheiden sich deshalb auch mehr oder weniger deutlich voneinander. Triglyceride weisen einen R-Wert von 1,2140 bis 1,2333 auf; Proteine mit 1,2906, Glykogene mit 1,3010 und Wasser mit 1,3572 besitzen einen höheren R-Wert und Knochenmineralstoffe bilden die Spitze mit $R=2,8617$. Für komplexe Mischungen, wie sie die Gewebe in der Realität darstellen, reflektiert der gemessene R-Wert den Masseanteil jedes vorhandenen Elementes (HEYMSFIELD et al., 1997). Mithilfe der DXA ist es nun möglich, zwei verschiedene Komponenten voneinander abzugrenzen. Bei der DXA-Messung geht man jedoch von einem

Drei-Komponenten-Modell des menschlichen Körpers aus. Diese drei Komponenten sind Fett, Knochenmineralstoffe und Magerweichgewebe (Abb. 1).

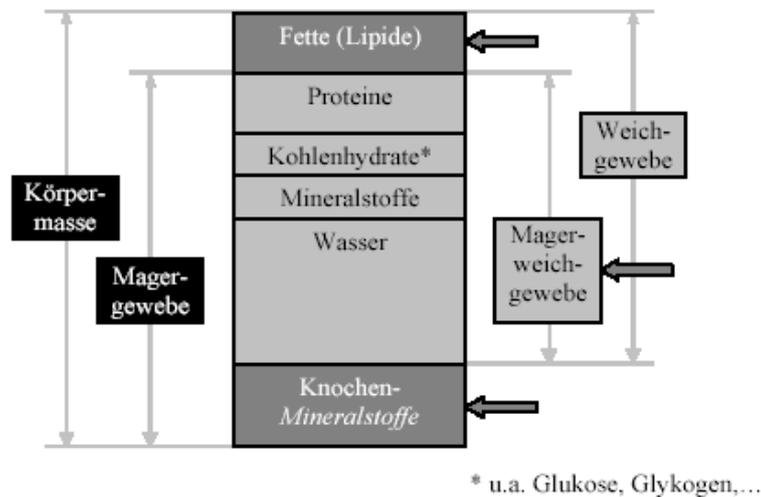


Abb. 1: Das Drei-Komponenten-Modell der Körperzusammensetzung modifiziert nach SCHOLZ et al. (2002).

Um diese Diskrepanz zu überwinden, separiert DXA die einzelnen Pixel in zwei Fraktionen. Die eine enthält nur Weichgewebe (Fett + Magerweichgewebe), während die andere Weichgewebe und Knochenmineralstoffe enthält. Da der R-Wert für Knochenmineralstoffe deutlich höher ist, als derjenige für Weichgewebe, kann die Software die knochenbeinhaltende Fraktion anhand der höheren R-Werte erkennen.

Man muss einen Schwellenwert für R setzen, um zwischen Pixeln zu unterscheiden, die Knochenmineralstoffe enthalten und denjenigen, die alleine aus Weichgewebe bestehen. Da auch Fett- und Magerweichgewebe unterschiedliche R-Werte aufweisen, kann die Software auch zwischen diesen beiden Geweben unterscheiden. Anhand dieser Informationen und komplexen Algorithmen ist die Software in der Lage, Bilder zu erstellen, welche die Grenzen des Skelettes skizzieren können. Dabei wird davon ausgegangen, dass die knochenenthaltenden Pixel nur in zusammenhängenden Gruppen auftreten und keine kleinen „Inseln“ von Knochen auftreten. Kalziumablagerungen in der abdominalen Aorta werden deshalb nicht mit Knochen verwechselt.

Ein Problem besteht allerdings bei denjenigen Pixeln, die Knochen und Weichgewebe enthalten. Um das Weichgewebe zu ermitteln, welches direkt über und unter dem Knochengewebe liegt, geht der Hersteller davon aus, dass dieses das selbe Verhältnis von Fett- zu Magerweichgewebe aufweist, wie innerhalb der Pixel, die sich in der gleichen Scanregion befinden, jedoch keine Knochenmineralstoffe aufweisen (ELLIS, 2000).

2.1.2.5.2 DXA beim Menschen

Die Relevanz der DXA-Messmethode in den verschiedenen Aufgabenfeldern der Medizin wird deutlich, wenn man beispielsweise in der Datenbank PubMed® den Suchbegriff „DXA“ eingibt. Dort finden sich mehrere Tausend Artikel zum Thema der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie. Die Internetseite <http://www.arewus.de/kdm/DXAPrinzip.pdf> gibt Beispiele für die Indikationen von DXA-Messungen. In der Orthopädie und der Unfallchirurgie kann man DXA anwenden für Patienten mit osteologischen Erkrankungen oder mit Verdachtsmomenten auf selbige wie z.B. manifeste Osteoporosen und Osteomalazien, Patienten mit Rückenschmerz und Patienten mit positiven Osteoporose-Risikofaktoren wie genetische Prädisposition, Nutrition, Immobilisation, osteopenische Medikamente (z.B. Glukokortikoide) u.a.. Des Weiteren kann die Überwachung osteologischer Therapien (z.B. Bisphosphonate) eine Verwendung von DXA darstellen, ebenso wie die lokalen und/oder systemischen Fraktur-Abklärungen. In der Sportmedizin kann ein Monitoring der Körperzusammensetzung innerhalb der Reha-Phase und die Compliance während der Trainingsphasen wichtig sein. Auch als Ergänzung zu isometrischen Kraftmessungen u.a. bei verletzungsbedingten Dyssymmetrien verschiedener Muskelgruppen (links/rechts bzw. proximal/distal) kann DXA dienen. Ein zunehmend wichtiger Punkt ist im Bereich des Stoffwechsels angesiedelt und bezieht sich auf das Monitoring der Fettmasse während gewichtsreduktiver Maßnahmen.

2.1.2.5.3 DXA beim Tier

Der Gebrauch von DXA zur Messung des Knochenmineralgehaltes (BMC) und der Knochenmineraldichte (BMD) ist beim Menschen weit verbreitet und wurde an Tiere adaptiert, da Langzeitstudien zur Prüfung der Knochen- und Körperzusammensetzung benötigt wurden. Knochenmineralstoff-Messungen werden an Tiermodellen durchgeführt, um Erkenntnisse über metabolische Knochenerkrankungen, Frakturheilung, künstliche Knochenimplantate und Wirkung von Medikamenten auf den Knochenstoffwechsel zu sammeln (GRIER et al., 1996). In verschiedenen Studien wird DXA an Tieren verwendet, um einen direkten Nutzen für den Menschen daraus zu ziehen.

BRUNTON et al. (1996) führten, der erwähnten Studie vorausgehend, DXA-Scans und chemische Analysen von Ferkeln durch, um die „Pediatric Whole Body“ (PedWB)-Software für die Eignung zur Untersuchung von Kindern zu bewerten. Diese Software führte bei

kleinen Ferkeln (ca. 1,6kg Körpergewicht) zu einer niedrigen Genauigkeit des Ganzkörper-Knochenmineralgehaltes (BMC) und zu einer Überschätzung des Fettgewebes von mehr als 200%. Im Anschluss an diese Ergebnisse stellte der Hersteller ein Upgrade zur PedWB-Software, die InfWB-Software, zur Verfügung. Dieses Upgrade führte zu neuen Messungen mit DXA:

- nochmalige Analyse der Originalscandaten mithilfe der InfWB-Software
- Vergleich der InfWB-Schätzwerte des Knochenmineralgehaltes (BMC), der Magerweichgewebe- und Fettmasse mit der chemischen Analyse.

Andere Überlegungen beinhalteten:

- Methoden der Regionalanalyse
- Artefakte und das „Infant Table Pad“ im Scanbereich.

Das „Infant Table Pad“ ist eine Vorrichtung zur Minimierung der Strahlendosis, welcher die Kinder ausgesetzt werden.

Der mittlere Variationskoeffizient der InfWB-Ganzkörpermessung von kleinen (n=10, Gewicht 1575 ± 73 g) und großen Ferkeln (n=10, Gewicht 5894 ± 208 g) betrug weniger als 2,6%, mit Ausnahme desjenigen der Fettmasse, welcher höher war (8,0% versus 6,3% und 6,6% versus 3,5%) verglichen mit der PedWB-Ganzkörpermessung. Bei großen Ferkeln lieferte die InfWB gute Schätzwerte für BMC, Magerweichgewebe- und Fettmasse. Bei kleinen Ferkeln korrelierten die Werte der InfWB-Messung mit denjenigen der chemischen Analyse, was nicht für die PedWB-Messung galt. Aus dem Softwareupgrade resultierte eine Verbesserung der Schätzwerte von BMC von $27 \pm 2,2$ g auf $32 \pm 2,3$ g (Wert der chemischen Analyse für Asche = $38 \pm 3,3$ g). Die Femur-BMC-Analyse, gemessen mit der InfWB-Software, war verglichen mit der chemischen Analyse präzise und genau. Artefakte im DXA-Scanbereich (Windeln und Decken) führten zu einer Zunahme der DXA-Schätzwerte von Fett- und Weichgewebemasse. Das „Infant Table Pad“ erhöhte bei kleinen Ferkeln den Schätzwert der Fettmasse um 50%, folglich werden weitere Studien benötigt, bevor es routinemäßig verwendet werden kann.

Die Autoren kamen abschließend zu der Feststellung, dass Verbesserungen der DXA-Technologie zu einem genaueren Messinstrument geführt haben unter der Voraussetzung, dass die Scanvorgänge mit Sorgfalt durchgeführt werden.

MOREAU et al. (2001) nutzten männliche Ratten, denen die Hoden inklusive Nebenhoden entfernt wurden (Orchidektomie), als Modell für das Risiko, an Osteoporose zu erkranken, wenn bei Männern Hypogonadismus vorliegt. Hypogonadismus bezeichnet eine hormonale Unterfunktion der Keimdrüsen einschließlich der daraus resultierenden unvollständigen oder fehlenden Ausbildung bzw. Rückbildung der primären und sekundären Geschlechtsmerkmale (DÖCKE, 2000). Die Orchidektomie führt in der Ratte zu einer Imbalanz zwischen Resorption und Aufbau, was zu einem Verlust von Knochenmineralstoffen führt. Die Autoren führten mit den orchidektomierten Ratten (ORX) DXA-Messungen zum Körpergewicht, der Magerweichgewebe- und Fettmasse sowie des Knochenmineralgehaltes (BMC) durch. Es wurden 48 männliche Wistar-Ratten (Albinoratten) im Alter von 18-19 Wochen jeweils 2, 4, 8 und 16 Wochen nach der Operation untersucht. In jeder Gruppe wurden 6 Ratten die Hoden entfernt und 6 Ratten dienten nach einer simulierten Operation als Kontrollgruppe. Die DXA-Messung wurde jeweils als Ganzkörpermessung und als Messung der isolierten Tibia durchgeführt. Dabei wurden folgende Ergebnisse beobachtet: Das Körpergewicht der ORX-Tiere nahm erst nach 16 Wochen signifikant ab, wohingegen der BMC der ORX-Gruppe schon ab der 8. Woche reduziert war. Das eindrucksvollste Resultat war jedoch eine Nettoabnahme der Magerweichgewebemasse der ORX-Tiere um 15,7% nach 16 Wochen, wobei andererseits die Fettmasse unverändert blieb.

JEROME (2004) berichtet in seiner Arbeit über Makaken und Paviane als Modelle für die Erforschung der Knochenumformung während einer Osteoporosetherapie. Bei der Umformung wird besonders auf die Knochenmasse, die Architektur und die Stabilität der Knochen geachtet, was zur Erfüllung der internationalen Richtlinien für die Entwicklung von Arzneimitteln zur Behandlung der Osteoporose vorgeschrieben ist. JEROME (2004) interpretierte einige Arbeiten verschiedener Autoren, welche unterschiedliche Methoden zur Ermittlung der Knochenquantität und Knochenqualität anwandten, wie beispielsweise DXA, quantitative Computertomographie (QCT), Histologie, statische und dynamische Histomorphometrie und biomechanische Tests. Die Osteoporose ist ein bedeutendes Problem, das die Volksgesundheit betrifft und vor allem in den Entwicklungsländern Relevanz hat. Die Krankheit ist gekennzeichnet durch eine niedrige Knochenmasse und eine Verschlechterung der Mikroarchitektur des Knochengewebes, was zu einer erhöhten Zerbrechlichkeit des Knochens und damit zu erhöhtem Frakturrisiko führt. Bei Frauen geht die Osteoporose mit der Reduktion der Östrogene in der Menopause einher. Die Verwendung von Makaken und Paviane als Modell basiert auf folgenden Überlegungen. Diese Affen weisen ähnliche

Umformungsprozesse der Spongiosa und des Kortikalknochens wie bei den Menschen auf, auch ähneln sich der monatliche Menstruationszyklus sowie das Schema der Fortpflanzungshormone. Zudem werden klinische Reaktionen der Kortikalknochen von Affen, deren Skelett ausgereift ist, auf eine Ovariectomie (Entfernung der Eierstöcke) oder andere Stimuli entsprechend der Knochen des Menschen beobachtet. Aus diesen Gründen werden Makaken und Paviane zunehmend herangezogen, um die Wirksamkeit und Sicherheit neuer Osteoporosetherapien zu bewerten. JEROME (2004) zeigte in seiner Arbeit die Wichtigkeit der DXA-Methode an Tiermodellen für die Erforschung neuer Osteoporosetherapien für den Menschen auf.

DXA gewinnt auch für die Veterinärmedizin in jüngster Zeit an Bedeutung. SECOMBE et al. (2002) berichten über die Möglichkeit, DXA zur Erforschung der Lahmheit bei Pferden einzusetzen. Die Erkrankung des Os carpale III (C3) ist eine bedeutende Lahmheitsursache bei Warm- und Vollblutpferden. Die Knochenmineraldichte (BMD) des C3 nimmt infolge Bewegung zu, was die Nachgiebigkeit des Knochens reduziert und ihn für Verletzungen prädisponiert. Momentan ist die native Röntgenaufnahme unter Zuhilfenahme der tangentialen Ansicht die am weitesten verbreitete Diagnosemethode. Die Zunahme der BMD stellt sich in der Röntgenaufnahme als Sklerose dar, jedoch ist nicht bekannt, ab welcher BMD die Erkrankung beginnt oder ab wann ein erhöhtes Risiko für Frakturen des C3 besteht. Eine quantitative Abschätzung der BMD von C3 bei Pferden würde das Verständnis für die Veränderungen, welche innerhalb des Knochens vor sich gehen, verbessern und als Führungsgröße des Leistungstrainings dienen, da man davon ausgeht, dass eine Änderung der BMD einem Gelenkknorpelschaden voraus geht. Von den verschiedenen nicht-invasiven Methoden zur Ermittlung der Knochenmineralstoffe, die in der Humanmedizin zur Osteoporoseerkennung angewandt werden, sind die Röntgenabsorptiometrie (RA) und DXA die zur Zeit am meisten verwendeten Messmethoden zur quantitativen Knochenmineralanalyse bei Pferden. Die Kosten des Equipments und Schwierigkeiten bei der Durchführung von DXA-Messungen bei lebenden Pferden (Kooperation, Ruhigstellung) schließt diese Technik für den routinemäßigen Gebrauch als diagnostisches Instrument allerdings aus. Die RA ist eine Technik zur objektiven Messung der Photonendichte durch Röntgenaufnahmen, indem man die bekannte Photonendichte eines Aluminiumkeils mit der Photonendichte des Knochens vergleicht. RA könnte klinische Anwendung bei der C3-Analyse von Pferden finden. Kleine Veränderungen des Einfallwinkels bei der Aufnahme in tangentialer Ansicht können jedoch die Ergebnisse signifikant beeinflussen, weshalb man zur

Zeit von der klinischen Nutzung dieser Technik absieht. Momentan sind nicht-invasive Methoden zur quantitativen Analyse von Knochenmineralstoffen des C3 bei Pferden nicht für die klinische Anwendung geeignet.

KUGELBERG et al. (2005) erforschten mithilfe von DXA die systemische Wirkung von lokal angewandten Glukokortikoiden. Dazu verwendeten sie 34 drei Wochen alte Kaninchen, welchen auf einer Seite die Linse vollständig extrahiert wurde und die nach der Operation in 3 Gruppen eingeteilt wurden. Gruppe 1 bekam hoch dosierte (mittlere Dosis 0,27mg/kg KG pro Tag) und Gruppe 2 niedrig dosierte (mittlere Dosis 0,10mg/kg KG pro Tag) Dexamethason-Augentropfen. Diese Kaninchen bekamen zusätzlich postoperativ noch eine subkonjunktivale Betamethason-Injektion. Den Tieren der dritten Gruppe (Kontrollgruppe) wurden lediglich Träger-Augentropfen ohne Wirkstoff verabreicht. Nach acht Wochen Behandlung wurden alle Tiere getötet und der jeweils rechte Femur wurde isoliert und mit der peripheren quantitativen Computertomographie (pQCT) und der DXA-Methode analysiert. Die Autoren kamen zu folgenden Ergebnissen: DXA zeigte, dass diejenigen Kaninchen, welche entweder mit der hohen oder der niedrigen Dosis von Dexamethason Augentropfen behandelt wurden, eine signifikant reduzierte Knochenmineraldichte (BMD) und ebenso einen signifikant reduzierten Knochenmineralgehalt (BMC) des Femurs aufwiesen. Messungen mit pQCT zeigten eine dosisabhängige Reduktion im BMC des Kortikalknochens, von volumetrischer BMD des Kortikalknochens und an kortikalen Arealen. Diese Effekte werden mit einer Hemmung des radialen Femurwachstums, der Stärke des Kortikalknochens und periostaler und endostaler Ausdehnung in Zusammenhang gebracht. Die Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass Dexamethason-Augentropfen einen systemischen Effekt aufweisen, der sich in der Beeinflussung verschiedener Knochenparameter bei jungen Kaninchen widerspiegelt. Weiterführende Studien müssen sich jedoch mit der Frage auseinandersetzen, welche systemischen Auswirkungen sich auf lange Sicht gesehen bei lokaler Anwendung von Glukokortikoiden einstellen. DXA spielt also auch bei Fragen der Medikamentensicherheit in der Veterinärmedizin eine Rolle.

Ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet von DXA bei Tieren ist die Tierzucht und Fleischwirtschaft. SCHOLZ (2002) zeigt in seiner Habilitationsschrift Möglichkeiten zur Anwendung von DXA an Schweinen auf, welche im Dienste der Tierzucht und somit indirekt auch im Dienste der Fleischwirtschaft stehen. Er untersuchte die Körperzusammensetzung von Schweinen und analysierte deren Muskelstoffwechsel anhand von In-vivo-Methoden,

wobei er genetische Einflüsse, wie die Stressanfälligkeit, besonders berücksichtigte. Der Autor vergleicht in seinem Versuch die MRT mit der DXA-Methodik zur Bestimmung der Körperzusammensetzung und begründet die Auswahl dieser nicht-invasiven Methoden gegenüber anderen anhand ausgewählter Literaturlauswertungen. Als Referenzmethode wählte der Autor die chemische Analyse. Er geht auf die Vor- und Nachteile der jeweiligen Methoden ein und kommt zu dem Schluss, dass die DXA-Methodik in der einfachen Handhabung und Datenanalyse sowohl für Ganzkörperuntersuchungen als auch für ausgewählte Körperregionen besticht. Zusätzlich ist DXA neben der quantitativen Computertomographie die einzige nicht-invasive Methode, die direkte Maße zur Knochenmineraldichte liefert. Auch können höchste Genauigkeiten für Ganzkörperuntersuchungen erzielt werden.

In einer Arbeit von MITCHELL et al. (1997) untersuchten die Autoren die Eignung eines DXA-Scanners (Lunar® DPLX) zur Vorhersage der Körperzusammensetzung von Rinderschlachtkörpern. Da eine ganze Schlachtkörperhälfte nicht geeignet ist, innerhalb der Produktionszeit mit den gegebenen DXA-Geräten vermessen zu werden, untersuchten MITCHELL et al. (1997) nur „Dreirippenstücke“ (zusammenhängende Stücke von 9., 10. und 11. Rippe) von 80 Rinderschlachtkörpern. Diese Proben wurden einmal in horizontaler (DXA-1), einmal in vertikaler (DXA-2) Position gescannt und danach in Fett-, Magerfleischgewebe und Knochen zerlegt. Zusätzlich wurde das intramuskuläre Fett mithilfe von Stichproben des Musculus longissimus aus der angrenzenden 12. Rippe chemisch mit einer Soxhlet-Analyse ermittelt und die durch die Zerlegung gewonnenen Fett- und Magerfleisch-Ergebnisse damit angepasst. Diese Anpassung war notwendig, da das intramuskuläre Fettgewebe bei der Zerlegung manuell nicht aus dem Muskel extrahiert werden kann. Der DXA-Wert für Magerfleischgewebe beinhaltet auch Knochengewebe, welches nicht aus Mineralstoffen besteht und wurde daher durch Subtraktion der Summe des durch die Zerlegung gewonnenen Knochens minus des DXA-BMCs korrigiert. Beide DXA-Messungen überschätzten konsequent die Fettmenge im Vergleich mit den Zerlegungsergebnissen. Trotzdem korrelierten die Werte hoch miteinander, egal ob die absolute Fettmenge ($r=0,94$ für DXA-1; $r=0,92$ für DXA-2) oder der Fettgewebeanteil ($r=0,90$ für DXA-1; $r=0,86$ für DXA-2) betrachtet werden. Die Korrelation zwischen der Summe von Magerfleischgewebe, welches bei der Zerlegung ermittelt wurde und den DXA-1 und DXA-2 Messungen war mit $r=0,91$ bzw. $r=0,85$ immer noch hoch. Etwas weniger hoch waren die Korrelationen, wenn man die prozentualen Magerfleischgewebeanteile betrachtete ($r=0,88$ für

DXA-1; $r=0,82$ für DXA-2). Die Autoren kamen abschließend zu dem Ergebnis, dass DXA als nicht-invasive Methode zur Bewertung der Zusammensetzung von Rindfleischstücken angewandt werden kann, wobei allerdings auf die Ausrichtung der Probe während des Scandurchgangs zu achten ist.

