

Aus dem Institut für Tierzucht
Lehrstuhl für Tierzucht und Allgemeine Landwirtschaftslehre
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Dr. Martin Förster

Angefertigt unter der Leitung von:
PD Dr. Armin M. Scholz
(Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim)

Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Dualenergie-
Röntgenabsorptiometrie (DXA) für die Messung der
Ganzkörperzusammensetzung bei zwei Putengenotypen

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

von
Bernhard Schöllhorn
aus
Kempten

München 2007

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. E. P. Märtlbauer

Referent: Priv. Doz. Dr. Scholz

Korreferent: Priv.Doiz. Dr. Grund

Tag der Promotion: 20. Juli 2007

***Für
Karolin
und
meine Eltern***

Inhaltsverzeichnis

<u>1. Einleitung</u>	Seite 1
<u>2. Literatur</u>	Seite 2
2.1. Modelle zur Darstellung der Körperzusammensetzung	Seite 2
2.2. Methoden zur Ermittlung der Körperzusammensetzung	Seite 4
2.2.1. Direkte Methoden	Seite 4
2.2.2. Indirekte Methoden	Seite 4
2.2.2.1. Anthropometrie	Seite 5
2.2.2.2. Verdünnungsanalyse	Seite 5
2.2.2.3. Gesamt-Körper-Kaliumanalyse	Seite 6
2.2.2.4. Densitometrie	Seite 7
2.2.2.5. Neutronenaktivierungsanalyse	Seite 8
2.2.2.6. Elektrische Leitfähigkeit	Seite 8
2.2.2.7. Computertomografie	Seite 9
2.2.2.8. Ultraschallsonografie	Seite 9
2.2.2.9. Infrarot Interaktanz	Seite 10
2.2.2.10. Magnetresonanztomografie	Seite 10
2.3. Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)	Seite 11
2.3.1. Entstehung der Technik	Seite 11
2.3.2. Funktionsweise	Seite 12
2.3.3. Durchführung der Messung	Seite 15
2.3.4. DXA-Anwendung beim Menschen	Seite 16
2.3.5. DXA-Anwendung beim Tier	Seite 16
2.3.6. DXA-Anwendung beim Geflügel	Seite 21
<u>3. Publikation</u>	Seite 23
<u>4. Zusätzliche Ergebnisse</u>	Seite 51
4.1. Wiederholbarkeit	Seite 51
4.2. Vergleich verschiedener Modi	Seite 52

4.3. Entwicklung der Körperzusammensetzung	Seite 54
4.4. Geschlechtervergleich	Seite 57
<u>5. Diskussion</u>	Seite 59
5.1. Allgemein	Seite 59
5.2. Wiederholbarkeit	Seite 61
5.3. Richtigkeit	Seite 61
5.4. Intermodale Beziehungen	Seite 62
5.4.1. Gesamtgewicht	Seite 62
5.4.2. Körperfett	Seite 63
5.4.3. Knochenmineralmenge und –dichte	Seite 63
5.5. Körperfett	Seite 63
5.6. Knochenmineralgehalt	Seite 65
5.7. Magerweichgewebe	Seite 67
5.8. Gesamtgewicht	Seite 68
5.9. Genotypenvergleich	Seite 69
5.10 Futtervergleich	Seite 70
5.11. Geschlechtervergleich	Seite 70
<u>6. Literaturverzeichnis</u>	Seite 72

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Abb.	Abbildung
BC	Body Composition (Körperzusammensetzung)
BI	Bioelektrische Impedanzmessung
BMC	Bone Mineral Content (Knochenmineralmasse, g)
BMD	Bone Mineral Density (Knochenmineraldichte, g/cm ²)
BMPC	Bone Mineral Percentage (Knochenmineralgehalt, %)
BUT	British United Turkey
CT	Computertomografie
DH	Deutsch Holstein
DPA	Dual energy photon absorptiometry
DXA	Dual energy X-ray absorptiometry (Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie)
DXWT	DXA-Weight (von DXA ermitteltes Gewicht)
EBC	Eviscerated Body Composition (Schlachtkörperzusammensetzung)
FAT	Fettgewebemasse (g)
FATPC	Fat Percentage (Fettgewebsgehalt, %)
FV	Fleckvieh
II	Infrared Interactance (Infrarot-Interaktanz)
MRI	Magnetic Resonance Imaging (Magnet-Resonanztomografie)
MRS	Magnetresonanzspektroskopie
Tab.	Tabelle
LEAN	Magerweichgewebemasse (g)
LEANPC	Magerweichgewebsgehalt (%)
R ²	Bestimmtheitsmass
RMSE	Root mean square error (Standardschätzfehler)
RVAL	R-Value (Ratio of X-ray attenuation), R-Wert (Röntgenschwächungskoeffizient)
R-Wert	s. RVAL
PS	Pediatric Small (Modus)
PL	Pediatric Large (Modus)
PM	Pediatric Medium (Modus)