MITCHELL et al. (2003) geben ein weiteres Beispiel für den Einsatz von DXA bei Schweinen in der Fleischwirtschaft. Die Autoren nutzten die DXA-Technologie, um die Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinen zu messen, indem sie einen Ganzkörperscan von 262 rechten Schlachtkörperhälften ($42,7 \pm 5,2$ kg) durchführten. Die DXA-Scans wurden im Hinblick auf den prozentualen Fettgehalt ausgewertet, wobei der vollständige Schlachtkörper analysiert wurde und zusätzlich die Schulter, der Schinken, die Lende und die Seitenregionen. Außerdem wurde die Summe von 14 Querschnitten (57,6mm weit) ausgewertet: sechs in der Schulter/Thoraxregion, drei in der Lendenregion und fünf in der Schinkenregion. Das Bestimmtheitsmaß (R^2) einer einzelnen Querschnitt-Scheibe in Bezug auf die DXA-Messung für den gesamten Fettgehalt lag im Bereich von 0,908 bis 0,976. In Bezug auf die chemische Analyse sagte eine einzelne Scheibe der Schinkenregion den Fett- oder Magerweichgewebegehalt der gesamten Schlachtkörperhälfte mit einem R^2 von 0,81 und einem Standardschätzfehler von 2,04 voraus. Gleichungen für die Vorhersage von Fett- und Magerweichgewebe wurden angewandt, um eine separate Gruppe von 65 Schlachtkörperhälften zu analysieren. Diese Gleichungen wurden von MITCHELL in einer früheren Veröffentlichung dargelegt und dienen der Verbesserung der Vorhersage der Körperzusammensetzung.

Die in der Studie von MITCHELL et al. (2003) ermittelten Ergebnisse weisen darauf hin, dass Fett- und Magerweichgewebeanteile von Schlachtkörpern gemessen werden können, indem man einen einfachen Durchgang eines Querschnittscans durchführt, welcher mit der Fließbandproduktion eines Schlachtbetriebes kompatibel ist.

Eine neuere Arbeit von BARTLE et al. (2005) zeigt die Eignung eines DXA-Gerätes in der industriellen Fleischproduktion. Dort ist es notwendig, den Gehalt an Fett und besonders an Magerfleisch im knochenfreien Fleisch in Echtzeit des Produktionsablaufs festzustellen. Kontinuierliche Messungen des Magerfleischanteils für den gesamten Produktionsfluss garantiert der Industrie, die vereinbarten Verträge einzuhalten, ohne Verluste durch „Überproduktion“ hinnehmen zu müssen.

Der Aufbau des verwendeten DXA-Gerätes ist im Vergleich zu dem der eigenen Studie verschieden. Das Gerät ist aus rostfreiem Stahl gefertigt und zusätzlich gegen Staub und Spritzwasser abgedichtet. Das von der Röntgenröhre bei 140kV erzeugte charakteristisch breite Röntgenspektrum wird mithilfe eines Doppelsensorsystems mit zwei schmalbandigen Detektionsbereichen effektiv in zwei Energiegruppen gefiltert. Der Betrieb bei 140kV stellt einen geeigneten Kompromiss zwischen einer adäquaten Penetration der Röntgenstrahlen durch das Produkt (besser bei höheren Energien) und einer adäquaten Empfindlichkeit für die wechselnde Zusammensetzung (begünstigt bei niedrigeren Energien) dar. Das Detektorsystem besteht aus einer Zeile von quadratischen Sensorzellen (Kantenlänge 1-2mm). Nach Durchgang durch das Produkt treffen die Röntgenstrahlen zuerst auf das Niedrigenergie-Detektorelement. Der von diesem nicht absorbierte Anteil wird gefiltert und vom Hochenergie-Detektorelement absorbiert.

KRÖGER et al. (2005) beschreiben in ihrer Arbeit die beträchtliche Verbesserung der Qualitäts- und Prozesskontrollen durch die Einführung von DXA in die industrielle Fleischproduktion. Sie arbeiten mit dem gleichen Gerät wie BARTLE et al. (2005) und vergleichen die Ergebnisse der bei der Produktion ermittelten DXA-Werte für Magerfleisch mit denen der chemischen Analyse. Der Vorteil von DXA liegt darin, dass jedes einzelne Produkt während der Herstellung untersucht werden kann, wohingegen bei der chemischen Analyse nur eine zeitaufwändige Untersuchung einer Stichprobe stattfinden kann. Ein weiterer Pluspunkt liegt in der Visualisierung der zu kontrollierenden Proben. Dadurch können mögliche Verunreinigungen v.a. in den Containern, welche das Fleisch während der Produktion beinhalten, erkannt und z.B. in Verbindung mit einem Metalldetektor, automatisch beseitigt werden.

Bei dem Vergleich der DXA-Ergebnisse für Magerfleisch mit der chemischen Analyse führen die Autoren sehr engen Beziehung von $R^2=0,99$ bzw. $R^2=0,98$, je nach Methode der chemischen Untersuchung, auf.

Ein weiterer interessanter Ansatz für die Verwendung von DXA ist bei SCHOLZ et al. (2006) zu finden. DXA dient hier als Hilfsmittel, um die Auswirkung einer Genmutation auf die Klauen- und Gliedmaßengesundheit von Kälbern zu untersuchen. Die Klauen- und Gliedmaßenerkrankungen spielen in der heutigen Landwirtschaft eine wichtige wirtschaftliche Rolle, so dass deren Verminderung die Wirtschaftlichkeit der Nutztierzucht verbessern kann.

Eine Vielzahl von Veröffentlichungen befasst sich mit Referenzuntersuchungen. Beispielsweise führten FUSCH et al. (1999) eine Studie an Tieren durch, um DXA, Magnetresonanztomographie (MRT) und –spektroskopie (MRS) in Hinblick auf die Messung der Körperzusammensetzung von Neugeborenen zu bewerten. Die Referenzmethode stellte die chemische Analyse dar. Die Tiere, die für den Versuch herangezogen wurden, waren 23 Ferkel mit Körpergewichten im Bereich von 848 bis 7550g und einem Alter von 1 bis 37 Tagen. Um das Gesamtkörperwasser zu bestimmen, wurde bei den Ferkeln die Deuterium-Verdünnungsmethode angewandt. Danach wurden die Tiere getötet und innerhalb von zwei Stunden die Körperzusammensetzung mithilfe MRT, MRS und DXA ermittelt. Der Körper wurde über Nacht bei 4°C gelagert. Am nächsten Morgen wurde der Schlachtkörper homogenisiert und die Proben bis zur Durchführung der chemischen Analyse bei –80°C gelagert. Die Körperzusammensetzung, die bei der chemischen Analyse ermittelt wurde (Prozent des Körpergewichts, Mittelwert \pm Standardabweichung) war wie folgt: Körperwasser 75,3 \pm 3,9%; Gesamtprotein 13,9 \pm 8,8% und Gesamtfett 6,5 \pm 3,7%. Der absolute Gehalt an Fett und Gesamtasche betrug 7-674g, bzw. 35-237g. Die mittlere Hydratation der fettfreien Masse war 0,804 \pm 0,011g/kg und nahm unabhängig vom Alter mit steigendem Körpergewicht ab ($R^2=0,419$). Das Körpergewicht, gemessen mit der elektronischen Waage, zeigte eine sehr enge Beziehung ($R^2=0,999$) in Bezug auf die chemische Analyse, jedoch wurde es von DXA um einen Faktor von 1,2% überschätzt. DXA-BMC stand in sehr enger Beziehung zu den chemisch bestimmten Gehalten von Gesamtasche, Kalzium und Phosphor ($R^2=0,993$; 0,992 bzw. 0,992) und der Kalziumanteil am BMC betrug 44,1 \pm 4,2%. Weiterhin war eine sehr enge Beziehung der DXA-Fettmasse zu dem Gesamtfett, welches bei der chemischen Analyse ermittelt wurde ($R^2=0,961$), vorhanden, ähnliches gilt für die DXA-Magerweichgewebemasse, welche sehr enge Beziehungen zu der fettfreien Masse ($R^2=0,999$) und dem Rohproteingehalt ($R^2=0,982$) aufwies. Um die Präzision und die Genauigkeit der DXA-Messungen zu verbessern, wurden Gleichungen zur Umrechnung entwickelt (Gesamtfett = 1,31 x Fettmasse von DXA gemessen – 68,8; Kalzium = 0,402 x BMC + 1,7). Bei dem Vergleich der MRS mit der chemischen Analyse ergab sich eine sehr enge Beziehung zu dem Fett-zu-Wasser-Verhältnis ($R^2=0,984$) und dem absoluten Fettgehalt ($R^2=0,988$). Der Gesamtfettgehalt zeigte bei der MRT eine sehr enge Beziehung ($R^2=0,913$), allerdings überschätzte die MRT das Gesamtfett um den Faktor 2,46.

Abschließend beurteilten die Autoren aufgrund ihrer Studien DXA und MRS als präzise und genaue Messinstrumente zur Ermittlung der Körperzusammensetzung von Neugeborenen und

stellten sie als wertvolle Instrumente zur nicht-invasiven Feststellung der Wachstumsentwicklung und des Ernährungszustandes von Neugeborenen in Aussicht, wobei die MRS gegenüber DXA den Vorteil aufweist, dass sie keine ionisierende Strahlung verwendet.

Eine weitere Referenzuntersuchung findet sich bei MITCHELL et al. (1998). Die Autoren verwendeten DXA als nicht-invasive Methode zur Messung der Zusammensetzung von Schweineschlachtkörpern. Mit dieser Arbeit versuchten die Autoren zu überprüfen, ob die DXA-Methodik in der modernen Schlachtung als geeignetes Instrument zur Vorhersage der Zusammensetzung von Schlachtkörpern Verwendung finden kann. Insgesamt wurden 181 Schlachtkörperhälften (10 bis 51kg, zugehörig zu Schweinen, mit einer Lebendmasse von ca. 30, 60, 90 und 120kg) mithilfe eines Lunar® (Madison, WI) DPX-L Densitometers gescannt. Die Ergebnisse der DXA-Messungen von Fett, Magerweichgewebe, Knochenmineralstoffen und Gesamtgewebemasse wurden mit den Ergebnissen der chemischen Analyse von Fett, Wasser, Protein, Gesamtsäure und dem Gewicht, welches mit einer Waage ermittelt wurde, verglichen. Der Mittelwert der Gesamtgewebemasse, die von DXA ermittelt wurde, war ein wenig geringer als das mittlere Schlachtgewicht (32,3kg vs. 33,6kg, $P > 0,05$, $R^2 = 0,998$). Obwohl die genaue Messung des Gewichtes für DXA eine notwendige Voraussetzung für die korrekte Funktionsweise des Gerätes ist, ist es kein Beweis dafür, dass DXA Fett, Magerweichgewebe und Knochenmineralstoffe genau voraussagen kann. Diese Vorhersage kommt dadurch zustande, wie DXA die Gewebe, basierend auf der Abschwächung der Röntgenstrahlen und damit der Energie, klassifiziert. Der wichtigste Messwert für die Produktion von Schweinefleisch ist die Menge an Fett im Schlachtkörper. Obwohl eine sehr enge Beziehung besteht ($R^2 = 0,81$), war der Fettanteil in der Schlachtkörperhälfte, welcher von DXA gemessen wurde, kleiner als der mit der chemischen Analyse ermittelte Fettanteil (19,5% vs. 24,9%; $P < 0,001$). Die Autoren stellten des weiteren in ihrer Arbeit fest, dass eine höhere Übereinstimmung zwischen DXA und chemischen Werten bestand, wenn der Schlachtkörper einen höheren Prozentsatz an Fett beinhaltete. Nur bei Fettgehalten von mehr als 30 bis 35% war eine annehmbare Übereinstimmung zwischen DXA und chemischer Analyse vorhanden. Deshalb erstellten die Autoren Regressionsgleichungen, welche die Vorhersage der Werte verbessern sollten. Die DXA-Messung der Magerweichgewebemasse stand in sehr enger Beziehung zu dem Gehalt an Protein ($R^2 = 0,97$) und Wasser ($R^2 = 0,99$) im Schlachtkörper. Das Bestimmtheitsmaß (R^2) zwischen dem DXA-BMC und dem Aschegehalt des Schlachtkörpers war lediglich 0,68; jedoch war die Beziehung zwischen dem DXA-BMC

und dem Schlachtkörpergewicht enger ($R^2=0,93$) als zwischen dem Aschegehalt des Schlachtkörpers und dem Schlachtkörpergewicht ($R^2=0,70$).

Die Autoren führten in ihrer Studie noch weitere Messungen durch. Zum einen wurden die Schlachtkörperhälften weiter in Regionen unterteilt und diese einzeln vermessen und mit der chemischen Analyse dieser Regionen verglichen. Zum andern wurden geschlechtsspezifische Unterschiede gesucht. Dazu wurden 28 Jungsauen und 37 Eber mit einem Schlachtgewicht von ca. 120kg geschlachtet. DXA war in der Lage, die vorhandenen Unterschiede der Geschlechter und Genotypen zu bestimmen.

Abschließend kamen die Autoren zu der Erkenntnis, dass die Ergebnisse ihrer Studie darauf hinweisen, dass DXA zur Bestimmung des Fett-, Magerweichteilgewebe- und Knochenmineralgehalts von Schweineschlachtkörperhälften verwendet werden kann. Ferner werden Verbesserungen der Genauigkeit durch Verfeinerung der Regressionsgleichungen zur Vorhersage der einzelnen Körpergewebe für die Schlachtkörperhälftenanalyse und Analyse der interessierenden Regionen des Schlachtkörpers erwartet.

Eine weitere Studie zur Referenzuntersuchung eines DXA-Gerätes im Vergleich mit der chemischen Analyse (SPEAKMAN et al., 2001) befasste sich mit anderen Spezies: Hunden und Katzen. Das Ziel dieser Studie war einerseits eine Referenzuntersuchung mit anderen Tieren als Schweinen, die bis dorthin als Versuchstiere für den Vergleich von DXA mit der chemischen Analyse eingesetzt wurden. Die verwendeten zehn Katzen und sechs Hunde hatten ein Gewicht von 1,8 bis 22,1kg und entsprachen damit der Gewichtsspanne von Kindern. Andererseits wollten die Autoren mit ihrer Arbeit zeigen, dass eventuelle systematische Fehler bei der „üblichen“ Durchführung der chemischen Analyse vorliegen und damit die Genauigkeit der DXA-Methodik verbessern sowie eine Erklärung für die zum Teil erheblichen individuellen Diskrepanzen finden.

Einen eventuellen Fehler bei der Durchführung der chemischen Analyse sehen die Autoren darin, dass der Körper im Ganzen zerkleinert wird und von diesem Homogenisat Stichproben zur Analyse genommen werden. Wenn man diese Vorgehensweise nun mit der Methodik der DXA-Messung vergleicht, stellt man fest, dass Unterschiede existieren. Die DXA-Messung basiert auf einer Abschwächung von Röntgenstrahlen, welche, ausgehend von zwei Energieniveaus, durch die verschiedenen Gewebearten eines Körpers unterschiedlich stark abgeschwächt werden. Da nur zwei Energieniveaus eingesetzt werden, kann man nur zwischen zwei Gewebearten unterscheiden, entweder zwischen Weichteilgewebe und Knochen oder innerhalb des Weichteilgewebes zwischen Fett- und Magergewebe. Da der

Knochen eine sehr hohe Dichte aufweist, kann das Gewebe ober- und unterhalb des Knochens messtechnisch nicht erfasst werden. Diese technischen Lücken gleicht die Software mit der Annahme aus, dass das Weichteilgewebe rund um den Knochen gleichmäßig verteilt ist und somit die nicht messbaren Teile denen links und rechts vom Knochen entsprechen. Der größte sich hieraus ergebende Fehler liegt bei der Messung des Gehirns, welches vom DXA-Gerät nicht als Weichgewebe erfasst werden kann, da es im Schädel liegt und damit von einem Knochenmantel umgeben ist. Der Fettanteil des Gehirns fließt allerdings bei der chemischen Analyse des Gesamtkörpers mit in die Messung ein. Deshalb haben die Autoren in ihrer Studie die Zerlegung der Körper in einzelne Teile mit der chemischen Analyse kombiniert. Die Ergebnisse zeigten eine sehr hohe Korrelation der jeweiligen Körperkomponenten zueinander ($r=0,982$ für Fettgewebemasse, $r=0,992$ für Körperwasser, $r=0,999$ für Magerweichgewebemasse und $r=1,00$ für Gesamtkörpermasse). Diese Ergebnisse waren jedoch die Mittelwerte aus den gemessenen Einzelkomponenten. Wenn man die Einzelergebnisse betrachtete, ergaben sich zum Teil erhebliche Diskrepanzen, welche die Autoren auf den unterschiedlichen Wassergehalt in den Magerweichgeweben zurückführen.

Auch LUKASKI et al. (1999) haben eine Vergleichsstudie der DXA-Methodik mit der chemischen Analyse veröffentlicht. Diese Studie untersuchte zugleich, ob die Körpertiefe des Schlachtkörpers einen Einfluss auf das Ergebnis aufweist. Dazu verglichen sie DXA-Messungen, die sie jeweils in Brust- und Seitenlage durchführten, mit der Messung der chemischen Zusammensetzung von 20 Schweinen, die zwischen 52 und 113kg wogen. DXA lieferte ähnliche Beurteilungen der Körperzusammensetzung, ob in Brust- oder in Seitenlage, wobei die Messungen in Brustlage eine geringfügig bessere Präzision aufwiesen.

Die Beziehungen zwischen den DXA-Ergebnissen und denen der chemischen Analyse waren für die einzelnen Gewebe jeweils sehr eng ($R^2=0,927-0,998$). Es wurden keine signifikanten Unterschiede in der Bestimmung der Körpermasse, der Fettmasse, der fettfreien Masse und der Magerweichgewebemasse zwischen DXA und chemischer Untersuchung festgestellt. Obwohl DXA die Magerweichgewebemasse und die fettfreie Masse genau gemessen hat, unterschätzte es den Fettgehalt und die Fettmasse signifikant. Die Messfehler, die DXA in Bezug auf Fett gemacht hat, waren jedoch unabhängig von der Körpertiefe, zumindest im Bereich von 15-28cm, den diese Studie umfasste.

Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass DXA eine gültige und genaue Methode zur Bestimmung der Zusammensetzung des Weichgewebes darstellt.

Eine der eigenen Arbeit vergleichbare Veröffentlichung ist diejenige von SCHOLZ et al. (2002). Diese Untersuchung sollte klären, mit welcher Genauigkeit die DXA-Ergebnisse die Resultate aus der Referenzerlegung von Schweineschlachthälften voraussagen können. Die Autoren verwendeten 22 weibliche und 8 männlich kastrierte Mastschweine, die geschlachtet und untersucht wurden. Eine Schlachtkörperhälfte wurde zunächst nach der Referenzerlegung in verschiedene Regionen und danach grobgeweblich zerlegt. Die andere Schlachtkörperhälfte wurde in toto von einem DXA-Gerät gescannt. Verglichen wurden nun die durch die Zerlegung ermittelten Summen der verschiedenen Gewebearten (Fettgehalt, Magerweichgewebeanteil und Knochenmineralgehalt) mit den DXA-Messwerten für die Gewebegehalte der Schlachtkörperhälfte. Danach wurden mithilfe der GE Lunar® DPX-IQ Software-Version 4.7c die DXA-Ergebnisse in Regionen unterteilt, die denjenigen aus der Referenzerlegung entsprachen und wiederum miteinander in Beziehung gestellt.

Die Autoren kamen zusammenfassend zu folgendem Ergebnis: Generell korrelierten die prozentualen Anteile der Gewebe aus grobgeweblicher Zerlegung und DXA-Analyse sehr hoch. Zwischen grobgeweblich ermitteltem Fettgehalt (%) der Teilstücke der linken Schlachthälfte (Schulter + Rücken + Seite + Schinken) und DXA-Messwerten von Geweberegionen der rechten Schlachthälfte (DXA-Fettgehalt % + DXA-Knochenmineralgehalt der Schulter %) bestand eine sehr enge Beziehung ($R^2=0,89$; $SEE=1,30$). Im Vergleich etwas niedriger war die immer noch sehr enge Beziehung zwischen Muskelfleischanteil und DXA-Messwerten ($R^2=0,81$; $SEE=1,57$). Speziell für den Knochengewebeanteil (Knochenmineralanteil) existierten mittlere Beziehungen ($R^2=0,24$; $SEE=0,64$), die zum großen Teil auf die unterschiedlichen Untersuchungsmethoden zurückzuführen waren. Während mittels DXA allein der Knochenmineralanteil ermittelt wird, erhält man aus der Zerlegung das Gewicht der kompletten Knochen, anteilig am Gesamtkörpergewicht. Außerdem kann mittels DXA nicht direkt der Muskelfleischanteil bestimmt werden, sondern nur der Magergewebeanteil, der neben Muskelfleisch alle nicht Fett und Knochenmineral enthaltenden Komponenten umfasst.

Eine weitere Arbeit zur Referenzanalyse von CLARKE et al. (1999) befasst sich mit Schlachtkörperhälften von Schafen im Vergleich zu chemischer Analyse und Zerlegung. An 24 gefrorenen Schafhälften wurden Messergebnisse für das jeweilige Fettgewebe, Magerweichgewebe und den Knochenmineralanteil mit einem DXA-Scanner (Hologic® QDR 4500A) ermittelt. Anschließend wurden diese Hälften partiell in Muskel, Fett und Knochen zerlegt und die ganze Hälfte chemisch analysiert. Die DXA-Messergebnisse korrelierten sehr hoch mit der chemischen Analyse für Fettgewebeanteil ($R^2=0,92$; $SEE=1,2\%$), Fettgewebemasse ($R^2=0,97$; $SEE=163g$) und chemisch ermittelte Magerweichgewebemasse (Protein + Wasser, $R^2=0,98$; $SEE=232g$). Zusätzlich wurden noch von jedem Schlachtkörper die DXA-Messungen und Zerlegungs-Ergebnisse der Keulen-Region ausgewertet. Auch hier korrelierten die Ergebnisse sehr hoch miteinander (Magerweichgewebemasse: $R^2=0,96$, $SEE=115g$; Fettgewebemasse: $R^2=0,93$, $SEE=66g$; Gesamtgewicht: $R^2=0,99$, $SEE=92g$).

Diese Ergebnisse interpretierten die Autoren als Hinweis darauf, dass DXA eine zuverlässige Methode zur Messung der Körperzusammensetzung darstellen kann. Auch zeigte die gute Übereinstimmung der Resultate der Teilkörpermessung und Zerlegung der Keulen-Region eine Möglichkeit auf, aus Teilmessungen auf die Körperzusammensetzung des gesamten Schlachtkörpers zu schließen.

Einen weiteren Aspekt in der Referenzmessung zeigt SCHNEIDER (2003) in ihrer Dissertationsschrift auf. Sie bewertete die Knochendichte und den Mineralstoffgehalt mittels nicht-invasiver Methoden (DXA und pQCT) und verglich diese mit chemischen und physikalischen Analysen. Zudem erfasste sie die Einflüsse von Alter und Knochengröße unter Berücksichtigung der verschiedenen Bezugsgrößen. Sie verwendete paarige Femura von 15 juvenilen ($21,0 \pm 7,7$ Wochen) und 15 adulten ($8,3 \pm 4,2$ Jahre) großrassigen Hunden. Die Femura wurden an sieben Regionen mittels DXA und an fünf Regionen mittels pQCT gemessen. Der jeweils linke Femur wurde zusätzlich einer chemischen und physikalischen Analyse unterzogen.

Bei zusammenfassender Betrachtung zeigten Knochendichte und -mineralisierung deutliche Altersabhängigkeiten, insbesondere bei juvenilen, aber auch bei adulten Hunden. Bei adulten Hunden unterschiedlicher Größe konnte die Autorin einen Zusammenhang zwischen DXA und pQCT wie auch zwischen DXA und den meisten Ergebnissen aus physikalischer und chemischer Analyse nur nach Berücksichtigung von Knochengröße bzw. Knochenlänge herstellen. Die gravimetrische Knochendichte (g/ml) war durch die längenkorrigierten DXA-

Knochendichten (g/cm^3) in etwa gleich gut erfassbar. In Hinblick auf den chemisch bestimmten Kalziumgehalt (g/l) standen selbst nach Längenkorrekturen die DXA-Knochendichten den mit pQCT ermittelten etwas nach.

NAGY and CLAIR (2000) veröffentlichten eine Studie zur Thematik der Überprüfung von Präzision und Genauigkeit der DXA-Methodik zur Bestimmung von BMD, BMC, Fettgewebemasse und Magerweichgewebemasse bei Mäusen. Die Autoren wählten bewusst Mäuse aus, da mit kleinen Tieren sehr viel im Bereich der Fettleibigkeit geforscht wird, es jedoch nur eine begrenzte Anzahl an Methoden gibt, die ihre Körperzusammensetzung analysieren können. Die derzeitige Methode der Wahl ist die direkte chemische Analyse der getöteten Tiere, welche naturgemäß Langzeitstudien ausschließt. Da DXA an lebenden Tieren angewandt werden kann und in der Humanmedizin auch schon längere Zeit zur Analyse der Körperzusammensetzung verwendet wird, wurde mit dieser Arbeit getestet, ob man mit einem peripheren Densitometer (Lunar® PIXImus) und angepasster Software genaue und präzise Ergebnisse zur Körperzusammensetzung von Mäusen erwarten kann.

Zu diesem Zweck wurden 25 männliche Mäuse anästhesiert und dreimal mit einem peripheren Densitometer gescannt. Danach wurden die Mäuse euthanasiert und ihre Körperzusammensetzung mithilfe chemischer Analysen bestimmt. Die Messung wies eine hohe Präzision für BMD (Variationskoeffizient (CV) von 0,84%) und Magerweichgewebemasse (CV=0,86%) auf. Die Präzision für BMC (CV=1,60%) und Fettmasse (CV=2,20%) war hingegen niedriger angesiedelt. Die Genauigkeit wurde bestimmt, indem man die DXA-Daten des ersten Scans mit denen der chemischen Analyse verglich. DXA ermittelte BMC genau, unterschätzte die Magerweichgewebemasse und überschätzte die Fettmasse deutlich: DXA berechnete 100% des BMC, 97% der Magerweichgewebemasse des Kadavers und 209% der Fettmasse der toten Mäuse.

Anhand dieser Resultate entwickelten die Autoren Regressionsgleichungen zur Verbesserung der Vorhersage der chemischen Werte, abgeleitet von den DXA-Messungen. Diese Vorgehensweise war möglich, da die DXA-Werte hoch mit den chemischen Werten korrelierten. Nach dieser Verbesserung der Genauigkeit kamen die Autoren zu dem Schluss, dass das periphere DXA-Gerät ein nützliches Instrument zur Messung der Körperzusammensetzung von Mäusen darstellt, jedoch werden weitere Studien benötigt, um zu klären, ob die in dieser Studie definierten Gleichungen auch bei Mäusen unterschiedlicher Zuchtlinien und anderer Gewichtsgruppen zulässig sind.

Viele der veröffentlichten Studien machen deutlich, dass meistens eine oder mehrere Regressionsgleichungen nötig sind, um die Genauigkeit der DXA-Messungen dorthin gehend zu verbessern, dass ein geeignetes Instrument zur Verfügung steht. Es müsste also in den meisten Fällen eine Änderung der Algorithmen in der Software vorgenommen werden. Dies bedeutet, dass für jede Tierart und jede Gewichtsgruppe dieser Tierart einzelne Software-Varianten zur Verfügung stehen müssten, um DXA über die Forschung hinaus routinemäßig in der Tierzucht oder beispielsweise in der Fleischindustrie verwenden zu können.

2.1.2.5.4 Weitere Einsatzgebiete von DXA

Eine weitere Verwendung findet DXA im Bereich der Flugsicherheit. Die Röntgengeräte bei der Sicherheitskontrolle basieren auf der DXA-Technologie und sind in der Lage alles von der Frucht und organischer Materie bis hin zu Sprengstoffen und Waffen zu entdecken (KRÖGER et al., 2005).

Die industrielle Wollproduktion hat sich die DXA-Technologie ebenfalls zunutze gemacht. DXA wird in diesem Sektor einerseits dazu verwendet, den Gehalt an „reiner“ Wolle zu bestimmen. Als „reine“ Wolle wird das Vlies ohne Verunreinigungen wie Fett, Gras, kleine Steine, Drüsensekrete und andere Materialien, mit denen das Schaf Kontakt hatte, bezeichnet. Nur die „reine“ Wolle wird weiter verarbeitet. Andererseits wird DXA durch die Visualisierung zu einem wichtigen Instrument. Die erzeugten Bilder können Verunreinigungen zeigen, wie z.B. kleine Steine, die in dem dichten Vlies mit bloßem Auge nicht zu erkennen gewesen wären (KRÖGER et al., 2005).

3 Material und Methodik

3.1 Tiermaterial

Im Zeitraum von Juni 2004 bis März 2005 wurden 30 Tiere untersucht, die bis auf eine Ausnahme ausschließlich männlichen Geschlechts waren. Die weiblichen Tiere wurden für die Nachzucht im eigenen Betrieb benötigt. Die Ausnahme stellte eine Zwicke von einem getrennt geschlechtlichen Zwillingpaar dar. Alle Kälber entstammten dem Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München.

Folgende Rassen wurden untersucht: Fleckvieh (8 Tiere), Deutsche Holsteins (4 Tiere), F1-Kreuzungstiere (4 Tiere) und Rückkreuzungen (14 Tiere) dieser beiden Rassen.

Da dieser Versuch sich mit der Arbeit von HAMPE et al. (2005) teilweise überschneiden hat und zum selben Projekt gehört, wurden auch die Modalitäten zur Altersverteilung der Tiere übernommen. Die jüngste Gruppe wurde innerhalb ihrer ersten Lebenswoche in vivo gescannt, die zweite und dritte Gruppe jeweils drei Wochen später. Jede Gruppe beinhaltete zehn Tiere.

3.2 Haltung und Fütterung

Die Probanden wurden direkt post partum in Kälberiglus umgestallt, welche sich im Freien befinden. Sie verblieben dort 14 Tage, um danach in einen Kaltstall verbracht zu werden. In diesem Kaltstall herrscht Gruppenhaltung mit Tiefstreu und Auslauf.

Innerhalb einer Stunde nach der Geburt wurden die Kälber mit 1 Liter Kolostrum gefüttert. In den nachfolgenden 14 Tagen wurden sie zweimal täglich mit 3 Litern körperwarmer Vollmilch aus Nippelheimern getränkt, die in den ersten Tagen vorwiegend von der eigenen Mutter ermolken wurde. Im Kaltstall wurde die Fütterung auf Milchaustauscher, Kraftfutter, Totale Mischration (TMR) und Heu umgestellt. Die verschiedenen Futtermittel setzen sich wie folgt zusammen: Milchaustauscher (Bullilac 50, Firma Inntaler Milchfutter GmbH & Co. KG) mit 22,5% Rohprotein, 19% Rohfett und 50% Magermilchpulver. Kraftfutter (pelletiert)

mit 28,67% Weizen, 42,33% Hafer, 28% Soja und 1% Mineralfutter. TMR (aus eigener Bewirtschaftung) mit 36,6% Grassilage, 56,2% Maissilage, 1,2% Heu, 1,2% Körnermais, 2,4% Rapsschrot und 2,4% Sojaschrot.

Milchaustauscher und Kraftfutter wurden altersabhängig mithilfe von Automaten der Firma Westfalia über Transponder zugeteilt. TMR und Heu sowie frisches Wasser standen ad libitum zur Verfügung.

3.3 DXA-Methodik

Die DXA-Methode basiert auf der unterschiedlichen Abschwächung von Röntgenstrahlen mit zwei verschiedenen Energiegehalten durch die Körperkomponenten Knochen, Fett und Magerweichgewebe. Die Quotienten aus erzeugter und detektierter Intensität werden pro Pixel für beide Energieniveaus berechnet und in ein Verhältnis zueinander gestellt (R-Wert). Die zu unterscheidenden Gewebearten besitzen signifikant unterschiedliche R-Werte. Auf diese Weise kann der Knochenmineralgehalt, die Knochenmineraldichte, die Fettmasse, der Fettgehalt, die Magerweichgewebemasse und der Magerweichgewebeanteil wiedergegeben werden. Eine ausführliche Beschreibung der Funktionsweise wird in Kapitel 2.1.2.5.1 wiedergegeben.

Die zum DXA-Scanner gehörige Software bietet die Möglichkeit verschiedener Scanmodi. In der vorliegenden Studie wurden vier verschiedene Modi verwendet. Diese unterscheiden sich in der Auflösung (Pixelgröße), in der Größe des Quellenkollimators und in der Stromstärke wie folgt voneinander:

Tabelle 1: Unterschiede zwischen den vier Scanmodi

Modus	Quellenkollimator (mm)	Auflösung (mm)	Stromstärke (μA)
Adult normal	1,68	4,8 x 9,6	150
Pädiatrie groß	1,68	3,6 x 7,2	150
Pädiatrie medium	0,84	3,6 x 7,2	300
Pädiatrie klein	0,84	2,4 x 4,8	300

Der Modus „Pädiatrie klein“ hat die höchste Auflösung und „Adult normal“ die kleinste. Die Genauigkeit steht allerdings auch in Wechselwirkung mit der Größe und dem Gewicht des Probanden. Je größer, schwerer und tiefer der Körper des Tieres ist, desto mehr Röntgenstrahlung wird vom Körper absorbiert, und desto weniger kann vom Detektor gemessen werden.

3.3.1 DXA in vivo

Das zu untersuchende Tier wurde mit einem DXA-Scanner (GE Lunar[®] DPX-IQ 240, Software-Version 4.7c) in jeweils zwei verschiedenen Scanmodi („Adult normal“ und „Pädiatrie groß“) einer Ganzkörperanalyse unterzogen. Es wurden die beiden Modi gewählt, die eine größere Körpertiefe zulassen. Zuvor wurde der Proband mit einer Mischspritze von Ketamin (11,5mg/kg) und Xylazin 2%ig (0,2mg/kg) sediert. Die Injektion erfolgte intramuskulär. Anschließend wurde das Lebendgewicht von einer Tierwaage (Balkenwaage) abgelesen und das sedierte Kalb zur Messung in Brustlage auf den Untersuchungstisch verbracht. Die Messung startete kranial am Flotzmaul (siehe Abbildung 2) und dauerte je nach Modus des Scanverfahrens, Größe und Gewicht des Tieres zwischen 13 und 28 Minuten. Die Kälber standen während des gesamten Eingriffs unter ständiger Überwachung. Zum Schutz des DXA-Auflagetisches wurde den Kälbern ein dünnes Baumwolltuch untergelegt und zudem wurden sie mit einem zum Gerät gehörigen Gurt fixiert.

Vor jedem Scandurchgang wurde mithilfe eines Standardprüfkörpers (Kunststoffblock) eine Qualitätskontrolle nach Empfehlung des Herstellers durchgeführt. Die Funktionsfähigkeit und einwandfreie Messqualität des Gerätes wurde dadurch sicher gestellt und dokumentiert.

Der Tierversuch wurde unter der Registriernummer 209.1/211-2531.2-7/04 bei der Regierung von Oberbayern angezeigt.



Abb. 2: In-vivo-Scan eines Kalbes mit DXA Scanner GE Lunar® DPX-IQ 240

3.3.2 DXA post mortem (Schlachthälften)

Die linke Schlachtkörperhälfte wurde so auf dem Scanner-Tisch platziert, dass Kamm und Vorderhese als erste in die Messung mit eingegangen sind (siehe Abbildung 3). Zum Schutz des DXA-Auflagetisches wurden die Schlachtkörperhälften auf eine dünne Kunststoff-Folie gelegt. Wegen der geringeren Körpertiefe der Schlachthälften im Gegensatz zu den lebenden Kälbern, konnten die Modi „Pädiatrie medium“ und „Pädiatrie klein“ zur Anwendung kommen.



Abb. 3: Scan einer Schlachtkörperhälfte mit DXA Scanner GE Lunar[®] DPX-IQ 240

3.4 Schlachtung und Referenz-Zerlegung

Nach der Einhaltung der Wartezeit von 3 Tagen, die der Hersteller für das Sedationsgemisch vorschreibt, wurden die gescannten Probanden zum nächstmöglichen Zeitpunkt im Versuchsschlachthaus der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht in Grub gemäß Tierschutzschlachtverordnung geschlachtet. Direkt vor der Schlachtung wurde von den Tieren nochmals das Lebendgewicht ermittelt.

Die beiden Schlachthälften wurden nach der Schlachtung für 24 Stunden gekühlt und danach mit einer Rohrbahnwaage gewogen (Schlachthälftengewicht, CARWT). Die linke Schlachthälfte wurde anschließend einer DXA-Messung unterzogen, wohingegen die rechte Hälfte im Zerlegeraum des Schlachthofes gemäß der DLG-Schnittführung für Rinder zerlegt wurde. Die Teilstücke der erfolgten Zerlegung wurden aufgeteilt in Vorderviertel und Hinterviertel. Zum Vorderviertel zählten Vorderhese, Bug (weiter unterteilt in Dickes

Bugstück, Falsches Filet, Schaufelstück und Restbug), Brust, Spannrippe, Kamm und Fehlrippe. Das Hinterviertel wurde wie folgt aufgeteilt: Hochrippe, Knochendünnung, Fleischdünnung, Filet, Roastbeef, Keule (mit Unterteilung in Oberschale, Schwanzstück, Blume und Keule) und Hinterhese. Im Anschluß an die Teilstückzerlegung erfolgte eine Totalzerlegung. Dies bedeutet, dass die einzelnen Teilstücke manuell in die Komponenten Magerfleisch (LEAN), Knochen (BONE) und Fett (FAT; inklusive Sehnen und Faszien) aufgeteilt wurden. Die Komponenten wurden einzeln, zugehörig zu dem jeweiligen Teilstück, gewogen und tabellarisch erfaßt. Am Ende konnten die Fett-, Magerfleisch- und Knochenanteile aufsummiert und in eine prozentuale Abhängigkeit zur gesamten Schlachthälfte gebracht werden.

3.5 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung aller Daten erfolgte mit den Programmen MS Excel 2002 (Microsoft Corp./USA) und SAS 8.2 (SAS Institute Inc./USA). Es wurden das Bestimmtheitsmaß (R^2) und der „Standard Error of Estimation“ (SEE, Standardschätzfehler) mittels einer linearen Regression berechnet. Um die statistischen Signifikanzen zu ermitteln, wurden ein F-Test durchgeführt, wobei die Signifikanzgrenze bei $p < 0,05$ gesetzt wurde.

4 Ergebnisse

Mithilfe des DXA-Scanners können folgende Werte ermittelt werden: R-Wert (RVAL ohne Einheit), Knochenmineraldichte (BMD in g/cm^2), Knochenmineralfläche des Probanden (AREA in cm^2), Knochenmineralgehalt (BMC in kg), Weichgewebe – bestehend aus Fettgewebe (FAT in kg) und Magerweichgewebe (LEAN in kg) – und das Gesamtgewicht (DXAWT in kg) als Summe der BMC- und Weichgewebewerte. Zu den jeweiligen absoluten Masseangaben kann der prozentuale Anteil der Gewebe in Bezug auf das Gesamtgewicht errechnet werden.

4.1 DXA in vivo

Die Ergebnisse der DXA-Messungen der Scanmodi „Adult normal“ und „Pädiatrie groß“ sind als Mittelwert und Standardabweichung in Tabelle 2 aufgeführt. Die Ergebnisse beziehen sich auf die Gesamtheit von 30 Tieren. Das durchschnittliche Lebendgewicht aller Kälber beträgt 60,033kg ($\pm 11,340\text{kg}$).

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der DXA-Messergebnisse für Adult normal (A.n.) und Pädiatrie groß (P.g.) – Gesamtmaterial

	RVAL	BMD (g/cm^2)	BMC (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)
A.n.	$1,387 \pm 0,004$	$0,973 \pm 0,085$	$2,117 \pm 0,421$	$2,422 \pm 0,510$	$54,002 \pm 10,312$
P.g.	$1,383 \pm 0,004$	$0,991 \pm 0,086$	$2,185 \pm 0,397$	$2,861 \pm 0,714$	$53,326 \pm 9,348$

	BMC%	FAT%	LEAN%	AREA (cm^2)	DXAWT (kg)
A.n.	$3,624 \pm 0,279$	$4,136 \pm 0,370$	$92,239 \pm 0,463$	2161 ± 282	$58,541 \pm 11,151$
P.g.	$3,749 \pm 0,299$	$4,904 \pm 0,844$	$91,346 \pm 0,919$	2191 ± 259	$58,372 \pm 10,188$

Die nachfolgenden Tabellen 3 und 4 berücksichtigen die In-vivo-Ergebnisse in Bezug auf die Unterteilung der Tiere in drei Altersgruppen. Der jeweilige Mittelwert des Lebendgewichtes beträgt für Gruppe A: 70,400kg ($\pm 7,397$ kg); für Gruppe B: 59,900kg ($\pm 4,458$ kg) und für Gruppe C: 49,800kg ($\pm 10,196$ kg).