ROI	Region of interest
SAS	Small Animal Slow (Modus)
SAM	Small Animal Medium (Modus)
Tab.	Tabelle
TBP	Total body potassium analysis (Gesamtkörper Kalium-Analyse)
TBW	Total body water analysis (Verdünnungsanalyse)
TOBEC	Total body electrical conductivity

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Drei-Komponenten-Modell der Körperzusammensetzung für DXA-Untersuchungen (Fett-/ Magerweichgewebe und Knochengewebe), modifiziert nach SCHOLZ (2002)	Seite 3
Abb. 2.3.2.1: Scannertischeinheit	Seite 13
Abb. 2.3.2.2: Ausgewertetes Bild eines DXA-Scans	Seite 14
Tab. 2.3.2: Theoretische R-Werte ausgewählter chemischer Elemente und Verbindungen modifiziert aus PIETROBELLI et al. (1996, 1998).	Seite 15
<i>Publikation Anfang</i>	
Tab.1: Tiermaterial unterteilt nach Alter, Genotyp, Geschlecht und Futter	Seite 25
Tab.2: Futterzusammensetzung unterteilt nach Fütterungsphase und Futter	Seite 25
Abb. 1: Drei-Komponenten-Modell der Körperzusammensetzung für DXA-Untersuchungen (Fett-/ Magerweichgewebe und Knochengewebe), modifiziert aus SCHOLZ (2002)	Seite 26
Abb. 2: DXA-Scanergebnisse nach halbautomatischer Analyse	Seite 29
Tab. 3: DXA-Ergebnisse der ersten Messung mit dem Ganzkörper-Pediatric-Small-Modus, getrennt nach Alter und Rasse (Kleinste Quadrate Mittelwerte und Standardschätzfehler)	Seite 30

- Abb. 3: **Seite 31**
Körperzusammensetzung (Magerweichgewebe, Fettmenge und Knochenmineral in g) des Genotyps Kelly Bronze in Abhängigkeit vom Lebendgewicht; letzte Alters- bzw. Gewichtsgruppe enthält nur noch männliche Tiere)
- Abb. 4: **Seite 32**
Körperzusammensetzung (Magerweichgewebe, Fettmenge und Knochenmineral in g) des Genotyps Big 6 in Abhängigkeit vom Lebendgewicht; letzte Alters- bzw. Gewichtsgruppe enthält nur noch männliche Tiere
- Abb. 5: **Seite 33**
Beziehung zwischen dem mittels DXA und Zugwaage ermittelten Körpergewicht
- Abb. 6: **Seite 35**
Beziehung zwischen R-Wert (Weichgewebe-Röntgenschwächungskoeffizient) und DXA-Fettgehalt (%)
- Abb. 7: **Seite 40**
Vergleich des DXA-Fettgehaltes (%) von männlichen (1) und weiblichen (2) Big 6- bzw. Kelly Bronze-Puten
- Publikation Ende**
- Tab. 4.1: **Seite 51**
Beziehungen zwischen zwei aufeinander folgenden Messungen im Modus „Pediatry small“
- Abb. 4.1: **Seite 52**
Wiederholbarkeit der Gewichtsmessung bei zwei aufeinander folgenden Scans
- Tab. 4.2.1: **Seite 53**
Beziehung zwischen Pediatry Small und Small Animal Medium
- Tab. 4.2.2: **Seite 53**
Beziehung zwischen Pediatry Small und Small Animal Slow

Tab. 4.2.3: Beziehung zwischen Pediatry Small und Pediatry Medium	Seite 53
Tab. 4.2.4: Beziehung zwischen Pediatry Small und Pediatry Large	Seite 54
Abb. 4.3.1: Gewichtsentwicklung (DXWT) für Kelly Bronze (S) und BUT Big6 (W)	Seite 54
Abb. 4.3.2: Fettgehaltsentwicklung (FATPC) für Kelly Bronze (S) und BUT Big6 (W)	Seite 55
Abb. 4.3.3: Knochenmineraldichteentwicklung (BMD) für Kelly Bronze (S) und BUT Big6 (W)	Seite 55
Abb. 4.3.4: Knochenmineralgehaltentwicklung (BMPC) für Kelly Bronze (S) und BUT Big6 (W)	Seite 56
Abb. 4.3.5: Magergewebeentwicklung (LEANPC) für Kelly Bronze (S) und BUT Big6 (W)	Seite 56
Abb. 4.4.1: Geschlechtsspezifische Gewichtsentwicklung bis 18. Woche	Seite 57
Abb. 4.4.2: Geschlechtsspezifische Entwicklung des Fettgehalts bis 18. Woche	Seite 58
Tab. 5.1: Wassergehalt von „fettfreiem“ Fleisch unterschiedlicher Tierarten modifiziert nach SCHOLZ (2002) nach Angaben von König aus MOULTAN (1929)	Seite 59
Abb. 5.8: Prozentualer Fehler in der Gewichtsermittlung in Abhängigkeit vom Einzelgewicht	Seite 68

1. Einleitung

Die einfache und schnelle Ermittlung der Körperzusammensetzung ist seit langem ein wichtiger Teil der Medizin. Neben den medizinischen Aspekten spielt die Ermittlung der Körperzusammensetzung gerade in der Tierzucht eine große Rolle. In der humanmedizinischen Diagnostik werden ständig neue, nicht-destruktive Verfahren entwickelt, die meist zuvor an einem Tiermodell verifiziert werden müssen. Auf diese Weise wurden in den letzten Jahren weitere Techniken erforscht, die sich nun im diagnostischen Alltag etabliert haben. So ist die Feststellung der Körperzusammensetzung mithilfe von Computertomografie, Ultraschall und DXA gängige Praxis in der Humanmedizin. DXA gilt zurzeit sogar als Goldstandard in der Osteoporosedagnostik beim Menschen.

In der Tiermedizin werden derzeit vor allem Ultraschall und Computertomografie angewendet. Diese Verfahren werden hauptsächlich in der bildgebenden Diagnostik, aber auch zur Ermittlung der Körperzusammensetzung eingesetzt. Aufgrund des spezifischen Einsatzbereiches sowie des hohen Anschaffungspreises wird es sich in der Zukunft zeigen, ob sich die DXA-Technik als Routine-Diagnostikum in der Tiermedizin etablieren wird, oder ob sie speziellen Forschungseinrichtungen vorbehalten bleibt.

Ein großer Vorteil von nicht-destruktiven Verfahren ist einerseits die Umgehung der ethischen Problematik, die destruktive Verfahren mit sich bringen, und andererseits die Möglichkeit Verlaufsuntersuchungen am selben Tier durchzuführen. Dies gestattet dem Untersucher, neue Erkenntnisse in Langzeitstudien zu gewinnen.

Da an der Fachhochschule Weihenstephan (Fachbereich Land- u. Ernährungswirtschaft) ein Versuch zum Einsatz ökologisch erzeugter Proteinträger in der Putenmast lief, war es durch die freundliche Zusammenarbeit mit der Fachhochschule möglich, geeignetes Tiermaterial für diese Studie zu finden.

Diese Studie wurde durchgeführt, um die DXA-Anwendung zur Ermittlung der Körperzusammensetzung bei Puten zu evaluieren. Derartige Untersuchungen sind in der aktuellen Literatur nach dem derzeitigen Wissensstand nicht zu finden.

2. Literatur

2.1. Modelle zur Darstellung der Körperzusammensetzung

Die Zusammensetzung des Körpers kann auf verschiedenen Ebenen des chemischen Aufbaus definiert werden (HEYMSFIELD et al., 1997).