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der DXA-Messergebnisse für Adult normal – Altersgruppen; Alter bei In-vivo-Scan: Gruppe A: 47-48 Tage; Gruppe B: 25-34 Tage; Gruppe C: 5-9 Tage

	RVAL	BMD (g/cm ²)	BMC (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)
Gruppe A	1,389 \pm 0,003	1,021 \pm 0,072	2,451 \pm 0,364	2,801 \pm 0,419	63,739 \pm 6,307
Gruppe B	1,388 \pm 0,003	0,955 \pm 0,069	2,074 \pm 0,228	2,349 \pm 0,236	53,472 \pm 4,498
Gruppe C	1,385 \pm 0,003	0,942 \pm 0,099	1,826 \pm 0,408	2,115 \pm 0,580	44,796 \pm 9,100

	BMC%	FAT%	LEAN%	AREA (cm ²)	DXAWT (kg)
Gruppe A	3,541 \pm 0,187	4,057 \pm 0,428	92,402 \pm 0,358	2392 \pm 188	68,991 \pm 6,938
Gruppe B	3,585 \pm 0,319	4,059 \pm 0,231	92,357 \pm 0,295	2171 \pm 175	57,894 \pm 4,832
Gruppe C	3,747 \pm 0,298	4,293 \pm 0,397	91,959 \pm 0,587	1920 \pm 0,256	48,738 \pm 10,031

Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der DXA-Messergebnisse für Pädiatrie groß – Altersgruppen; Alter bei In-vivo-Scan: Gruppe A: 47-48 Tage; Gruppe B: 25-34 Tage; Gruppe C: 5-9 Tage

	RVAL	BMD (g/cm ²)	BMC (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)
Gruppe A	1,385 ± 0,003	1,034 ± 0,067	2,465 ± 0,303	3,187 ± 0,719	61,815 ± 5,528
Gruppe B	1,384 ± 0,003	0,972 ± 0,075	2,172 ± 0,249	2,671 ± 0,468	53,459 ± 4,247
Gruppe C	1,380 ± 0,004	0,967 ± 0,103	1,917 ± 0,434	2,725 ± 0,854	44,704 ± 8,384

	BMC%	FAT%	LEAN%	AREA (cm ²)	DXAWT (kg)
Gruppe A	3,647 ± 0,169	4,709 ± 0,889	91,645 ± 0,852	2378 ± 154	67,467 ± 6,188
Gruppe B	3,727 ± 0,342	4,562 ± 0,508	91,711 ± 0,447	2231 ± 147	58,302 ± 4,789
Gruppe C	3,875 ± 0,335	5,442 ± 0,867	90,684 ± 1,030	1964 ± 270	49,347 ± 9,530

4.2 DXA Schlachthälften

Die mit den Modi „Pädiatrie medium“ und „Pädiatrie klein“ ermittelten Werte werden als Mittelwert und Standardabweichung in Tabelle 5 wiedergegeben. Die Ergebnisse beziehen sich auf das Gesamtmaterial.

Tabelle 5: Mittelwerte und Standardabweichungen der DXA-Messergebnisse für Pädiatrie medium (P.m.) und Pädiatrie klein (P.k.) – Gesamtmaterial

	RVAL	BMD (g/cm ²)	BMC (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)
P.m.	1,386 ± 0,003	0,789 ± 0,054	0,733 ± 0,156	0,675 ± 0,143	14,893 ± 3,204
P.k.	1,385 ± 0,003	0,792 ± 0,053	0,738 ± 0,155	0,697 ± 0,140	14,813 ± 3,180

	BMC%	FAT%	LEAN%	AREA (cm ²)	DXAWT (kg)
P.m.	4,519 ± 0,373	4,167 ± 0,439	91,314 ± 0,600	924 ± 156	16,301 ± 3,474
P.k.	4,565 ± 0,381	4,333 ± 0,632	91,102 ± 0,736	927 ± 153	16,247 ± 3,439

Die Unterteilung in drei Altersgruppen zeigt die Tabellen 6 für den Scanmodus „Pädiatrie medium“ und Tabelle 7 für „Pädiatrie klein“.

Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der DXA-Messergebnisse für Pädiatrie medium – Altersgruppen; Alter bei Schlachtung Gruppe A: 53-57 Tage; Gruppe B: 30-40 Tage; Gruppe C: 11-18 Tage

	RVAL	BMD (g/cm ²)	BMC (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)
Gruppe A	1,389 ± 0,002	0,802 ± 0,051	0,853 ± 0,143	0,764 ± 0,106	17,794 ± 2,186
Gruppe B	1,386 ± 0,002	0,777 ± 0,040	0,723 ± 0,070	0,652 ± 0,096	14,541 ± 1,099
Gruppe C	1,384 ± 0,003	0,789 ± 0,069	0,623 ± 0,151	0,610 ± 0,176	12,345 ± 3,224

	BMC%	FAT%	LEAN%	AREA (cm ²)	DXAWT (kg)
Gruppe A	4,381 ± 0,247	3,930 ± 0,090	91,689 ± 0,271	1058 ± 111	19,410 ± 2,425
Gruppe B	4,546 ± 0,366	4,081 ± 0,329	91,373 ± 0,343	929 ± 62	15,915 ± 1,224
Gruppe C	4,629 ± 0,467	4,491 ± 0,563	90,880 ± 0,773	785 ± 143	13,577 ± 3,517

Tabelle 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der DXA-Messergebnisse für Pädiatrie klein – Altersgruppen; Alter bei Schlachtung Gruppe A: 53-57 Tage; Gruppe B: 30-40 Tage; Gruppe C: 11-18 Tage

	RVAL	BMD (g/cm ²)	BMC (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)
Gruppe A	1,387 ± 0,002	0,806 ± 0,054	0,855 ± 0,146	0,785 ± 0,105	17,692 ± 2,172
Gruppe B	1,386 ± 0,002	0,778 ± 0,039	0,727 ± 0,066	0,668 ± 0,096	14,451 ± 1,093
Gruppe C	1,383 ± 0,003	0,791 ± 0,064	0,630 ± 0,151	0,636 ± 0,172	12,296 ± 3,204

	BMC%	FAT%	LEAN%	AREA (cm ²)	DXAWT (kg)
Gruppe A	4,411 ± 0,258	4,060 ± 0,192	91,529 ± 0,320	1056 ± 110	19,332 ± 2,408
Gruppe B	4,596 ± 0,345	4,205 ± 0,369	91,198 ± 0,480	934 ± 58	15,846 ± 1,208
Gruppe C	4,688 ± 0,488	4,735 ± 0,913	90,577 ± 0,945	791 ± 144	13,562 ± 3,476

4.3 Schlachtung und Zerlegung

Die vom Versuchsschlachthof in Grub erhobenen Ergebnisse sind in Tabelle 8 aufgeführt. Diese Tabelle beinhaltet ebenfalls Mittelwerte und Standardabweichungen.

Tabelle 8: Mittelwerte und Standardabweichungen der Schlacht- und Zerlegeergebnisse – Gesamtmaterial

FAT (kg)	LEAN (kg)	BONE (kg)	FAT%
1,253 ± 0,294	10,725 ± 2,475	4,748 ± 0,852	7,500 ± 1,045
LEAN%	BONE%	CARWT (kg)	
63,613 ± 2,809	28,597 ± 2,680	16,723 ± 3,454	

Die Altersgruppenunterteilung wird in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Mittelwerte und Standardabweichungen der Schlacht- und Zerlegeergebnisse – Altersgruppen; Alter bei Schlachtung Gruppe A: 53-57 Tage; Gruppe B: 30-40 Tage; Gruppe C: 11-18 Tage

	FAT (kg)	LEAN (kg)	BONE (kg)	FAT%
Gruppe A	1,462 ± 0,284	13,110 ± 1,560	5,297 ± 0,805	7,320 ± 0,920
Gruppe B	1,249 ± 0,195	10,396 ± 0,872	4,674 ± 0,395	7,630 ± 0,952
Gruppe C	1,048 ± 0,255	8,670 ± 2,327	4,273 ± 0,972	7,550 ± 1,307
	LEAN%	BONE%	CARWT (kg)	
Gruppe A	65,910 ± 2,182	26,590 ± 2,201	19,900 ± 2,181	
Gruppe B	63,500 ± 1,796	28,620 ± 2,351	16,440 ± 1,239	
Gruppe C	61,430 ± 2,502	30,580 ± 1,984	13,830 ± 3,397	

4.4 Beziehungen zwischen In-vivo-DXA- und Zerlegungs-Ergebnissen

Die DXA-Ergebnisse FAT, FAT%, LEAN, LEAN%, BMC, BMC% und DXAWT wurden mit den Schlachtwerten für Fettgewebe (inklusive Sehnen und Faszien; FAT), Fettgewebeanteil (FAT%); Magerweichgewebe (LEAN), Magerweichgewebeanteil (LEAN%), Knochen (BONE), Knochenanteil (BONE%) und Schlachthälftengewicht (CARWT) bzw. Lebendgewicht (LWT) in Beziehung gesetzt. Die prozentualen Anteile wurden jeweils auf das DXAWT, bzw. auf das Schlachthälftengewicht bezogen.

4.4.1 Gesamtmaterial

4.4.1.1 Adult normal

Sehr enge Beziehungen bestanden für BMC/BONE, LEAN und DXAWT/LWT, eine hohe Beziehung für FAT, eine mittlere Beziehung für BMC% und niedrige Beziehungen für LEAN% und FAT%. Die nachfolgende Tabelle 10 zeigt diese Beziehungen in Zahlenwerten für das Bestimmtheitsmaß und den Standardschätzfehler.

Tabelle 10: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehung der DXA-Werte (Modus Adult normal) zu den Zerlegungs-Ergebnissen – Gesamtmaterial.

	BMC (kg)/BONE (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)	BMC%
R ² (SEE)	0,838 (0,349)	0,419 (0,228)	0,940 (0,617)	0,265 (2,338)
	FAT%	LEAN%	DXAWT (kg)/LWT (kg)	
R ² (SEE)	0,003 (1,062)	0,093 (2,723)	0,985 (1,396)	

Die Beziehungen waren bis auf LEAN% und FAT% signifikant ($p \leq 0,05$).

4.4.1.2 Pädiatrie groß

Der Scanmodus „Pädiatrie groß“ zeigte im Vergleich mit „Adult normal“ vor allem für FAT eine deutlich niedrigere Beziehung. Tabelle 11 gibt die Beziehungen von „Pädiatrie groß“ und Zerlegungs-Ergebnissen wieder.

Tabelle 11: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehung der DXA-Werte (Modus Pädiatrie groß) zu den Zerlegungs-Ergebnissen – Gesamtmaterial.

	BMC (kg)/BONE (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)	BMC%
R^2 (SEE)	0,821 (0,367)	0,286 (0,253)	0,907 (0,768)	0,184 (2,464)
	FAT%	LEAN%	DXAWT (kg)/LWT (kg)	
R^2 (SEE)	0,004 (1,061)	0,024 (2,825)	0,973 (1,909)	

Die Beziehungen waren auch hier bis auf LEAN% und FAT% signifikant ($p \leq 0,05$).

4.4.2 Altersgruppen

4.4.2.1 Adult normal

Die Unterteilung in drei Altersgruppen zeigte deutliche Unterschiede auf, wobei Gruppe A eine sehr enge Beziehung bei den Parametern BMC/BONE, LEAN und DXAWT/LWT, eine mittlere Beziehung bei BMC% und FAT% und eine niedrige Beziehung bei FAT und LEAN% aufwies. Gruppe B war homogener mit sehr engen Beziehungen für FAT und DXAWT/LWT und hohen Beziehungen für BMC/BONE, LEAN, BMC%, FAT% und LEAN%. Gruppe C zeigte wieder deutlichere Unterschiede mit sehr engen Beziehungen für BMC/BONE, LEAN und DXAWT/LWT, einer hohen Beziehung für FAT und niedrigen Beziehungen für BMC%, FAT% und LEAN%. Die Zahlenwerte zeigt Tabelle 12.

Tabelle 12: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehung der DXA-Werte (Modus Adult normal) zu den Zerlegungs-Ergebnissen – Altersgruppen; Gruppe A: 47-57 Tage; Gruppe B: 25-40 Tage; Gruppe C: 5-18 Tage

		BMC (kg)/BONE (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)	BMC%
Gruppe A	R^2 (SEE)	0,841 (0,340)	0,019 (0,299)	0,871 (0,593)	0,184 (2,109)
Gruppe B	R^2 (SEE)	0,608 (0,262)	0,746 (0,104)	0,593 (0,590)	0,532 (1,706)
Gruppe C	R^2 (SEE)	0,818 (0,440)	0,445 (0,202)	0,939 (0,611)	0,012 (2,091)

		FAT%	LEAN%	DXAWT (kg)/LWT (kg)
Gruppe A	R^2 (SEE)	0,203 (0,871)	0,0001 (2,315)	0,987 (0,885)
Gruppe B	R^2 (SEE)	0,488 (0,723)	0,478 (1,376)	0,927 (1,274)
Gruppe C	R^2 (SEE)	0,011 (1,379)	0,011 (2,639)	0,971 (1,834)

Signifikante Beziehungen ($p \leq 0,05$) waren festzustellen in Gruppe A für BMC/BONE, LEAN und DXAWT/LWT, in Gruppe B für alle Parameter und in Gruppe C für BMC/BONE, FAT, LEAN und DXAWT/LWT.

4.4.2.2 Pädiatrie groß

In diesem Modus wurden im Vergleich mit „Adult normal“ in Gruppe A nur für BMC% und FAT%, in Gruppe B für FAT% BMC% und LEAN% andere und in Gruppe C keine anderen Beziehungen gefunden. Das Bestimmtheitsmaß und der Standardschätzfehler für „Pädiatrie groß“ sind in Tabelle 13 aufgeführt.

Tabelle 13: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehung der DXA-Werte (Modus Pädiatrie groß) zu den Zerlegungs-Ergebnissen – Altersgruppen; Gruppe A: 47-57 Tage; Gruppe B: 25-40 Tage; Gruppe C: 5-18 Tage

		BMC (kg)/BONE (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)	BMC%
Gruppe A	R^2 (SEE)	0,849 (0,331)	0,003 (0,301)	0,753 (0,822)	0,141 (2,163)
Gruppe B	R^2 (SEE)	0,514 (0,292)	0,729 (0,108)	0,577 (0,602)	0,355 (2,003)
Gruppe C	R^2 (SEE)	0,815 (0,443)	0,579 (0,176)	0,907 (0,753)	0,001 (2,103)

		FAT%	LEAN%	DXAWT (kg)/LWT (kg)
Gruppe A	R^2 (SEE)	0,287 (0,824)	0,047 (2,260)	0,906 (2,405)
Gruppe B	R^2 (SEE)	0,722 (0,533)	0,001 (1,903)	0,904 (1,463)
Gruppe C	R^2 (SEE)	0,030 (1,366)	0,068 (2,563)	0,974 (1,760)

Signifikante Beziehungen ($p \leq 0,05$) waren festzustellen in Gruppe A für BMC/BONE, LEAN und DXAWT/LWT, in Gruppe B für BMC/BONE, LEAN, FAT, FAT% und DXAWT/LWT und in Gruppe C für BMC/BONE, FAT, LEAN und DXAWT/LWT.

4.5 Beziehungen zwischen Schlachthälften-DXA- und Zerlegungs-Ergebnissen

Es gelten die gleichen Modalitäten wie in 3.3.4.

4.5.1 Gesamtmaterial

4.5.1.1 Pädiatrie medium

Sehr enge Beziehungen waren bei BMC/BONE, LEAN und DXAWT/LWT festzustellen. Eine hohe Beziehung ergab sich für FAT; mittlere Beziehungen konnten für BMC%, FAT% und LEAN% ermittelt werden. Die Zahlenwerte zu diesen Beziehungen zeigt Tabelle 15.

Tabelle 14: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehung der DXA-Werte (Modus Pädiatrie medium) zu den Zerlegungs-Ergebnissen – Gesamtmaterial.

	BMC (kg)/BONE (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)	BMC%
R^2 (SEE)	0,769 (0,417)	0,604 (0,189)	0,979 (0,362)	0,240 (2,379)
	FAT%	LEAN%	DXAWT (kg)/LWT (kg)	
R^2 (SEE)	0,118 (0,999)	0,371 (2,267)	0,992 (0,310)	

Es war nur bei FAT% keine signifikante Beziehung ($p \leq 0,05$) festzustellen.

4.5.1.2 Pädiatrie klein

Die beste Vorhersage der Zerlegungs-Ergebnisse aus den DXA-Werten ergab sich für die Messung des Schlachtkörpers mit dem Modus „Pädiatrie klein“. Die Ergebnisse für die Beziehungen zeigt Tabelle 15, in Abbildung 3 findet sich eine graphische Darstellung für den Parameter FAT.

Tabelle 15: Bestimmtheitsmaß (R²) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehung der DXA-Werte (Modus Pädiatrie klein) zu den Zerlegungs-Ergebnissen – Gesamtmaterial.

	BMC (kg)/BONE (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)	BMC%
R ² (SEE)	0,766 (0,420)	0,643 (0,179)	0,983 (0,329)	0,240 (2,379)
	FAT%	LEAN%	DXAWT (kg)/LWT (kg)	
R ² (SEE)	0,282 (0,902)	0,533 (1,953)	0,993 (0,295)	

Alle Beziehungen waren signifikant (p≤0,05).

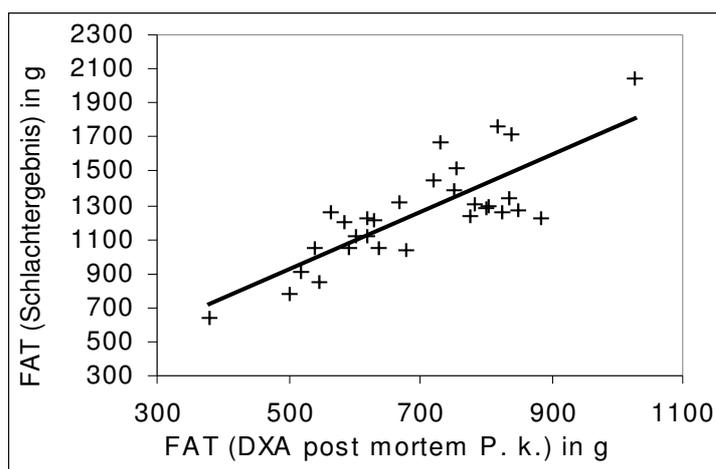


Abbildung 4: Beziehung der DXA-Fettgewebewerte (FAT, Pädiatrie klein) zu den Zerlegungs-Ergebnis für Fettgewebe (R²=0,643; SEE=178,866).

4.5.2 Altersgruppen

4.5.2.1 Pädiatrie medium

Sehr enge Beziehungen zeigten in Gruppe A LEAN und DXAWT/CARWT, hohe Beziehungen BMC/BONE und FAT, mittlere Beziehungen BMC% und LEAN% und eine niedrige Beziehung FAT%. In Gruppe B waren sehr enge Beziehungen bei LEAN und DXAWT/CARWT, hohe Beziehungen bei FAT und FAT% und mittlere Beziehungen bei BMC/BONE, BMC% und LEAN% vorhanden. Gruppe C zeigte enge Beziehungen für BMC/BONE, LEAN und DXAWT/CARWT, eine hohe Beziehung für FAT und mittlere Beziehungen für BMC%, FAT% und LEAN%.

Tabelle 16: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehung der DXA-Werte (Modus Pädiatrie medium) zu den Zerlegungs-Ergebnissen – Altersgruppen; Alter bei Schlachtung Gruppe A: 53-57 Tage; Gruppe B: 30-40 Tage; Gruppe C: 11-18 Tage

		BMC (kg)/BONE (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)	BMC%
Gruppe A	R^2 (SEE)	0,687 (0,478)	0,632 (0,183)	0,930 (0,438)	0,171 (2,126)
Gruppe B	R^2 (SEE)	0,374 (0,331)	0,697 (0,114)	0,881 (0,319)	0,282 (2,113)
Gruppe C	R^2 (SEE)	0,779 (0,485)	0,444 (0,202)	0,991 (0,234)	0,138 (1,954)

		FAT%	LEAN%	DXAWT (kg)/CARWT (kg)
Gruppe A	R^2 (SEE)	0,001 (0,975)	0,100 (2,196)	0,982 (0,307)
Gruppe B	R^2 (SEE)	0,468 (0,737)	0,131 (1,775)	0,972 (0,220)
Gruppe C	R^2 (SEE)	0,104 (1,313)	0,213 (2,354)	0,996 (0,217)

Signifikanzen ($p \leq 0,05$) zeigten folgende Beziehungen: in Gruppe A BMC/BONE, FAT, LEAN und DXAWT/CARWT, in Gruppe B FAT, LEAN, FAT% und DXAWT/CARWT und in Gruppe C BMC/BONE, FAT, LEAN und DXAWT/CARWT.

4.5.2.2 Pädiatrie klein

Es fanden sich einige Unterschiede innerhalb der Gruppen zwischen den Modi „Pädiatrie klein“ und „Pädiatrie medium“. In den Gruppen A und B waren die Bestimmtheitsmaße für FAT und FAT% im Modus „Pädiatrie klein“ deutlich kleiner als im Modus „Pädiatrie medium“. Trotzdem war die Beziehung von FAT in beiden Gruppen immer noch hoch, wohingegen die Beziehung für FAT% in Gruppe B im Modus „Pädiatrie medium“ hoch war und im Modus „Pädiatrie klein“ nur noch als mittel einzustufen war. Innerhalb der Gruppe C sahen die Veränderungen anders aus. Hier erhöhten sich die Werte von R^2 für die Parameter FAT, FAT% und LEAN% deutlich, so dass die hohe Beziehung für FAT im Modus „Pädiatrie medium“ sich im Modus „Pädiatrie klein“ als sehr eng darstellte. Für die Parameter FAT% und LEAN% ergab sich jeweils eine Änderung in den Beziehungen von mittel im Modus „Pädiatrie medium“ zu hoch im Modus „Pädiatrie klein“. Die Zahlenwerte können den Tabellen 16 und 17 entnommen werden.

Tabelle 17: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehung der DXA-Werte (Modus Pädiatrie klein) zu den Zerlegungs-Ergebnissen – Altersgruppen; Alter bei Schlachtung Gruppe A: 53-57 Tage; Gruppe B: 30-40 Tage; Gruppe C: 11-18 Tage

		BMC (kg)/BONE (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)	BMC%
Gruppe A	R^2 (SEE)	0,683 (0,481)	0,547 (0,203)	0,960 (0,330)	0,168 (2,129)
Gruppe B	R^2 (SEE)	0,380 (0,330)	0,446 (0,154)	0,872 (0,331)	0,314 (2,065)
Gruppe C	R^2 (SEE)	0,765 (0,500)	0,741 (0,138)	0,991 (0,235)	0,102 (1,994)

		FAT%	LEAN%	DXAWT (kg)/CARWT (kg)
Gruppe A	R^2 (SEE)	0,0003 (0,976)	0,135 (2,152)	0,987 (0,264)
Gruppe B	R^2 (SEE)	0,136 (0,939)	0,161 (1,745)	0,972 (0,221)
Gruppe C	R^2 (SEE)	0,618 (0,857)	0,655 (1,559)	0,998 (0,177)

Signifikanzen ($p \leq 0,05$) zeigten folgende Beziehungen: in Gruppe A BMC/BONE, FAT, LEAN und DXAWT/CARWT, in Gruppe B FAT, LEAN und DXAWT/CARWT und in Gruppe C BMC/BONE, FAT, LEAN, FAT%, LEAN% und DXAWT/CARWT.