Die kleinstmögliche Aufteilung eines Körpers ist die Betrachtung auf atomarer Ebene. Die wichtigsten Atome als Bausteine aller biologischen Organismen sind Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Natrium, Kalium, Phosphor, Chlor, Kalzium, Magnesium und Schwefel. Diese Elemente bilden zu 99,5 % die Körperzusammensetzung auf atomarer Ebene.

Geht man einen Schritt weiter und betrachtet den Körper auf molekularer Ebene, so gehen die meisten Körperzusammensetzungsmodelle ursprünglich von einem scharf trennbaren Zwei-Komponentenmodell aus: Fett und fettfreie Masse. Dabei wird für die fettfreie Masse eine relativ konstante chemische Zusammensetzung für die Dichte (KEYS und BROZEK, 1953) und für den Wassergehalt (PACE und RATBURN, 1945) angenommen. Aus diesem Zwei-Komponenten-Modell entwickelten KEYS und BROZEK (1953) ein Vier-Komponenten-Modell bestehend aus: Wasser, Protein, Asche oder Knochenmineral und Fett.

Das Modell der Körperzusammensetzung (englisch: body composition, kurz: BC), welches sämtlichen DXA-Geräten zugrunde liegt, befindet sich sinngemäß zwischen den beiden oben genannten Modellen. Dabei wird der Körper definitionsgemäß in drei Komponenten geteilt, die sich jeweils in ihrer Röntgenabsorption unterscheiden (PIETROBELLI et al., 1996). Die einzelnen Komponenten sind Fett (FAT), Knochenmineral (BMC) und der Rest, der als Magerweichtgewebe (LEAN) bezeichnet wird. Folgende Skizze soll dies verdeutlichen. Spalte vier entspricht dem Körperzusammensetzungsmodell eines DXA Scans (Abb. 2.1).

Körpermasse	Fette (Lipide)			Weichgewebe
	Magergewebe	Proteine	Magerweichgewebe	
		Kohlenhydrate		
		Mineralstoffe		
		Wasser		
Knochenmineralstoffe				

Abb. 2.1: Drei-Komponenten-Modell der Körperzusammensetzung für DXA-Untersuchungen (Fett-/ Magerweichgewebe und Knochengewebe), modifiziert nach SCHOLZ (2002)

Bereits in dieser Skizze ist erkennbar, dass die Mineralstoffe differenziert betrachtet werden müssen. DXA-Geräte erkennen ausschließlich das Knochenmineral, indem angenommen wird, dass Knochengewebe nur in größeren Gruppen zusammenhängend zu finden ist. Kleinere mineralisierte Bezirke werden somit herausgerechnet und zählen nicht zum Knochenmineral (PIETROBELLI et al., 1996). Dieses ist zwar in der Analyse korrekt, jedoch werden diese extraosseären Bereiche (z.B. Calciumablagerungen der Aorta) bei einer chemischen Vollanalyse miterfasst. Dieser Fehler kann durch eine vorherige Zerlegung minimiert werden und sollte zumindest bei den bereits durchgeführten Arbeiten ohne vorherige Zerlegung kritisch betrachtet werden (ELWSSON et al., 1998).

Eine andere Betrachtungsweise auf molekularer Ebene ist eine vereinfachte, generelle Aufteilung in Lipid, Wasser, Protein, Glykogen und Asche, die zusammen mehr als 99 % der Körperzusammensetzung ausmachen (SCHOLZ, 2002).

Betrachtet man die Körperzusammensetzung auf der Gewebe-Organ-Ebene, so liegen folgende Bausteine zugrunde: Skelettmuskulatur, subkutanes, abdominales, inter- und intramuskuläres Fett, Knochengewebe, Blut, Bindegewebe, Haut, Hautanhänge, Organe des Herz-, Kreislauf- und respiratorischen Systems,

Nervengewebe, Reproduktions- und Harnausscheidungsorgane sowie der Gastrointestinaltrakt (SCHOLZ, 2002).

2.2. Methoden zur Ermittlung der Körperzusammensetzung

2.2.1. Direkte Methoden

Die chemische Analyse von Geweben bildet die Grundlage der modernen Medizin. Dabei muss zwischen Gesamtkörper- und Teilproben (Biopsien) unterschieden werden. Teilproben können zwar am lebenden Objekt gewonnen werden, sind aber nicht unbedingt aussagekräftig für das gesamte Organ, noch für den gesamten Körper. Außerdem sind solche Eingriffe immer mit einem Risiko für das Objekt verbunden (ELLIS, 2001).