4.6 Beziehungen zwischen DXA-Scanmodi

4.6.1 In vivo

Tabelle 18 zeigt sehr enge Beziehungen zwischen den Scanmodi „Adult normal“ und „Pädiatrie groß“ für RVAL, BMD, BMC, FAT, LEAN, BMC%, AREA und DXAWT. Aber auch die verbleibenden Parameter FAT% und LEAN% haben hohe Beziehungen zueinander.

Tabelle 18: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehungen zwischen den Scanmodi Adult normal und Pädiatrie groß – Gesamtmaterial.

	RVAL	BMD (g/cm ²)	BMC (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)
R ² (SEE)	0,721 (0,002)	0,946 (0,020)	0,967 (0,074)	0,829 (0,301)	0,985 (1,172)
	BMC%	FAT%	LEAN%	AREA (cm ²)	DXAWT (kg)
R ² (SEE)	0,865 (0,112)	0,694 (0,475)	0,682 (0,527)	0,946 (61)	0,989 (1,108)

Alle Beziehungen waren signifikant ($p \leq 0,05$).

4.6.2 Schlachthälften

Wie Tabelle 19 zeigt, bestanden zwischen den Scanmodi „Pädiatrie medium“ und „Pädiatrie klein“ für die Parameter BMD, BMC, FAT, LEAN, BMC%, LEAN%, AREA und DXAWT sehr enge Beziehungen zueinander. Eine hohe Beziehung zueinander hatten RVAL und FAT%.

Tabelle 19: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehungen zwischen den Scanmodi Pädiatrie medium und Pädiatrie klein – Gesamtmaterial.

	RVAL	BMD (g/cm ²)	BMC (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)
R ² (SEE)	0,598 (0,002)	0,985 (0,007)	0,997 (0,008)	0,814 (0,063)	0,999 (0,113)
	BMC%	FAT%	LEAN%	AREA (cm ²)	DXAWT (kg)
R ² (SEE)	0,973 (0,062)	0,591 (0,286)	0,755 (0,302)	0,993 (13)	0,998 (0,148)

Alle Beziehungen waren signifikant ($p \leq 0,05$).

4.6.3 In vivo vs. Schlachthälften

Bei dem Vergleich zwischen In-vivo- und Post-mortem-Scanmodi waren die Beziehungen erwartungsgemäß nicht so eng wie bei den vorangegangenen Vergleichen. Zahlreiche Beziehungen waren jedoch immer noch als hoch anzusehen, wie die folgenden Tabellen 20 bis 23 zeigen.

Tabelle 20: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehungen zwischen den Scanmodi Adult normal (in vivo) und Pädiatrie medium (post mortem) – Gesamtmaterial.

	RVAL	BMD (g/cm ²)	BMC (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)
R ² (SEE)	0,348 (0,003)	0,771 (0,026)	0,957 (0,033)	0,708 (0,078)	0,944 (0,775)
	BMC%	FAT%	LEAN%	AREA (cm ²)	DXAWT (kg)
R ² (SEE)	0,648 (0,225)	0,210 (0,397)	0,355 (0,490)	0,902 (50)	0,944 (0,839)

Tabelle 21: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehungen zwischen den Scanmodi Adult normal (in vivo) und Pädiatrie klein (post mortem) – Gesamtmaterial.

	RVAL	BMD (g/cm ²)	BMC (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)
R ² (SEE)	0,212 (0,003)	0,770 (0,026)	0,955 (0,033)	0,613 (0,089)	0,948 (0,737)
	BMC%	FAT%	LEAN%	AREA (cm ²)	DXAWT (kg)
R ² (SEE)	0,632 (0,235)	0,081 (0,617)	0,208 (0,666)	0,899 (50)	0,949 (0,788)

Tabelle 22: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehungen zwischen den Scanmodi Pädiatrie groß (in vivo) und Pädiatrie medium (post mortem) – Gesamtmaterial.

	RVAL	BMD (g/cm ²)	BMC (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)
R ² (SEE)	0,411 (0,003)	0,720 (0,046)	0,921 (0,114)	0,618 (0,449)	0,912 (2,815)
	BMC%	FAT%	LEAN%	AREA (cm ²)	DXAWT (kg)
R ² (SEE)	0,534 (0,207)	0,258 (0,740)	0,205 (0,834)	0,884 (90)	0,922 (2,903)

Tabelle 23: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Standard Error of Estimation (SEE) für die Beziehungen zwischen den Scanmodi Pädiatrie groß (in vivo) und Pädiatrie klein (post mortem) – Gesamtmaterial.

	RVAL	BMD (g/cm ²)	BMC (kg)	FAT (kg)	LEAN (kg)
R ² (SEE)	0,271 (0,003)	0,724 (0,046)	0,916 (0,118)	0,563 (0,481)	0,917 (2,745)
	BMC%	FAT%	LEAN%	AREA (cm ²)	DXAWT (kg)
R ² (SEE)	0,523 (0,210)	0,161 (0,787)	0,144 (0,865)	0,880 (92)	0,927 (2,796)

Mit Ausnahme von FAT%, gemessen mit den Modi „Adult normal“ und „Pädiatrie klein“, waren alle Regressionskoeffizienten zwischen den betrachteten Scanmodi signifikant ($p \leq 0,05$).

5 Diskussion

5.1 Anwendung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bei Kälbern

5.1.1 Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bei lebenden Kälbern

In der Literatur existieren nur wenige Arbeiten über DXA-Messungen beim Kalb. Da die Versuchsbedingungen mit denen der eigenen Arbeit identisch waren, kann man die In-vivo-DXA-Ergebnisse von HAMPE et al. (2005) mit denen der eigenen Arbeit gut vergleichen. Die Ergebnisinterpretation der oben genannten Autoren erfolgte jedoch nach anderen Gesichtspunkten. Sie betrachteten die einzelnen Rassen und scannten nur 20 der 214 untersuchten Kälber zusätzlich zum „Adult normal“ Modus auch im „Pädiatrie groß“ Modus. Aussagekräftiger ist also der Vergleich der Werte von HAMPE et al. (2005) mit den Ergebnissen des „Adult normal“ Modus der eigenen Arbeit. HAMPE et al. (2005) ermittelten für BMC% 3,65-3,90%, für LEAN% 91,65-92,18% und für FAT% 4,17-4,53%. Die eigene Arbeit brachte unterdessen folgende Ergebnisse: BMC% 3,62%, LEAN% 92,24% und FAT% 4,14%, jeweils für den Scanmodus „Adult normal“. Die geringen Unterschiede in den einzelnen Werte ergeben sich auch aus der Anzahl der Versuchstiere (HAMPE et al., 2005 mit 214 Kälber vs. 30 Kälber in der eigenen Arbeit).

SCHOLZ et al. (2003) untersuchten 62 männliche und 64 weibliche Kälber der Rassen Deutsche Holsteins, Deutsches Fleckvieh und deren F1 und F2 Kreuzungen. Sie scannten diese Tiere in vivo unter leichter Sedation mit einem Lunar® DPX IQ Scanner. Die Ergebnisse der eigenen Arbeit lassen sich mit denen von SCHOLZ et al. (2003) schon deshalb sehr gut vergleichen, da die Autoren die gleiche Unterteilung in drei Altersgruppen vorgenommen haben. Allerdings wurde auch hier nur mit dem Scanmodus „Adult normal“ gescannt. Es gibt jeweils geringe Unterschiede bei den Werten für FAT% (4,17-3,98% vs. 4,29-4,06% in der eigenen Arbeit) und LEAN% (91,89-92,27% vs. 91,96-92,40% in der eigenen Arbeit). Einen etwas größeren Unterschied kann man bei den Werten für BMC% (3,94-3,74% vs. 3,75-3,54% in der eigenen Arbeit) feststellen. Erwähnenswert ist auch, dass der Fettgehalt bei beiden Arbeiten im Verlauf der ersten 50 Lebenstage abnimmt. In der eigenen Arbeit ist ebenfalls eine Abnahme des Fettgewebeanteils von der jüngsten zur

ältesten Gruppe bei den vom Schlachthof ermittelten Ergebnissen zu beobachten (Kapitel 4.3).

SCHOLZ et al. (2003) erwähnen in ihrer Arbeit, dass der Lunar®-Scanner einen offensichtlichen Schwellenwert für Fettwerte bei 3,8% aufweist, was mit der Software im Zusammenhang steht. Wenn ein Körper weniger als 3,8% Fett beinhaltet, gibt das DXA-Gerät trotzdem einen Wert von 3,8% Fett an. Dieses Phänomen könnte eine Messungenauigkeit in der oben erwähnten Fettabnahme begründen.

Die unterschiedliche Hydratation im wachsenden Körper kann jedoch auch für eine eventuelle Messungenauigkeit verantwortlich gemacht werden. MITCHELL and SCHOLZ (2001) beschreiben eine rasche Abnahme des Wassergehaltes innerhalb der fettfreien Körpermasse bei Ferkeln in den ersten Lebenswochen. Auch im Fettgewebe nimmt der Wassergehalt von ca. 85% bei der Geburt auf ca. 5% in der 28. Lebenswoche ab. Dies zeigt, dass nicht das gesamte Körperwasser in der fettfreien Masse zu finden ist.

PIETROBELLI et al. (1998) stellten in einer zum Thema Hydratationsänderung durchgeführten Studie fest, dass sich durch verschiedene Wassergehalte im Weichgewebe RVAL verändert und damit auch die Werte für Fett und Magerweichgewebe. Der sich daraus ergebende Fehler der Fettbestimmung liegt bei einer Hydratationsänderung zwischen 1 und 5% unter 1%. Die Autoren lassen jedoch die Möglichkeit offen, dass Fehler von mehreren Prozent in der Fettbestimmung auftreten können, wenn der Wassergehalt im Weichgewebe sich um 20-25% verändert. Diese Situation kann bei neugeborenen bis wenige Wochen alten Tieren der Fall sein.

MOULTON (1923) erörterte, dass der Wassergehalt von jüngeren Individuen höher ist als von älteren, und dass der Wassergehalt einen höheren Wert annimmt, je jünger das Tier ist. Er führte Untersuchungen an verschiedenen Säugetierarten durch und stellte fest, dass bei Kälbern der Wassergehalt im fettfreien Gewebe zum Zeitpunkt der Geburt bei 76,3% liegt, der Wassergehalt im fettfreien Gewebe von Ferkeln zum Zeitpunkt der Geburt aber bei 82,0%. Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die Hydratationsänderungen bei Kälbern und Ferkeln nicht direkt miteinander verglichen werden können. Es kommt aber bei beiden Tierarten zu einer Abnahme des Körperwassers in den ersten Lebenswochen.

BRUNTON et al. (1996) stellten bei ihrer Arbeit fest, dass Artefakte im DXA-Scanbereich (Windeln und Decken) zu einer Zunahme der DXA-Schätzwerte von Fett- und Weichgewebemasse führten. Das während des DXA-Scans verwendete Baumwolltuch könnte folglich zu einer weiteren Verfälschung der Werte beitragen, wobei der Fehler allerdings immer gleich wäre.

5.1.2 Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bei Schlachtkörperhälften von Kälbern

BASCOM et al. (2002) beschäftigen sich in ihrer Arbeit mit der Schlachtkörperzusammensetzung von fünf Wochen alten Bullenkälbern der Rasse Jersey. Insgesamt wurden 20 Kälber geschlachtet und die Schlachthälften mit einem DXA-Scanner der Firma Hologic® (4500A) gescannt. Zwei der Kälber wurden als Basisreferenz im Alter von einer Woche geschlachtet und untersucht. Die restlichen 18 Probanden wurden mit vier unterschiedlichen Diäten gefüttert und im Alter von fünf Wochen geschlachtet. Die mit DXA ermittelten Fettanteile der Schlachthälften ergaben für die sieben Tage alten Kälber 20,85%, für die restlichen Tiere Werte zwischen 12,79-15,83%. Zusätzlich zu den DXA-Messungen wurden die Schlachthälften chemisch analysiert. Bei dem Vergleich der chemischen Analyse mit den DXA-Werten für Fett-, Rohprotein- und Ascheanteil stellte sich heraus, dass die Bestimmtheitsmaße für alle Parameter unter 0,10 lagen. Daraus folgt, dass in diesem Fall das DXA-Gerät von Hologic® schlechte Voraussagen für die Gewebsanteile der Schlachtkörper von Kälbern trifft.

Die Ergebnisse, welche von DXA für den Fettanteil ermittelt wurden, stimmen mit den eigenen nicht überein, allerdings findet sich hier, wie in der eigenen Arbeit, eine Abnahme des Fettgewebeanteils in den ersten Lebenswochen. In der eigenen Arbeit wurden bei den Kälbern, die im Alter von 11-18 Tagen geschlachtet wurden, Ergebnisse für FAT% von 4,49% im Modus „Pädiatrie medium“ und von 4,74% im Modus „Pädiatrie klein“ erreicht. Bei der Altersgruppe, die zwischen 30 und 40 Tagen geschlachtet wurde, waren die Ergebnisse für FAT% 4,08% im Modus „Pädiatrie medium“ und 4,21% im Modus „Pädiatrie klein“.

Dass die Werte der beiden Arbeiten so unterschiedlich ausfallen, kann zum einen an den verschiedenen Rassen liegen. Ob das Jersey-Rind allerdings einen so viel höheren Fettanteil in der Körperzusammensetzung aufweist, ist unklar, da diese Rinderrasse als reine Milchrasse genutzt wird. Der Fettgehalt in der Milch von Jersey-Kühen ist jedoch deutlich höher als bei allen anderen Rassen.

Wahrscheinlich fällt das unterschiedliche Fabrikat der beiden DXA-Scanner stärker ins Gewicht. Bei diesen beiden Geräten unterscheiden sich mehrere Details. Zum einen ist das Gerät der Firma Hologic® ein Mehrfachdetektor-Fächerstrahl-Densitometer, wohingegen der verwendete Scanner der Firma General Electric® (Lunar® DPX IQ) ein Einzelstrahl Gerät ist. Außerdem werden die beiden verwendeten Energieniveaus unterschiedlich erzeugt. Bei

dem Gerät von Hologic® wechselt die Spannung der Röntgenröhre zwischen der hohen und der niedrigen Energie hin und her (WÜSTER). Daraus resultieren zwei Maxima bei 70 und 110keV. Beim Lunar®-Scanner wird über einen konstanten Röntgenstrahl ein Ceriumfilter gelegt, das die Röntgenstrahlung in ein Spektrum wiederum mit zwei Intensitätsmaxima spreizt (WÜSTER). Hieraus ergeben sich Intensitätsmaxima bei 38 und 70keV. Die in den jeweiligen Geräten verwendeten Algorithmen und die daraus resultierenden R-Werte sind unterschiedlich und können nur für die Lunar®-Scanner von der Herstellerfirma erfragt werden (PIETROBELLI et al., 1996). Daraus ergeben sich verschiedene Softwareprogramme, zu denen es je nach Gerät und zusätzlichen Updates auch verschiedene Versionen gibt. Aus diesem Grund können DXA-Ergebnisse, die von unterschiedlichen Geräten ermittelt wurden nicht vorbehaltlos miteinander verglichen werden, was ebenfalls von TOTHILL et al. (1994) in einer Studie zu vergleichenden Messungen mit Geräten verschiedener Hersteller herausgestellt wurde.

5.2 Schlachtkörperzusammensetzung von Kälbern

In der eigenen Arbeit wurde nach einer grobgeweblichen Zerlegung der Anteil an Fett, Knochen und Magerweichgewebe an der Schlachtkörperhälfte ermittelt. Die gleiche Methode wurde auch bei anderen Autoren angewandt (PERRY and ARTHUR, 1999; BUTTERFIELD et al., 1971; WALDMANN et al., 1969; BARTON and KIRTON, 1961).

In der Arbeit von PERRY and ARTHUR (1999) wurden die Schlachtkörperzusammensetzungen verschiedener Zuchtlinien (High Line, Control Line und Low Line) der Rasse Angus miteinander verglichen. Es wurden nur männliche Tiere in den Versuch aufgenommen. Unmittelbar nach der Geburt wurden 12 Kälber geschlachtet, jeweils vier stellvertretend für jede Zuchtlinie. Die übrigen 79 Tiere wurden mit ca. 7, 12, 27, 35 und von 44 bis 47 Monaten geschlachtet und zerlegt. Von den im Versuch verwendeten Tieren können nur diejenigen mit denen in der eigenen Arbeit verglichen werden, die im Alter von einem Tag geschlachtet wurden. Die absoluten Zahlen für Muskelmasse (7,5-10,8kg), Knochengewebe (3,5-4,9kg) und subkutanen sowie intermuskuläres Fettgewebe (1,4-1,9kg) stimmen mit den Zahlen der eigenen Arbeit mit Ausnahme des Fettgewebes (Magerweichgewebe 8,7kg; Knochengewebe 4,3kg und Fettgewebe 1,0kg) gut überein. In beiden Fällen wurde jeweils die rechte Schlachtkörperhälfte in die einzelnen Gewebearten zerlegt. Allerdings stimmt das Alter zum Zeitpunkt der Schlachtung nicht überein. Die Kälber

bei PERRY and ARTHUR (1999) wurden mit einem Tag geschlachtet, die Tiere der eigenen Arbeit in einem Alter von 11 bis 18 Tagen. Auch hatten die Angus-Kälber zum Zeitpunkt der Schlachtung ein deutlich niedrigeres Lebendgewicht als die eigenen Kälber (24,2-33,2kg, vs. 50,2kg). Dem zufolge ist ein Vergleich der Werte schlecht möglich. In der Arbeit von PERRY and ARTHUR (1999) sind jedoch keine prozentualen Anteile der Gewebe für die einen Tag alten Kälber angegeben. Die verschiedenartigen Rassen müssen ebenfalls erwähnt werden. Angus ist eine ausgeprägte Fleischrinderrasse mit hoher Schlachtausbeute und feinfaserigem, gut marmoriertem Fleisch (SAMBRAUS, 2001). Die gute Marmorierung deutet auf einen hohen Fettgehalt im Muskel hin. Deutsche Holsteins sind dagegen eine Milchrinderrasse, während Deutsches Fleckvieh eine milchbetonte Zweinutzungsrasse ist.

Das Ziel der Arbeit von BUTTERFIELD et al. (1971) war, die Auswirkung verschiedener Fütterungsmodalitäten von 24 Bullenkälbern der Rasse Australian-Illawarra-Shorthorn auf deren Schlachtkörperzusammensetzung zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden die Kälber in vier Gruppen aufgeteilt. Die erste Gruppe bestand aus drei Kälbern, die im Alter von einem Tag geschlachtet wurden. Diese Schlachtdaten dienten als Referenz für die nachfolgenden Schlachtungen. Die zweite Gruppe (high) wurde mit Milch ad libitum gefüttert. Sie tranken eine Menge an Milch, die ca. 15-20% des Körpergewichtes entsprach. Die dritte Gruppe (moderate) wurde bis zum 34. Tag mit einer Menge an Milch gefüttert, die 10% der Körpermasse entsprach. Ab dem 35. Tag bekamen sie eine Menge an Milch, die 15% der Körpermasse entsprach. Die letzte Gruppe (low-moderate) sollte bis zum 72. Lebenstag ihr Geburtsgewicht behalten und ab diesem Zeitpunkt eine Menge an Milch bekommen, die 15% des Körpergewichtes entsprach. Im folgenden wurden die Kälber geschlachtet, wenn sie ein bestimmtes Gewicht erreicht hatten. Durch das unterschiedliche Fütterungsmanagement der einzelnen Gruppen, wiesen die Kälber beim Erreichen des vorgeschriebenen Gewichtes Altersdifferenzen auf. Bei einem durchschnittlichen Alter von 46,6 Tagen erreichten drei Kälber das vorgeschriebene Gewicht von 44kg. Es ergab sich nach der grobgeweblichen Zerlegung einer Schlachtkörperhälfte ein prozentualer Anteil für Muskelgewebe von 61,9, für Knochen von 29,8 und für Fettgewebe von 3,7. Diese Werte lassen sich denen der ältesten Gruppe in der eigenen Studie gegenüberstellen: LEAN% 65,9, BONE% 26,6 und FAT% 7,3. Die übrigen Probanden bei BUTTERFIELD et al. (1971) waren aufgrund der Altersunterschiede zu den Kälbern der eigenen Arbeit zum Vergleich nicht geeignet. Die offensichtlichen Differenzen der Werte in den beiden Studien können eine mögliche Ursache in den Altersdifferenzen finden. Zwar ist der Altersmittelwert von 46,6 Tagen nahe an dem

Alter der Gruppe A der eigenen Arbeit (53-57 Tage), jedoch setzt sich dieser Durchschnittswert bei BUTTERFIELD et al. (1971) aus einem Alter der einzelnen Tiere zwischen 17 und 89 Tagen zusammen. Die Spanne ist also sehr groß.

Auch die Rassen der Tiere in den beiden Studien unterscheiden sich. Zudem werden die Rinderrassen durch züchterische Eingriffe ständig den Verbraucherwünschen angepasst, was bedeuten kann, dass die Rassen vor 35 Jahren anderen Ansprüchen genügen mussten.