Chemische Gesamtkörperanalysen setzen den Tod des zu untersuchenden Objekts voraus. Dadurch sind Verlaufsuntersuchungen bei einer Gesamtkörperanalyse an einem Individuum naturgemäß nicht möglich. Bei der Beurteilung einer chemischen Analyse gilt es zu beachten, ob diese nach einer manuellen Zerlegung (grobgewebliche Zerlegung) oder direkt ohne Zerlegung durchgeführt wird, da sich unterschiedliche Resultate ergeben können.

Eine gängige chemische Analyse ermittelt die Werte nach einer Homogenisation der Probe durch Veraschung bei 550 °C (Asche), Lösung in Petroläther (Fett) und dem Kjeldahlverfahren (Protein) (KAMPHUES et al. 1999).

Historische Aufzeichnungen über diese Verfahren bei Schwein, Rind und Schaf werden auf Mitte des 19. Jahrhunderts datiert. Diese Untersuchungen wurden im Rahmen der so genannten „Rothamsted Agricultural Experiments“ in England durchgeführt (SCHOLZ 2002). Heutzutage dient die chemische Analyse hauptsächlich zur Überprüfung indirekter Methoden (SPEAKMAN et al. 2000, PINTAURO et al. 1996, MITCHELL et al. 1998).

2.2.2. Indirekte Methoden

Bereits im Jahre 1940 forschte A.R. Behnke an Methoden, die Körperzusammensetzung eines Menschen indirekt zu bestimmen (BEHNKE, 1941). Zu diesem Zeitpunkt wurde es erstmals möglich, die Körperzusammensetzung eines Menschen in vivo zu bestimmen.

2.2.2.1. Anthropometrie

Die Anthropometrie verfolgt die Idee, aus leicht ermittelbaren Körperdaten mittels einer mathematischen Gleichung die Körperzusammensetzung zu errechnen (LUKASKI, 1987). So entwickelten WILMORE und BEHNKE (1968) Gleichungen, mit denen aus verschiedenen Körpermaßen wie z.B. Kopflänge und -umfang, Knie, Knöchel, Ellbogen und Brustumfang die Körperdichte und fettfreie Masse bei Schülern ermittelt werden konnte. Ein anderer Ansatzpunkt der Anthropometrie war die Vermessung einer Hautfalte. Dieser Idee werden zwei Annahmen zugrunde gelegt. Zum einen soll das subkutane Fettgewebe einen konstanten Anteil des Gesamtfettgewebes darstellen, zum anderen sollen die gemessenen Stellen die durchschnittliche Dicke des subkutanen Fettgewebes repräsentieren. Die dazu ermittelten Gleichungen wurden von LOHMANN (1981) beschrieben.

MIROSH et al. (1980) untersuchten die Anwendbarkeit der Anthropometrie bei Broilern. Dazu wurden bei 661 Hühnern der Gattung Gallus gallus domesticus die Flügelhautdicke und die Dicke der Federkiele im Bereich des Humerus gemessen und anschließend die Korrelationen zwischen abdominalem Fett und den Messpunkten bestimmt. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten wiesen eine schlechte Übereinstimmung auf und zeigten somit, dass es nicht möglich war, das abdominale Fett mittels der oben genannten Methoden vorherzusagen.

Eine Entwicklung der Anthropometrie für den Nutztiersektor ist ein spezielles Maßband. Es ermöglicht dem Benutzer ohne spezifische Vorkenntnisse durch die Messung des Brustumfangs das Gesamtgewicht (Rind) bzw. das Schlachtgewicht (Schwein) zu schätzen.