Eventuelle Berücksichtigung sollte auch die Tatsache finden, dass Verbraucher anderer Länder im Vergleich zu Deutschland unterschiedliche kulinarische Vorstellungen haben können, was ebenfalls in die Züchtung mit einfließen kann. Beispielsweise sind die Japaner dafür bekannt, dass sie stark marmoriertes Fleisch bevorzugen. Der hohe Fettgehalt und damit der intensive Eigengeschmack des Rindfleisches (Fett ist Geschmacksträger) ist für die Japaner ein Genuss. Ein herausragendes Beispiel hierfür ist die Zucht der Kobe-Rinder. Diese Rinderrasse stammt aus der japanischen Region rund um Kobe und das Fleisch des Kobe-Rinds gilt als das teuerste und exklusivste Rindfleisch der Welt. Das Kobe-Rind wird in Kleinbeständen von fünf bis maximal zehn Rindern gehalten, da nur bei dieser begrenzten Anzahl an Tieren die aufwändige Fütterung und Pflege möglich ist. Die Fütterung besteht aus einem besonderen Kraftfutter und ein bis zwei Flaschen Bier täglich, um den Appetit anzuregen und die Nahrungsaufnahme aus dem Magen zu verbessern. Zudem ist eine tägliche zwei- bis dreistündige Massage jedes Tieres mit speziellem Handschuh und Sake-Besprühung notwendig. Diese Behandlung sorgt für die besonders mürbe Struktur und exzellente Marmorierung des Fleisches. Außerdem hat Kobe-Beef den geringsten Anteil an gesättigten Fettsäuren im Vergleich zu allen anderen Rinderrassen (siehe auch <http://www.netzwissen.com/ernaehrung/kobe-beef/index.php>). Ein weiteres Beispiel geben die Franzosen. In Frankreich ist die Ochsenmast die vorherrschende Form der Rindfleischproduktion. Durch die Kastration der Bullen wird die Testosteronausschüttung unterbunden und eine deutliche Fetteinlagerung in das Muskelfleisch ist die Folge. Die Franzosen bevorzugen wie die Japaner ein marmoriertes Rindfleisch, welches zarter und geschmacksintensiver ist als unser fettarmes Rindfleisch in Deutschland.

WALDMANN et al. (1969) führten ebenfalls eine manuelle Totalzerlegung an Kälberschlachthälften durch. Sie ermittelten absolute Werte von 9,33kg für Muskelgewebe, 4,00kg für Knochengewebe und 1,10kg für Fettgewebe. Die Zahlen beziehen sich auf Kälber, die im Alter von einem Tag geschlachtet wurden und ein durchschnittliches Lebendgewicht von 50,20kg und ein Schlachtkörperhäftengewicht von 14,82kg aufwiesen. Von den Schlachtkörperhälften wurde jeweils die linke Hälfte zerlegt. Wenn man die absoluten Zahlen mit dem Gewicht der linken Schlachtkörperhälfte in Beziehung bringt, ergeben sich folgende Werte: 62,96% für Muskelgewebe, 26,99% für Knochengewebe und 7,42% für Fettgewebe. Diese Zahlen stimmen mit denen für die jüngste Gruppe in der eigenen Arbeit gut überein: Magerweichgewebe 61,43%, Knochengewebe 30,58% und Fettgewebe 7,55%. Der Altersunterschied von 10 bis 17 Tagen kann die geringen Unterschiede erklären.

Im Jahre 1961 führten BARTON and KIRTON einen Fütterungsversuch mit Friesian-Kälbern durch. Um den Unterschied zwischen alleiniger Vollmilchfütterung und alleiniger Buttermilchfütterung bei jungen Kälbern zu erfassen, wurden beide Versuchsgruppen bis zu einem Gewicht von 92kg gefüttert und dann geschlachtet. Die Gruppe, welcher Vollmilch gefüttert wurde, erreichte das erwünschte Gewicht mit 58,6 Tagen, die mit Buttermilch gefütterten Kälber erlangten 92kg Lebendgewicht erst mit 66,4 Tagen. Nach der Schlachtung wurden die Schlachthälften totalzerlegt und in Muskelgewebe, Fettgewebe, Knochen und Sehnen inklusive Abfall unterteilt und gewogen. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen sind augenfällig. Die Vollmilch-Gruppe erreichte einen prozentualen Anteil an Muskelgewebe von 65,8, an Fettgewebe von 10,0, an Knochen von 19,0 und an Sehnen inklusive Abfall von 4,8. Die Buttermilchfütterung ergab insgesamt eine deutlich geringere Verfettung (mit 6,1% Fettgewebe) und dafür mehr Muskelgewebe (mit 68,4%). Die Anteile an Knochen (19,5%) und Sehnen inklusive Abfall (5,6%) unterschieden sich nicht so deutlich. Wenn man diese Zahlen mit der ältesten Gruppe der eigenen Studie vergleicht, fällt auf, dass das Magerweichgewebe mit 65,91% zwischen den beiden Werten von BARTON and KIRTON (1961) liegt, das Knochengewebe mit 26,59% deutlich darüber und das Fettgewebe mit 7,32%, was in der eigenen Arbeit allerdings die Sehnen und auch Teile von Bindegewebe beinhaltet, sich wiederum in der Mitte befindet. Die eigenen Kälber wurden mit einem durchschnittlichen Alter von 55 Tagen und einem durchschnittlichen Gewicht von 74,2kg geschlachtet, waren also jünger und deutlich leichter als die oben aufgeführten. Ebenfalls ist darauf hinzuweisen, dass die Studie von BARTON and KIRTON (1961) vor 45 Jahren durchgeführt wurde und sich in dieser Zeit die Züchtungen und die Verbraucheransprüche

verändert haben. Der direkte Vergleich der Fettgewebeanteile ist auch nicht ohne weiteres möglich, da in der eigenen Arbeit Sehnen und Bindegewebeanteile aus praktischen Gründen zu den Fettwerten hinzu gerechnet wurden, wohingegen BARTON and KIRTON (1961) die Komponenten separat auflisteten.

Bei allen Studien, die zum Vergleich mit der eigenen Arbeit herangezogen werden, ist zu berücksichtigen, dass die jeweilige Fütterung einen Einfluss auf die Körperzusammensetzung hat. Wie groß dieser Einfluss im jeweiligen Versuch ist und ab welchem Lebensalter er vermehrt zum Ausdruck kommt, ist in dieser Arbeit nicht thematisiert worden; dies bleibt Fütterungsstudien vorbehalten.

Andere Autoren (MORNET and ESPINASSE, 1990; BLOME et al., 2003; BUCKLEY et al., 1990; DIAZ et al., 2001; TIKOFSKY et al., 2001) bedienen sich der chemischen Analyse von geschlachteten Kälbern in toto. Diese Werte lassen sich weniger mit denen, die in der eigenen Arbeit vom Schlachthof ermittelt wurden, vergleichen, als vielmehr mit den DXA-Ergebnissen der eigenen Arbeit. In der chemischen Analyse werden die Werte für Wasser, Proteine, Lipide und Asche ermittelt. Nimmt man Wasser und Proteine zusammen, entspricht dies dem DXA-Parameter LEAN. Die Lipide entsprechen dem FAT und die Asche dem BMC. Die Funktionsweise des DXA-Scanners ist in Kapitel 2.1.2.5.1 beschrieben, die Schlachthofergebnisse werden in Kapitel 4.3 aufgeführt.

MORNET and ESPERNASSE (1990) geben für neugeborene Kälber eine Körperzusammensetzung von 78,0% für Wasser, 16,0% für Protein, 2,6% für Fett und 4,0% für Mineralstoffe an. Der Vergleich mit den DXA-in-vivo-Ergebnissen der jüngsten Gruppe der eigenen Arbeit (LEAN% 90,68-91,96; FAT% 4,29-5,44% und BMC% 3,75-3,88%, je nach Scanmodus) ergibt niedrigere Werte für LEAN%, deutlich höhere Werte für FAT% und etwas niedrigere Werte für BMC%. Die unterschiedlichen Werte können zum Teil durch den Altersunterschied von 5-18 Tagen und der Altersspanne in der eigenen Studie erklärt werden. Den extrem niedrigen Fettwert, der anhand der chemischen Analyse ermittelt wurde, könnte der im eigenen Versuch verwendete DXA-Scanner in Kombination mit der verwendeten Software nicht ermitteln.

BLOME et al. (2003) führten ein Fütterungsexperiment mit Milchaustauschern, die sich im Proteingehalt unterschieden, durch. Sie schlachteten acht männliche Holstein-Kälber im Alter von 15 Tagen als Basisreferenz. Die restlichen Kälber wurden in vier Gruppen zu dreimal

acht und einmal neun Kälbern aufgeteilt und bis zum 56. Lebenstag mit vier verschiedenen Milchaustauschern gefüttert. Dann wurden auch sie geschlachtet. Allen Schlachtkörpern wurden die Eingeweide entnommen. Anschließend wurden sie mitsamt Kopf, Haut, Klauen und Schwanz chemisch analysiert. Die Werte für die 15 Tage alten Kälber bei BLOME et al. (2003) lassen sich aufgrund des ähnlichen Alters gut mit den DXA-Ergebnissen der Schlachthälften der jüngsten Gruppe der eigenen Arbeit vergleichen: LEAN% 90,58-90,88% vs. Protein + Wasser 91,81%; FAT% 4,49-4,74% vs. Fett 3,96% und BMC% 4,63-4,69% vs. Asche 4,70%. Die Werte sind sehr ähnlich, jedoch muß beachtet werden, dass die Schlachtkörper der eigenen Arbeit ohne Kopf, Haut, Klauen und Schwanz und nur jeweils eine Schlachtkörperhälfte gemessen wurden.

Die 56 Tage alten Kälber von BLOME et al. (2003) lassen sich hingegen wegen des Alters gut mit den DXA-Ergebnissen der Schlachthälften der ältesten Gruppe der eigenen Arbeit vergleichen: LEAN% 91,53-91,69% vs. Protein + Wasser 87,86-90,77%; FAT% 3,93-4,06% vs. Fett 5,17-7,15% und BMC% 4,38-4,41% vs. Asche 4,70-5,17%. Aus diesen Ergebnissen kann man ableiten, dass die Körperzusammensetzung von der jeweiligen Fütterung abhängig ist, und dass nur diejenigen Ergebnisse direkt miteinander verglichen werden können, die auch exakt die gleichen Versuchsbedingungen beinhalten, inklusive Fütterung und Haltung. Interessant ist auch, dass die eigenen Ergebnisse für FAT% mit zunehmendem Alter leicht sinken, wohingegen die Zahlen für Fett% bei BLOME et al. (2003) mit dem Alter ansteigen. Dieses Phänomen bei den eigenen Untersuchungen kann möglicherweise durch die oben ausgeführten Bemerkungen zum Schwellenwert für Fett und den Hydratationsänderungen erklärt werden.

BUCKLEY et al. (1990) und DIAZ et al. (2001) veröffentlichen in ihren Studien ebenfalls sehr ähnliche Werte für zwei Tage alte Simmental-Kälber bzw. neugeborene Holstein-Kälber. BUCKLEY et al. (1990) geben folgende Werte an: Protein + Wasser 93,4%, Fett 1,8%, Asche 4,8%.

Sehr ähnliche Zahlen finden sich bei DIAZ et al. (2001): Protein + Wasser 91,1%, Fett 4,7%, Asche 4,2%. Allerdings fällt bei DIAZ et al. (2001) auf, dass der Fettwert nicht extrem niedrig ist und damit den Fettwerten in der eigenen Arbeit (FAT% 4,49-4,74%) eher vergleichbar ist.

Ein weiteres Fütterungsexperiment mit männlichen Holstein-Kälbern führten TIKOFSKY et al. (2001) durch. Um einen Referenzwert, der als Basis genutzt werden kann, zu erhalten, wurden sechs Kälber im Alter zwischen zwei und sechs Tagen geschlachtet und deren Schlachtkörper chemisch analysiert. Die übrigen 24 Kälber wurden in Gruppen zu je acht Tieren aufgeteilt und bis zu einem Gewicht von 85kg mit drei unterschiedlichen Milchaustauschern, die verschiedene Fettanteile enthielten, gefüttert, danach geschlachtet und chemisch analysiert. Die Ergebnisse für die als Basis genutzten Kälber lauten: Protein + Wasser 90,23%, Fett 6,18% und Asche 3,59%. Die übrigen Kälber erreichten mit einem Gewicht von 85kg folgende Werte: Protein + Wasser 85,63-87,87%, Fett 8,48-11,0% und Asche 3,33-3,63%, je nach verwendetem Milchaustauscher. Der Fettprozentwert (6,18%) bei den als Basis genutzten Kälbern ist im Vergleich zu den anderen Autoren und auch im Vergleich zur eigenen Arbeit verhältnismäßig hoch. Sein Wert liegt zwischen den mit DXA ermittelten Fettwerten (4,49-4,74%) und den Zahlen für den Fettgewebewert vom Schlachthof (7,55%).

5.3 Vergleiche zwischen DXA-Werten und Zerlegungs-Ergebnissen

5.3.1 Beziehungen zwischen In-vivo-DXA- und Zerlegungs-Ergebnissen

Der direkte Vergleich zwischen den DXA-Messungen und den Zerlegungs-Ergebnissen ist aus mehreren Gründen nur eingeschränkt möglich. Zum einen gibt es Unterschiede in der Art und Weise der Messung. Der DXA-Scanner misst den Knochenmineralgehalt des Probanden, welcher hauptsächlich aus Kalzium und Phosphor besteht. Im Schlachthof wird dagegen der gesamte Knochen inklusive Knochenmark (bestehend aus Fettgewebe, Bindegewebe und Blutgefäßen) und Periost als Knochengewebe angesehen. Des Weiteren definiert der DXA-Scanner alle Komponenten, die weder Fett noch Knochenmineral enthalten, als Magerweichgewebe. Der Schlachthof wertet als Magergewebe jedoch lediglich den reinen Skelettmuskelanteil. Auch das Fettgewebe wird unterschiedlich beurteilt. Der Schlachthof definiert die sichtbaren Fettgewebeanteile inklusive der Sehnen und Teile des Bindegewebes, nicht jedoch das intramuskuläre Fett, als Fettgewebe. Im Gegensatz dazu zählt der DXA-Scanner alle körpereigenen Fette zum Fettgewebe, also auch das intra- und intermuskuläre Fettgewebe, ebenso wie jenes, welches im Knochenmark vorhanden ist. Außerdem liegen Fette im Tierkörper nicht nur in Form von Fettgeweben vor, sondern sind auch am Aufbau der Körperzellen in Form der Struktur lipide beteiligt (PRÄNDL et al., 1988). Nicht zuletzt muß

beim lebenden Kalb auch auf die Fette hingewiesen werden, welche sich in den Innereien, vor allem in der Ingesta, dem Kopf, besonders auch im Gehirn, und in der Haut befinden.

Zu diesem Thema haben MOLNAR et al. (1970) eine Studie veröffentlicht. Sie ermittelten die Verteilung der Lipide auf die einzelnen Körperfraktionen (mit Ausnahme des Fettgewebes) in Prozent der Gesamtlipide bei neugeborenen schwarzbunten Kälbern. Hierbei stellten sie fest, dass mit 44,6% die meisten Lipide in der Muskulatur liegen, gefolgt vom Knochengewebe mit 25,8%. Noch relativ hohe Fettanteile haben der Intestinaltrakt mit 10,2% und das Nierenfett mit 9,2%. Außer der Haut mit 3,4% Lipide an den Gesamtlipiden beinhalten die übrigen Organe alle unter 2,0% Fett. Zusammengenommen besitzen sie jedoch 6,9% an den Gesamtlipiden.

Zum anderen ist der direkte Vergleich vom lebenden Kalb mit einer Schlachtkörperhälfte mit Schwierigkeiten verbunden. Wie bereits oben angedeutet, misst der DXA-Scanner beim lebenden Kalb das gesamte Tier, also auch den Kopf, die gesamten Gliedmaßen, den Magen-Darm-Trakt inklusive Inhalten, den Urogenital-Trakt inklusive Inhalten und die Haut. Die Schlachtkörperhälfte besteht lediglich aus der Skelettmuskulatur, dem Fett- und Bindegewebe und den Knochen des Rumpfes ohne Kopf, Gliedmaßenspitzen und Eingeweiden. Außerdem wird nur eine Hälfte betrachtet. Die Bezugsgrößen für die jeweiligen prozentualen Anteile sind also beim Vergleich zwischen DXA-in-vivo- und Zerlegungs-Ergebnissen verschieden. Einmal wird auf das Gesamtgewicht des lebenden Tieres, das andere Mal auf das Gewicht der Schlachtkörperhälfte Bezug genommen. Es besteht aber keine Möglichkeit, die Bezugsgrößen ineinander umzurechnen. Ein Weg zur Umrechnung wäre mit der Schlachtausbeute möglich, allerdings nicht exakt genug, da, wie weiter oben ausgeführt, die einzelnen Gewebearten im Körper nicht homogen verteilt sind. Als Schlachtausbeute, oder synonym verwendet die Zweihälftenausbeute, wird der prozentuale Anteil des gesamten warmen Schlachtkörpers am Lebendgewicht vor der Schlachtung bezeichnet (NEEßE, 1975).

PRÄNDL et al. (1988) geben eine Schlachtausbeute von 60% für Kälber an, wovon 21% auf Knochen, Fett, Sehnen und den Gewichtsverlust bei der Kühlung entfallen und die restlichen 39% das Fleisch ohne Knochen ausmacht. Die Werte von PRÄNDL et al. (1988) beziehen sich allerdings auf Kälber, die kommerziell geschlachtet werden, das heißt mit einem Alter von ca. 22 Wochen und einem Schlachtgewicht von ca. 150kg. Die 60% Schlachtausbeute beziehen sich also auf ältere und schwerere Kälber als die im eigenen Versuch verwendeten.

Ähnliche Zahlen ermittelte NEEßE (1975) in seiner Arbeit. Er schlachtete mehrere Gruppen von Kälbern, die unterschiedliche Schlachtkörpergewichte aufwiesen. Diese betragen im Mittel für die erste Gruppe 57,90kg, für die zweite Gruppe 98,50kg und für die dritte Gruppe

154,65kg. Er stellte fest, dass sich die Schlachtausbeute mit zunehmendem Schlachtgewicht von 61% auf 64% verbesserte. Ebenfalls bestehen Unterschiede zwischen der rechten und der linken Schlachtkörperhälfte. NEEBE (1975) berechnete Unterschiede im Gewicht zwischen 0,2-0,3kg, was in etwa 1% des Schlachthälftengewichts entspricht.

Die Schlachtkörperausbeute in der eigenen Arbeit beträgt im Durchschnitt 54,62%. Wenn man die einzelnen Gruppen betrachtet ergeben sich für die Gruppe A (älteste Gruppe) ein Durchschnittswert von 53,65%, für die Gruppe B ein Wert von 55,39% und für die jüngste Gruppe C eine durchschnittliche Schlachtausbeute von 54,83%. Somit wird die Feststellung von NEEBE (1975), dass sich die Schlachtausbeute mit steigendem Schlachtgewicht verbessert, nicht bestätigt. Allerdings entspricht die in der eigenen Arbeit berechnete Schlachtausbeute auch nicht der Definition. Den eigenen Berechnungen liegt das Gewicht von nur einer kalten Schlachtkörperhälfte ohne Innereien zugrunde, welches verdoppelt und in anteilige Beziehung zum Lebendgewicht gebracht wurde. Das Lebendgewicht war direkt vor der Schlachtung im Schlachthof ermittelt worden.

Ein weiterer kritischer Punkt ist die Zerlegung der Schlachtkörperhälften. Die manuelle Zerlegung der Schlachtkörper in die einzelnen Gewebekomponenten Muskel, Fett und Knochen kann niemals den Anspruch auf absolute Genauigkeit erfüllen. Jedes Kalb ist anatomisch verschieden vom anderen, so dass die Teilstücke nach einer einheitlichen Vorschrift zerlegt werden können, aber niemals genau identisch sind.

Die nächste Quelle für Ungenauigkeiten liegt in der Methodik selbst. Es ist nicht möglich, die Trennung der Gewebe mit dem Messer vollständig durchzuführen, da beispielsweise am Knochen Gewebereste haften bleiben können. Ebenso kann das intramuskuläre Fettgewebe nicht manuell aus dem Muskelfleisch gelöst werden und auch der intermuskuläre Fettanteil ist je nach Menge nicht immer vom Muskelgewebe zu lösen. Es kommt hinzu, dass die Zerlegungen von mehreren Personen durchgeführt wurden, was wiederum zu individuellen Unterschieden führen kann.

Ein weiteres Problem stellt das Alter der Kälber dar. Sie sind sehr jung, was bedeutet, dass der Fettanteil im Körper sehr gering ist, was zahlreiche Autoren (BUCKLEY et al., 1990; DIAZ et al., 2001; BLOME et al., 2003; MORNET and ESPERNASSE, 1990) bestätigen. Durch den geringen Fettanteil lassen sich das Fettgewebe und die Sehnen bzw. das Bindegewebe nur sehr schlecht voneinander trennen. Sehnen und Faszien sowie das restliche Bindegewebe werden bei der DXA-Messung allerdings zum Magerweichgewebe dazu gerechnet. Die separate Darstellung von Fettgewebe wäre bei älteren Tieren eventuell durchzuführen, was zu einem genaueren Ergebnis führen könnte. Für den eigenen Versuch

konnten jedoch keine älteren und damit schwereren Kälber verwendet werden, da die Kapazität des DXA-Gerätes auf 120kg begrenzt ist und auch die Ausdehnung des Untersuchungstisches die Verwendung größerer Probanden verbietet.

Zum prozentualen Anteil der Sehnen am Gesamtkörper liegen in der Literatur nur Angaben zu Jungbullen (4,1%), Kühen (4,3%) und Färsen (3,8%) vor (SACK and SCHOLZ, 1987). Eine weitere Untersuchung stellten PAPSTEIN et al. (1999) an. Sie ermittelten bei 6, 12 und 18 Monate alten Bullenkälbern der Rasse Uckermärker Fleischrind einen Sehnenanteil am Schlachtkörper von 2,2 bzw. 2,3 bzw. 2,4%. Es existieren jedoch keine Angaben von Sehnenanteilen im Schlachtkörper von 11-57 Tage alten Kälbern. Der Sehnenanteil am vom Schlachthof ermittelten Gesamtfettanteil dürfte jedoch etwa 2% betragen. Als Beispiel sei angegeben, dass die DXA-FAT%-Werte in der vorliegenden Untersuchung zwischen 3,8 und maximal 7,2% liegen, mit den häufigsten Werten um 4%. Die FAT%-Werte der Schlachtergebnisse liegen mit 6,3 bis 10,3% und dem häufigsten Wert um 7% höher. Die Differenz bei den Mittelwerten liegt also um 3%, wovon ca. 2% dadurch erklärt werden können, dass der FAT%-Wert vom Schlachthof die Sehnenanteile beinhaltet.

Die Beziehungen zwischen den DXA-In-vivo-Ergebnissen und den Zerlegungs-Ergebnissen sind für die absoluten Werte (Fettmasse, Magerweichgewebemasse) hoch bis sehr eng, jedoch für die prozentualen Anteile niedrig bis mittel, was auf die oben ausgeführten Punkte zurückgeführt werden kann. Ein Bestimmtheitsmaß von 0,985 für DXAWT verglichen mit LWT im „Adult normal“ Modus und von 0,973 im „Pädiatrie groß“ Modus zeigen eine sehr enge Beziehung der Körpergewichte. Diese gute Übereinstimmung der vom DXA-Scanner ermittelten Gewichtswerte verglichen mit den Werten, die an der Tierwaage gemessen wurden, stellte auch schon SOFFNER (2003) in seiner Arbeit an Schweinen fest. Die geringe Abweichung von der absoluten Übereinstimmung ($R^2=1,0$), lässt sich dadurch erklären, dass eine nicht zu vernachlässigende Messungenauigkeit bei der Versuchsdurchführung immer bestehen bleibt. Diese wird noch zusätzlich dadurch vergrößert, dass die Balkenwaage, mit welcher die lebenden Tiere gewogen wurden, eine Auflösung von 1,0kg aufweist, wohingegen der DXA-Scanner das Gewicht auf Gramm genau berechnet. Die sehr enge Beziehung bestätigt in diesem Punkt die gute Übereinstimmung der gemessenen Daten mit den tatsächlichen Werten, was jedoch nichts über die Genauigkeit der Vorhersage der einzelnen Gewebe aussagt.

Für die Betrachtung der Beziehungen zwischen den DXA-In-vivo-Ergebnissen und den Zerlegungs-Ergebnissen ist der „Adult normal“ Modus aussagekräftiger als der „Pädiatrie groß“ Modus. Dies mag mit der Körpergröße und dem Gewicht der Kälber zusammenhängen. Durch die unterschiedlichen Konfigurationen der Modi kann der „Adult normal“ Modus mehr Gewebe durchdringen und damit messbar machen. Die mittlere Beziehung für BMC% mit $R^2=0,265$ zeigt im Gegensatz zu den niedrigen Beziehungen für LEAN% ($R^2=0,093$) und FAT% ($R^2=0,003$), dass die Funktionsweise des DXA-Scanners, der ursprünglich für die Knochendichte- und Knochengehaltmessung in der Humanmedizin entwickelt wurde, insbesondere bei sehr niedrigen Fettgehalten noch Probleme bei der Bestimmung von Weichgewebe und deren Unterteilung in Magerweichgewebe und Fettgewebe aufweist. Dies ist auch ein Softwareproblem.

Betrachtet man BMC%, FAT% und LEAN% für die einzelnen Altersgruppen separat, kann man feststellen, dass die Gruppe B im Alter von 25-40 Tagen hohe Beziehungen für alle Parameter aufweist (Vergleiche Tabelle 12, Kapitel 4.4.2.1). Innerhalb der jüngsten Gruppe sind niedrige Beziehungen zu beobachten. Dieses Phänomen könnte darin begründet sein, dass sich die oben aufgeführten Punkte, besonders der extrem niedrige Anteil an Fettgewebe und die manuelle Trennung der Gewebe voneinander in dieser Gruppe am stärksten auswirkt. Allerdings zeigen die DXA- ebenso wie die Zerlegungs-Ergebnisse eine Fettanteilabnahme mit zunehmendem Alter, wobei die absolute Fettmasse in beiden Fällen an Gewicht zunimmt. Möglicherweise hat aber auch die Änderung der Hydratation einen sichtbaren Einfluss auf die Messungen.

Entscheidend für die Größenordnungen der Regressionskoeffizienten ist vielmehr die Variation der prozentuellen und absoluten Messwerte aus DXA bzw. Zerlegung.

5.3.2 Beziehungen zwischen Schlachthälften-DXA- und Zerlegungs-Ergebnissen

Die im „Pädiatrie klein“ Modus gescannten Schlachthälften liefern die aussagekräftigeren Ergebnisse, da dort die Auflösung höher ist, es werden kleinere Pixel und folglich eine größere Anzahl je Flächeneinheit gemessen. Damit werden die Untersuchungen genauer. Für die Parameter BMC%, FAT% und LEAN% ergeben sich im Vergleich mit den Daten der Zerlegung mittlere bis hohe Beziehungen (siehe Tabelle 15, Kapitel 4.5.1.2). Die höheren Bestimmtheitsmaße im Gegensatz zu den In-vivo-DXA-Ergebnissen ergeben sich zum einen

dadurch, dass Schlachthälften untereinander verglichen werden und nicht das lebende Kalb mit einer zerlegten Schlachthälfte. Die Bezugsgrößen sind in diesem Fall die selben.

Eine weitere Verbesserung der Beziehungen kann sich daraus ergeben, dass bei den Schlachthälften die Bewegungsunschärfe wegfällt. FUSCH et al. (1999) sind der Meinung, dass eine Messungenauigkeit durch die Atmung und das zirkulierende Blut auftreten könnte. Den größeren Einfluss hat aber die unwillkürliche Bewegung des Tieres während der Messung. Trotz erfolgter Sedierung der Tiere kann eine Bewegung beim lebenden Kalb nicht ausgeschlossen werden, da die Sedation individuell wirkt und niemals eine genaue Zeitdauer und Sedationstiefe angegeben werden kann.

Ein weiterer Vorteil der Schlachthälftenmessung im Gegensatz zur In-vivo-Messung ist die geringere Körpertiefe. Die Schwächung der Röntgenstrahlung beim Durchdringen des Objekts und damit die Schätzung der Körperkomponenten ist einerseits von der Zusammensetzung und andererseits von der Körpertiefe des Probanden abhängig (LUKASKI et al., 1999). JEBB et al. (1995) haben festgestellt, dass Körpertiefen über 24cm die Gültigkeit von DXA zur Bestimmung der Körperzusammensetzung beeinflussen. Das Benutzerhandbuch zum verwendeten DXA-Scanner weist allerdings darauf hin, dass eine geräteinterne Korrektur für Streuung und Verhärtung die geringe Abhängigkeit der Körpertiefe bei Patienten über 25cm Tiefe vermindert.

Die Beziehung der mit DXA ermittelten Körpergewichte zu den mit der Waage gemessenen ist sehr eng. Für die Schlachtkörperhälften ($R^2=0,992$ für Pädiatrie medium; $R^2=0,993$ für Pädiatrie klein) ist das Bestimmtheitsmaß jedoch größer als für die lebenden Tiere ($R^2=0,985$ für Adult normal; $0,973$ für Pädiatrie groß). Die kleineren Werte bei den lebenden Tieren sind einerseits in der Bewegungsunschärfe während des Scandurchgangs begründet. Andererseits besitzt die Viehwaage am Lehr- und Versuchsgut eine Auflösung von nur 1kg im Vergleich zur Schlachthofwaage mit einer Auflösung von 100g.

Ansonsten gelten für den Vergleich der DXA-Messung mit den Zerlegungs-Ergebnissen die selben Argumente wie in Kapitel 5.3.1 beschrieben.

Betrachtet man die Altersaufteilung in Gruppen, stellt sich heraus, dass bei der Schlachthälftenmessung (im Modus Pädiatrie klein) für die Parameter FAT% ($R^2=0,618$) und LEAN% ($R^2=0,655$) die höchsten Beziehungen in der jüngsten Gruppe C vorliegen. Diese Ergebnisse widersprechen den Werten, die bei den DXA-in-vivo-Messungen herausgestellt wurden. Die Aussagekraft von Gruppen mit jeweils 10 Tieren ist statistisch jedoch begrenzt.

Insbesondere werden die lebenden Tiere und die Schlachtkörperhälften in verschiedenen Modi gescannt.

Aus den Schwierigkeiten bei der manuellen Zerlegung und auch wenn man die Ausführungen zur Körperzusammensetzung von Kälbern in Kapitel 5.2 betrachtet, stellt sich die Frage, ob eine Referenzuntersuchung mit einer chemischen Analyse nicht die größere Aussagekraft hätte.

Zu den chemischen Analysen im Vergleich zur DXA-Messung liegen zu anderen Tierarten einige Arbeiten vor (MITCHELL et al., 1998; LUKASKI et al., 1999; BRUNTON et al., 1993; SPEAKMANN et al., 2001). Die Autoren widersprechen sich jedoch bei ihren Ergebnissen.

LUKASKI et al. (1999) und MITCHELL et al. (1998) beschreiben, dass DXA den Fettwert gegenüber der chemischen Analyse unterschätzt. Diese Unterschätzung ist auch in der eigenen Arbeit im Vergleich zur Totalzerlegung zu erkennen. BRUNTON et al. (1993) stellen bei 2-20 Tage alten Ferkeln jedoch fest, dass DXA den Fettwert überschätzt. SPEAKMAN et al. (2001) weisen darauf hin, dass die Menge an Fett innerhalb der Muskulatur den Fehler der DXA-Messung des Fettwertes positiv beeinflusst, die Wassermenge im Mesenterialfett dagegen einen negativen Effekt hat. MITCHELL et al. (1996) machen darauf aufmerksam, dass DXA FAT% bei fetteren Schweinen eher überschätzt und bei mageren Tieren unterschätzt.

5.4 Beziehungen zwischen verschiedenen DXA-Scanmodi

Trotz gleichbleibender Bedingungen während der Messungen sind Unterschiede zwischen den Modi festzustellen. Somit wird ein Einfluss des Scanmodus auf die erhaltenen Messdaten erkennbar. Allerdings wird auch deutlich, dass eine nicht zu vernachlässigende Messunsicherheit bei jeder Versuchsdurchführung bestehen bleibt. Bei den Vergleichen der beiden In-vivo-Scanmodi sind wiederum die Bewegungsunschärfe und die Körpertiefe der Probanden zu beachten. Es sind jedoch sehr enge Beziehungen gegeben, wie in Tabelle 18, Kapitel 4.6.1 aufgezeigt.

Bei den Vergleichen der beiden Schlachthälften-Scanmodi miteinander sind bis auf die Parameter RVAL, FAT und FAT% noch engere Beziehungen zu erkennen (Tabelle 19, Kapitel 4.6.2).

Wie im Teil Material und Methodik (Kapitel 3.3) aufgeführt, gibt es mehrere Unterschiede in den Scanmodi. Diese beziehen sich auf die Pixelgröße, den Kollimationsdurchmesser, die Stromstärke und damit auch auf die Scangeschwindigkeit. Deshalb kommen die voneinander abweichenden Ergebnisse in den jeweiligen Modi zustande, was auch durch die

unterschiedlichen AREA-Werte (Knochenmineralfläche des Probanden) zutage tritt (Tabelle 2, Kapitel 4.1 und Tabelle 5, Kapitel 4.2).

PINTAURO et al. (1996) stellten Vergleiche zwischen DXA-Messungen und chemischer Analyse von 15 bis 35kg schweren Schweinen an. Die vorgegebene Gewichtsspanne entspricht in etwa dem Körpergewicht wachsender Kinder. Das Ziel ihrer Arbeit war eine Standardisierung der Ganzkörpermessung mit DXA im pädiatrischen Körpergewichtsbereich mithilfe des Laborstandards der chemischen Analyse von Schweineschlachtkörpern. Dabei galt ihr besonderes Interesse dem Fett- und Magergewebeanteil. Das verwendete DXA-Gerät war ein Lunar® DPX-L Densitometer. Sie scannten jedes Schwein lebend in zwei verschiedenen Modi, „Adult fast-detail“ und „Pädiatrie medium“. Der „Adult fast-detail“ Modus unterscheidet sich vom „Adult normal“ Modus nur in der Pixelgröße. Während die Pixel im „Adult fast-detail“ Modus eine Größe von 4,8x4,8mm aufweisen, sind sie im „Adult normal“ Modus 4,8x9,6mm groß. Nach der schmerzfreien und unblutigen Tötung der Tiere wurden sie im Labor chemisch analysiert.

Die Autoren ermittelten eine sehr enge Beziehung bei beiden Scanmodi für das Körpergewicht, die Fettmasse und die Magerweibgewebemasse. Lediglich bei der Knochengewebemasse unterschieden sich die beiden Modi. Hier bestand nur im „Pädiatrie medium“ Modus eine sehr enge Beziehung, wohingegen der „Adult fast-detail“ Modus nur eine hohe Beziehung zu den chemischen Analysewerten aufwies. Trotz der sehr engen Beziehungen sind bei der Betrachtung der absoluten Zahlenwerte deutliche Defizite bei der exakten Vorhersage der Gewebemassen bei beiden Scanmodi vorhanden. Deshalb kamen PINTAURO et al. (1996) zu dem Schluss, dass beide Modi gleichermaßen geeignet sind, die Körperzusammensetzung von Schweinen vorauszusagen. Allerdings postulieren sie, dass eine softwarespezifische Regressionsgleichung zur Kalibrierung des DXA-Scanners angewandt werden muss. Die Beziehungen der beiden Modi untereinander wurden in der Studie von PINTAURO et al. (1996) jedoch nicht betrachtet, so dass dieser Vergleich mit der eigenen Arbeit nicht angestellt werden kann. Auch der Unterschied der Pixelgrößen zur eigenen Arbeit macht einen direkten Vergleich nicht möglich.

Auch PICAUD et al. (1999) scannten Schweine in zwei verschiedenen Scanmodi. Sie verwendeten neugeborene Ferkel und ein DXA-Gerät der Firma Hologic®. Die verwendeten Modi waren „Pediatric Whole Body“ (PWB) und „Infant Whole Body“ (IWB). Der jeweilige Vergleich der beiden Modi mit der chemischen Analyse brachte die Erkenntnis, dass IWB

genauere Ergebnisse für BMC und FAT lieferte. Die Autoren kamen also zu dem Schluss, dass der IWB-Modus für neugeborene Ferkel besser geeignet sei. Wiederum unterblieb bei dieser Studie der Vergleich der beiden Modi untereinander.

Diejenigen Arbeiten, die in der Literatur zum Thema verschiedene Scanmodi existieren, können mit der eigenen Studie nicht verglichen werden, da ein Vergleich der Modi untereinander fehlt. Es werden nur jeweils die unterschiedlichen Scanmodi mit der chemischen Analyse in Beziehung gebracht. Auch sind die unterschiedlichen Geräte der verschiedenen Firmen und Baujahre ebenso wie die sich voneinander unterscheidenden Software- und Updateversionen ein Hindernis im direkten Vergleich zueinander.

Es wäre ein Ansatzpunkt, weiterführende Arbeiten zum direkten Modusvergleich gegebenenfalls bei diversen Tierarten und Altersgruppen, aber in jedem Fall mit den gleichen DXA-Geräten und Softwareversionen durchzuführen, um dadurch den jeweils geeigneten Modus ausfindig zu machen.

Aufgrund der eigenen Messergebnisse wäre es sinnvoll für In-vivo-Versuche, z.B. bei Fragen der Körperzusammensetzung während des Wachstums von Kälbern, den Modus „Adult normal“ zu verwenden. Der Modus „Adult normal“ scheint für höhere Gewichte und größere Körpermaße am besten geeignet zu sein, da in diesem Modus viel Gewebe durchdrungen und damit gemessen werden kann. Wenn man Versuche mit Schlachtkörpern plant, wäre es zweckmäßig, für durchschnittliche Schlachtkörperhälftengewichte unter ca. 15kg den Modus „Pädiatrie klein“ und über ca. 15kg den Modus „Pädiatrie medium“ zu verwenden. Die Gewichtsgrenze ist aus den Werten der eigenen Arbeit herausgestellt, muss jedoch verfeinert werden, da in der eigenen Arbeit nur insgesamt 30 Tiere verwendet wurden, wovon nur 8 Tiere ein Schlachtkörperhälftengewicht von unter 15kg aufwiesen. Der Modus „Pädiatrie klein“ hat im Gegensatz zum Modus „Pädiatrie medium“ die höhere Auflösung, da kleinere und mehr Pixel gemessen werden.

Interessant wäre auch ein Vergleich mit anderen In-vivo-Methoden zur Untersuchung der Körperzusammensetzung von Kälbern, wie MRT oder CT. Diese Verfahren sind jedoch sehr kostspielig und im Falle der Computer-Tomographie auch mit einer deutlich höheren Strahlenbelastung verbunden. Bei den oben genannten Verfahren stellen die Größe und das Gewicht des Probanden wiederum einen begrenzenden Faktor dar.

Die Frage des Wachstums und der Entwicklung von jungen Kälbern ist dorthin gehend interessant, ob und welche Einflüsse die Körperentwicklung und –zusammensetzung auf die späteren Leistungen haben können. Auch die Erforschung der Veränderung der Körperzusammensetzung im Krankheitsfall oder bei unterschiedlichen Haltungs- und Fütterungsbedingungen sollte ein Anreiz für weitere Studien der In-vivo-Messungen darstellen.

Abschließend ist anzumerken, dass die DXA-Methode aufgrund der oben aufgeführten Diskussion nicht als uneingeschränkt geeignetes Verfahren zur Messung der Körperzusammensetzung junger Kälber angesehen werden kann.

Im Bereich der Fleischindustrie ist mit der heutigen Weiterentwicklung der DXA-Geräte ein sinnvoller Einsatz zur Ermittlung der Zusammensetzung von Teilstücken verschiedener Schlachttiere und Hackfleisch möglich geworden. Allerdings setzt die Anwendung bei Fleischstücken, die Knochen enthalten, verschiedenen Korrekturen voraus. Die DXA-Software muss folglich je nach Einsatzgebiet angepasst werden, was die routinemäßige Verwendung von DXA-Geräten in der Fleischindustrie bisher erschwert. In den nächsten Jahren sollte eine Perfektion der DXA-Methode in der Fleischindustrie angestrebt werden, auch in Hinblick auf verschiedene Tierarten und Teilstücken bzw. eventuell auch der ganzen Schlachtkörperhälfte bei kleineren oder jüngeren Tieren.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Körperzusammensetzung junger Kälber mithilfe der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) im Vergleich zur Standardreferenzmethode der Totalzerlegung ermittelt. Ziel war die Überprüfung der Genauigkeit der DXA-Methodik und der Vergleich verschiedener Scanmodi untereinander, um herauszuarbeiten, welcher Modus für welchen Einsatz geeignet erscheint.

Im Zeitraum von Juni 2004 bis März 2005 wurden insgesamt 30 männliche Kälber der Rassen Fleckvieh, Deutsche Holsteins und deren Kreuzungen untersucht. Alle Tiere wurden mit einem DXA-Scanner (Lunar® DPX-IQ) in jeweils zwei verschiedenen Scanmodi („Adult normal“ und „Pädiatrie groß“) in vivo gescannt und im Durchschnitt drei Tage danach im Versuchsschlachthof Grub geschlachtet. Dort wurde die rechte Schlachtkörperhälfte eines jeden Tieres manuell in die Komponenten Magerfleisch, Knochen und Fett zerlegt, wohingegen die linke Hälfte post mortem einer Ganzkörperanalyse unterzogen wurde – wiederum mit zwei Scanmodi („Pädiatrie medium“ und „Pädiatrie klein“). Es wurden jeweils die absoluten Werte für Fett, Magerfleisch und Knochenmineralstoffe und die dazugehörigen prozentualen Anteile ermittelt. Zudem wurden die Gesamtgewichte der gescannten Tiere errechnet.

Die Untersuchungen zeigten erwartungsgemäß beim Vergleich der Post-mortem-Analysen mit den Ergebnissen der Totalzerlegung insgesamt eine höhere Beziehung als beim Vergleich der In-vivo-Analysen mit den Zerlegungs-Ergebnissen. Allerdings stellte sich heraus, dass die Beziehungen bei den absoluten Werten gegenüber den Beziehungen bei den prozentualen Anteilen große Unterschiede aufwiesen. Im Modus „Adult normal“ bestanden sehr enge Beziehungen für Gesamtgewichte ($R^2=0,985$), Magerfleischgewebe ($R^2=0,940$) und Knochen ($R^2=0,838$) und eine hohe Beziehung für Fett ($R^2=0,419$), jedoch wurde nur eine mittlere Beziehung für Knochenanteil ($R^2=0,265$) und niedrige Beziehungen für Magerfleischgewebeanteil ($R^2=0,093$) und Fettanteil ($R^2=0,003$) ermittelt. Im Modus „Pädiatrie klein“ ergaben sich ebenfalls sehr enge Beziehungen für Gesamtgewichte ($R^2=0,993$), Magerfleischgewebe ($R^2=0,983$) und Knochen ($R^2=0,766$) und hohe Beziehungen für Fett ($R^2=0,643$). Indessen ergaben sich hohe Beziehungen beim Vergleich des Modus

„Pädiatrie klein“ mit den Zerlegeergebnissen für Magerfleischgewebeanteil ($R^2=0,533$) und mittlere Beziehungen für Fettanteil ($R^2=0,282$) und Knochenanteil ($R^2=0,240$).

Betrachtet man die Beziehungen zwischen den DXA-Scanmodi, stellt sich heraus, dass die „In-vivo“-Modi „Adult normal“ und „Pädiatrie groß“ sowie die „Post-mortem“-Modi „Pädiatrie mittel“ und „Pädiatrie klein“ in engeren Beziehungen zueinander stehen als die anderen Kombinationen untereinander. Eine hohe Beziehung für den Fettgewebeanteil ($R^2=0,694$) ergab sich beim Vergleich von „Adult normal“ zu „Pädiatrie groß“, eine niedrige Beziehung für den Fettgewebeanteil ($R^2=0,081$) ergab sich beim Vergleich von „Adult normal“ zu „Pädiatrie klein“.

Der Modus „Adult normal“ scheint für höhere Gewichte und größere Körpermaße am besten geeignet zu sein, da in diesem Modus mehr Gewebe durchdrungen und damit gemessen werden kann. Er würde sich für Fragen der Körperzusammensetzung während des Wachstums beim Kalb anbieten. Wenn man Versuche mit Schlachtkörpern plant, wäre es zweckmäßig, für durchschnittliche Schlachtkörperhäftengewichte unter ca. 15kg den Modus „Pädiatrie klein“ und über ca. 15kg den Modus „Pädiatrie medium“ zu verwenden.

Abschließend ist anzumerken, dass die DXA-Methode nicht als uneingeschränkt geeignetes Verfahren zur Messung der Körperzusammensetzung junger Kälber angesehen werden kann. Im Bereich der Fleischindustrie ist mit der heutigen Weiterentwicklung der DXA-Geräte jedoch ein sinnvoller Einsatz zur Ermittlung der Zusammensetzung von Teilstücken verschiedener Schlachttiere und Hackfleisch möglich geworden. Allerdings muss die Anwendung in der Fleischindustrie noch perfektioniert werden.

7 Summary

Reference Analysis (Total Dissection) for Assessment of Accuracy of Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA) Measurements for Body Composition of Calves

Within this study the body-composition of young calves was determined with Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA) in comparison to the standard reference method of manual total dissection to assess the accuracy of the DXA method itself and different DXA scan modes in order to decide which scan mode is appropriate for a given application.

In the period of June 2004 to March 2005 a total of 30 male calves of the breeds German Fleckvieh, German Holstein, and their crossbreeds were examined. Each animal was scanned twice in vivo with a Lunar® DPX-IQ DXA scanner in two different scan modes („Adult normal“ and „Pediatric large“). After an average of three days, each calf was slaughtered at the experimental slaughterhouse in Grub. The right half of each carcass was manually dissected in the components lean tissue, bone, and fat, whereas the left half of the carcass was subject of a DXA whole body analysis with two other scan modes („Pediatric medium“ and „Pediatric small“). For each calf the absolute masses of fat, lean tissue, and bone mineral and the corresponding percentages of the body mass were determined. Additionally the whole body mass of the scanned animals was calculated.

As expected, the examinations showed higher relations for the comparison of the post-mortem analysis with the results of the dissection than for the comparison of the in-vivo analysis compared with dissection results. However, it was established that the relations of the absolute values were largely different from the relations of the percentage values.

The scan mode „Adult normal“ showed high relationships for body mass ($R^2=0,985$), lean tissue ($R^2=0,940$), and bone ($R^2=0,838$), lower relationships for fat ($R^2=0,419$) and bone percentage ($R^2=0,265$), but poor relationships for lean tissue percentage ($R^2=0,093$) and fat percentage ($R^2=0,003$). The scan mode „Pediatric small“ also yielded high relationships for body mass ($R^2=0,993$), lean tissue ($R^2=0,983$), and bone ($R^2=0,766$) and slightly lower for fat ($R^2=0,643$). However, high relationships were determined with this scan mode for lean tissue percentage ($R^2=0,533$) and medium relationships for fat percentage ($R^2=0,282$) and bone percentage ($R^2=0,240$).

A look at the different DXA scan modes shows narrow relationships of the „in-vivo modes“ „Adult normal“ and „Pediatric large“ and the „post-mortem modes“ „Pediatric medium“ and „Pediatric small“. The relationship for fat percentage ($R^2=0,694$) was high for comparing „Adult normal“ and „Pediatric large“, and low for „Adult normal“ compared to „Pediatric small“.

The „Adult normal“ scan mode seems to be suited for higher body weights and dimensions, and therefore to determine the body composition of living animals, since more tissue can be penetrated and measured as with the other scan modes. For carcass tests it would be best to use „Pediatric small“ for carcass weights below about 15kg and „Pediatric medium“ for carcass weights above that limit.

As a conclusion, this study shows that DXA is not a universal method to determine body composition of young calves, but together with the on-going development in DXA technology it is advancing to be a valuable tool for meat producers to determine the composition of carcass sections and ground meat.

8 Literaturverzeichnis

BARTLE, C.M.; KRÖGER, C.; WEST, J.G.:

Comparing neutron and X-ray-based dual beam gauges for characterising industrial organic-based materials

Applied Radiation and Isotopes 63 (2005); 553-558

BARTON, R.A.; KIRTON, A.H.:

A comparison of whole milk with buttermilk in the rearing of calves for veal. 2. Slaughter and carcass composition data.

Animal Production, 3 (1961), Part 1

BASCOM, S.S.:

Jersey calf management, mortality, and body composition.

Dissertation submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic State Institute and State University for partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Animal Sciences, November 18, 2002, Blacksburg, VA

BLOME, R.M.; DRACKLEY, J.K.; MCKEITH, F.K.; HUTJENS, M.F.; MCCOY, G.C.:

Growth, nutrient utilisation, and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein.

J. Anim. Sci., 81 (2003), 1641-1655

BRUNTON, J.A.; WEILER, H.A.; ATKINSON, S.A.:

Improvement in the Accuracy of Dual Energy X-ray Absorptiometry for Whole Body and Regional Analysis of Body Composition: Validation Using Piglets and Methodologic Consideration in Infants.

Pediatr. Res., 41 (1997), 590-596

BUCKLEY, B.A.; BAKER, J.F.; DICKERSON, G.E.; JENKINS, T.G.:

Body composition and tissue distribution from birth to 14 months for three biological types of beef heifers.

J. Anim. Sci., 68 (1990), 3109-3123

BUTTERFIELD, R.M.; JOHNSON, E.R.; PRYOR, W.J.:

A study of growth in calves. I. Carcass tissues.

J. agric. Sci., 76 (1971), 453-458

CLARKE, R.D.; KIRTON, A.H.; BARTLE, C.M.; DOBBIE, P.M.:

Application of dual-energy x-ray absorptiometry for ovine carcass evaluation.

Proceeding of the New Zealand Society of Animal Production, 59 (1999), 272-274

DEURENBERG, P.; SCHUTZ, Y.:

Body composition: overview of methods and future directions of research.

Ann. Nutr. Metab., 39 (1995), 325-333

DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT:

Arbeitsunterlagen: DLG-Schnittführung für die Zerlegung der Schlachtkörper von Rind, Kalb, Schwein und Schaf. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Zimmerweg 16, Frankfurt am Main (1984)

DIAZ, M.C.; VAN AMBURGH, M.E.; SMITH, J.M.; KELSEY, J.M.; HUTTEN, E.L.:

Composition of Growth of Holstein Calves Fed Milk Replacer from Birth to 105-Kilogram Body Weight.

J. Dairy Sci., 84 (2001), 830-842

DÖCKE, F.:

Hypogonadismus.

In: Lexikon der Veterinärmedizin, Herausgeber: E. Wiesner und R. Ribbek, (2000), 4. Auflage, Enke-Verlag, Stuttgart

DTV-LEXIKON:

dtv-Lexikon in 20 Bänden.

(1999), *Deutscher Taschenbuch Verlag, München*

ELLIS, K.J.:

Human Body Composition: In Vivo Methods.

Physiological Reviews, 80 (2000), 649-680

FUSCH, C.; SLOTBOOM, J.; FUEHRER, U.; SCHUMACHER, R.; KEISKER, A.;
ZIMMERMANN, W.; MOESSINGER, A.; BOESCH, C.; BLUM, J.:

Neonatal Body Composition: Dual-Energy X-Ray Absorptiometry, Magnet Resonance Imaging, and Three-Dimensional Chemical Shift Imaging versus Chemical Analysis in Piglets.

Pediatr Res., 46 (1999), 465-473

GRIER, S.J.; TURNER, A.S.; ALVIS, M.R.:

The Use of Dual-Energy X-ray Absorptiometry in Animals.

Invest Rad., 31 (1996), 50-62

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., Dummerdorf 48 (2005), 428-444

HEYMSFIELD, S.B.; WANG, Z.; BAUMGARNTER, R.N.; ROSS, R.:

Human body composition: Advances in Models and Methods.

Annu. Rev. Nutr., 17 (1997), 527-558

JEBB, S.A.; GOLDBERG, G.R.; JENNINGS, G.; ELIA, M.:

Dual-energy X-ray absorptiometry measurements of body composition: effects of depth and tissue thickness, including comparisons with direct analysis.

Clinical Science, 88 (1995), 319-324

JEROME, C.P.:

Hormonal Therapies and Osteoporosis.

ILAR J., 45 (2004), 170-178

KAUFFMANN, G.W.; MOSER, E.; SAUER, R.:

Radiologie.

(2001), 2. Auflage, Urban & Fischer Verlag, ISBN 3-437-41990-0

KREFTING, N.:

Einfluss von Formalinfixierung, Weichteilumgebung und Messrichtung auf Knochendichtemessungen mit der Zweienergie-Röntgenabsorptiometrie.

Diss. med. München, (2005)

KRÖGER, C.; BARTLE, C.M.; WEST, J.G.:

Non-invasive measurements of wool and meat properties

Insight Vol 47 (2005), No. 1, 25-28

KUGELBERG, M.; OHLSSON, C.; SÄVENDAHL, L.:

Reduced bone mineral density and radial bone growth in young rabbits treated with dexamethasone eye drops.

Hormone Res., 63 (2005), 165-170

LUKASKI, H.C.:

Methods for the assessment of human body composition: traditional and new.

Am. J. Clin. Nutr., 46 (1987), 537-556

LUKASKI, H.C.; MARCHELLO, M.J.; HALL, C.B.; SCHAFER, D.M.; SIDERS, W.S.:

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

LUNAR®:

DPX-IQ™ Bedienungshandbuch (1998)

MITCHELL, A.D.; CONWAY, J.M.; POTTS, W.J.E.:

Body Composition Analysis of Pigs by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry.

J. Anim. Sci., 74 (1996), 2663-2671

MITCHELL, A.D.; SOLOMON, M.B.; RUMSEY, T.S.:

Composition Analysis of Beef Rib Sections by Dual-energy X-ray Absorptiometry.

Meat science, Vol. 47, No. 1/2 (1997), 115-124

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.:
Techniques for measuring body composition of swine (Chapter 41).
In: Swine Nutrition, 2nd Edition, edited by A.J. Lewis and L. Lee Southern, CRC Press,
(2001), 917-960

MITCHELL, A.D.; SCHOLZ, A.M.; WANG, P.C.; SONG, H.:
Body composition analysis of the pig by magnetic resonance imaging.
J. Anim. Sci., 79 (2001a), 1800-1813

MITCHELL, A.D.; SCHOLZ, A.M.; PURSEL, V.G.:
Prediction of pork carcass composition based on cross-sectional region analysis of dual
energy X-ray absorptiometry (DXA) scans.
Meat Science, 63 (2003), 265-271

MOLNAR, S.; TERMEULEN, U.; NEUMANN, H.:
Untersuchungen über die Fettverteilung bei neugeborenen Kälbern.
Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde, 26 (1970), 56-59

MOREAU, M.F.; LIBOUBAN, H.; LEGRAND, E.; BASLE, M.F.; AUDRAN, M.;
CHAPPARD, D.:
Lean, fat and bone masses are influenced by orchidectomy in the rat. A densitometric X-ray
absorptiometric study.
J Musculoskelet Neuronal Interact., 1 (2001), 209-213

MORNET, P.; ESPINASSE, J.:
Das Kalb.
(1990), Schober-Verlag, ISBN 3-88620-180-5

MOULTON, C.R.:

Age and chemical development in mammals.

Journal of Biological Chemistry, 57 (1923), 79-97

NAGY, T.R.; CLAIR, A-L.:

Precision and Accuracy of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry for Determining in Vivo Body Composition of Mice.

Obesity Research, 8 (2000), 392-398

NEEßE, K.R.:

Experimentelle Untersuchungen zur stofflichen und energetischen Veränderung der Körperzusammensetzung beim Mastkalb.

Diss. agr. TU München (1975)

NÜSKE, S.; HAMPE, J.; SCHOLZ, A.M.; FÖRSTER, M.:

Studies on the development of the claws in new born calves of different breeds and crossbreds using Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA).

Arch. Tierz., Dummerdorf 48 (2005), 305-317

PAPSTEIN, H.-J.; LOSAND, B.; FIEDLER, I.; HARTUNG, M.; ENDER, K.:

Wachstumsuntersuchungen an Fleischrindbullen und -färsen aus Zwillingsgeburten bei hohem Ernährungsniveau.

Züchtungskunde, 71 (1999), 267-276

PERRY, D.; ARTHUR, P.F.:

Correlated responses in body composition and fat partitioning to divergent selection for yearling growth rate in Angus cattle.

Livestock Production Science, 62 (2000), 143-153

PICAUD, J.C.; NYAMUGABO, K.; BRAILLON, P.; LAPILLONNE, A.; CLARIS, O.; DELMAS, P.; MEUNIER, P.; SALLE, B.; RIGO, J.:

Dual-energy X-ray absorptiometry in small subjects: influence of dual-energy X-ray equipment on assessment of mineralization and body composition in newborn piglets.

Pediatr. Res., 46 (1999), 772-777

PIETROBELLI, A.; FORMICA, C.; WANG, Z.; HEYMSFIELD, S.:

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, S.:

Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration.

Am. J. Physiol., 274 (1998), E808-E816

PINTAURO, S.J.; NAGY, T.R.; DUTHIE, C.M.; GORAN, M.I.:

Cross-calibration of fat and lean measurements by dual-energy X-ray absorptiometry to pig carcass analysis in the pediatric body weight range.

Am. J. Clin. Nutr., 63 (1996) 293-298

PRÄNDL, O.:

Fleisch. Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung.

(1988), Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, ISBN 3-8001-2135-2

SACK, E.; SCHOLZ, W.:

Schlachtkörperzusammensetzung beim Rind.

In: Kulmbacher Reihe, Band 7: Rindfleisch, Schlachtkörperwert und Fleischqualität (1987), Institut für Fleischerzeugung und Vermarktung, Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, 87-117

SAINZ, R.D.; URLANDO, A.:

Evaluation of a new pediatric air-displacement plethysmograph for body-composition assessment by means of chemical analysis of bovine tissue phantoms.

Am. J. Clin. Nutr., 77 (2003), 364-370

SAMBRAUS, H.H.:

Atlas der Nutztierassen.

(2001), 6. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, ISBN 3-8001-3219-2

SAS/STAT®:

User's Guide Volume 2, GLM-Varcomp, Version 8.2 TS Level 02M0, by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA

SCHNEIDER, S.:

Knochendichtemessungen an Oberschenkelknochen juveniler und adulter Hunde mittels Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA) und peripherer Quantitativer Computertomographie (pQCT) im Vergleich mit chemischer und physikalischer Analyse.

Diss. med. vet. Wien, (2003)

SECOMBE, C.J.; FIRTH, E.C.; PERKINS, N.R.; ANDERSON, B.H.:

Pathophysiology and diagnosis of third carpal bone disease in horses: a review.

N Z Vet J., 50 (2002), 2-8

SCHOLZ, A.M.:

In-vivo-Methoden zur Analyse von Muskelstoffwechsel und Körperzusammensetzung beim Schwein unter besonderer Berücksichtigung genetischer Einflüsse.

Habilitationsschrift der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München. (2002).

<http://epub.ub.uni-muenchen.de/archive/00000418/>

(gelesen am 03.09.2007)

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-Referenzzurlegung.

Züchtungskunde, 74 (2002), 376-391

SCHOLZ, A.M.; NÜSKE, S.; FÖRSTER, M.:

Body composition and bone mineralization measurement in calves of different genetic origin by using dual-energy X-ray absorptiometry.

Acta Diabetol., 40 (2003), S91-S94

SCHOLZ, A.M.; NÜSKE, S.; MEDUGORAC, I.; SEICHTER, D.; HAMPE, J.; FÖRSTER, M.:

Tiergesundheit und Genomanalyse: Klauenerkrankungen – Effekt des bovinen SLC26a2-Gens auf Merkmale der Klauen- und Gliedmaßenstabilität beim Kalb.

In: Stand und Perspektiven von Tierzucht und Tierhaltung bei landwirtschaftlichen Nutztieren, Schriftenreihe der Akademie für Tiergesundheit, Band 10, Verlag der DVG Service GmbH, Gießen (2006), 152-171

SOFFNER, P.:

Untersuchungen zur Körperzusammensetzung und Knochenmineraldichte am wachsenden Schwein mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie.

Diss. med. vet. München, (2003)

SPEAKMAN, J.R.; BOOLES, D.; BUTTERWICK, R.:

Validation of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) by comparison with chemical analysis of dogs and cats.

International Journal of Obesity, 25 (2001), 439-447

TIKOFSKY, J.N.; VAN AMBURGH, M.E.; ROSS, D.A.:

Effect of varying carbohydrate and fat content of milk replacer on body composition of Holstein bull calves.

J. Anim. Sci., 79 (2001), 2260-2267

TOTHILL, P.; AVENELL, A.; LOVE, J.; REID, D.M.:

Comparisons between Hologic®, Lunar® and Norland® dual-energy X-ray absorptiometers and other techniques used for whole-body soft tissue measurements.

Eur. J. Clin. Nutr., 48 (1994), 781-794

WALDMANN, R.C.; TYLER, W.J.; BRUNGARDT, V.H.:

Estimation of body composition in young calves.

J. Anim. Sci., 29 (1969), 426-428

WÜSTER, C.:

<http://www.arewus.de/kdm/DXAPrinzip.pdf>

(gelesen am 03.09.2007)

YASUMURA, S.; WANG, J.; PIERSON, R.N.:

In vivo body composition studies.

Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 904, (2000)

www.netzwissen.com/ernaehrung/kobe-beef/index.php

(gelesen am 03.09.2007)

Danksagung

Mein besonders herzlicher Dank gilt Herrn Priv. Doz. Dr. Armin Scholz für die Überlassung des Themas und die wertvolle Unterstützung sowohl beim praktischen Teil meiner Arbeit am Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim, sowie auch in Fragen der Statistik und Erstellung der Dissertation.

Auch bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr. Stefan Nüske für seine Mithilfe bei der Durchführung der praktischen Versuche.

Bei Herrn Thomas Böser (Versuchstechniker Rind) und seinen Mitarbeitern möchte ich mich ebenfalls herzlich bedanken. Sie waren für die Betreuung der Tiere verantwortlich und haben mir stets bei der Durchführung des praktischen Teils zur Seite gestanden. Ohne Herrn Böser wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen.

Weiterhin möchte ich mich besonders bei Herrn Maximilian Pickl und seinen Mitarbeitern im Versuchsschlachthof der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Grub für ihre kompetente Arbeit bei der Schlachtung und Zerlegung der Tiere bedanken.

Mein Dank gebührt auch Herrn Richard Bätz für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse. Auf seine Hilfe konnte ich mich bei EDV-Problemen stets verlassen.

Ein ganz herzliches Dankeschön gebührt auch meinen Eltern, die mir meinen Berufswunsch durch ihre finanzielle und moralische Unterstützung erfüllt haben.

Ganz besonders lieben Dank möchte ich auch meinem Freund Börje zuteil werden lassen, der mir immer über die Schwierigkeiten während des Studiums und der Anfertigung dieser Arbeit hinweggeholfen hat. Auch möchte ich mich für die kritische Durchsicht des Manuskripts bedanken.

Lebenslauf

Persönliche Informationen:

Name: Claudia Musick
Geburtsdatum: 17.04.1976
Geburtsort: Rottweil
Familienstand: ledig, keine Kinder

Schulbildung:

1982-1986: Grund- und Hauptschule Aichhalden
1986-1995: Gymnasium Schramberg
Juni 1995: Abschluss: Abitur

Praktika:

1995-1997: diverse Praktika in Klein- und Großtierpraxen
Wintersemester 1997/98: Gasthörerstudium im Fach Biologie an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen
Sommersemester 1998: Gasthörerstudium im Fach Biologie an der Universität Konstanz

Studium:

November 1998-März 2004: Studium der Veterinärmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität München
24.03.2004: Erteilung der tierärztlichen Approbation

Tätigkeit nach dem Studium:

Seit April 2004: Doktorand am Lehr- und Versuchsgut der Tierärztlichen Fakultät der LMU München
Seit März 2006: Assistenztierärztin in der Tierärztlichen Gemeinschaftspraxis Dres. Koch, Aichinger, Schmauß in Haxthausen bei Freising