2.2.2.2. Verdünnungsanalyse - Total body water analysis (TBW)

Die Tatsache, dass Wasser nicht in gespeicherten Triglyceriden vorkommt und ein relativ konstanter Wassergehalt in der fettfreien Masse (73,2 % beim Menschen) zu finden ist, macht es möglich das Gesamtkörperwasser zu bestimmen und dieses als Index für die Körperzusammensetzung zu nutzen (PACE und RATBURN, 1945). Dazu wird eine bestimmte Menge eines radioaktiven Tritium- oder Deuterium-Tracers oral oder intravenös verabreicht. Nach einer bestimmten Zeit der Equilibration werden Proben gezogen und analysiert (LUKASKI, 1987). Diese sind aussagekräftig, da die Isotope die gleichen Verteilungseigenschaften wie Wasser aufweisen. Über die Gleichung $C1 * V1 = C2 * V2$ ($C1$ = Konzentration Tracer, $V1$ = Volumen Tracer, $C2$

= Konzentration der Probe, V_2 = Körperwasser) kann das Gesamtkörperwasser berechnet werden.

JENSEN et al. (1993) verglichen die Ergebnisse der Verdünnungsanalyse mit denen eines DXA-Scans. Dabei prüften sie das Magerweichgewebe und kamen zu dem Schluss, dass die Korrelation zwischen dem DXA-Scan und der Verdünnungsanalyse zwar hoch war ($R^2 = 0,72$), die Absolutwerte jedoch signifikant voneinander abwichen. Die Autoren führten diese Unterschiede auf Berechnungsfehler des Systems oder auf die starren Annahmen für die Extrapolation zurück.

In der Tiermedizin wurde diese Methode der BC-Analyse bereits mit akzeptabler Richtigkeit bei Schafen (PANARETTO, 1963), Rindern (LITTLE und MCLEAN, 1981), Schweinen (HOUSEMAN et al., 1973) und Ziegen (PANARETTO und TILL, 1963) durchgeführt. JOHNSON und FARREL (1987) analysierten schließlich auch Hühner mit der TBW-Methode. Dazu untersuchten sie 169 Vögel mit unterschiedlicher Größe, Gewicht, Genetik und Ernährungszustand. Im Anschluss an den TBW-Versuch wurden die Tiere getötet und chemisch analysiert. Bei Ihren Untersuchungen kamen sie zu dem Schluss, dass die TBW den Gesamtwassergehalt um bis zu 10,4 % überschätzt. Jedoch ließen sich mittels TBW und geeigneter Regressionsgleichung, die das Körpergewicht miteinbeziehen, genauere Voraussagen bezüglich Gesamtkörperwasser, Proteingehalt und des Fettgehaltes treffen.

2.2.2.3. Gesamt-Körper-Kaliumanalyse - Total body potassium Analysis (TBP)

Kalium ist ein essentielles intrazelluläres Kation, das nicht im gespeicherten Körperfett zu finden ist. Das radioaktive Isotop K^{40} nimmt 0,012 % des Kaliums im Körper ein. Um diesen Gehalt messen zu können, muss die von einem Probanden ausgehende Strahlung in einem von der natürlichen Hintergrundstrahlung abgeschirmten Raum mittels Spezialdetektoren gemessen werden. Wenn das TBP ermittelt ist, kann mittels einer Gleichung die fettfreie Masse des Körpers bestimmt werden. Diese Untersuchung ist jedoch aufgrund der speziellen räumlichen und technischen Anforderungen nur sehr kostenintensiv durchzuführen (LUKASKI, 1987). Bei einer Vergleichsstudie zwischen TBP und DXA beim Menschen war das Bestimmtheitsmaß aus der Regression für Magerweichgewebe (LEAN) mit $R^2 = 0,77$

recht hoch. Jedoch variierten die Absolutwerte deutlich, wobei der DXA-Wert für LEAN höher war als der durch TBP ermittelte (JENSEN et al., 1993).

DICOSTANZO et al. (1995) untersuchten die Anwendung der K^{40} -Methode bei 14 Ochsen. Die in dieser Studie entwickelten Gleichungen eigneten sich gut, um die Schlachtkörperzusammensetzung (EBC = eviscerated body composition) bei Ochsen vorherzusagen. Die Variationskoeffizienten zur Ermittlung des Wasser- bzw. Proteingehaltes lagen bei ca. 5 %. Somit kamen sie zu dem Schluss, dass sich mit diesem nicht-destruktiven System eine richtige Vorhersage der EBC bei Ochsen treffen lässt.

2.2.2.4. Densitometrie

Bei dieser Art der BC-Bestimmung wird wiederum ein striktes Zwei-Komponentenmodell für den Körper angenommen (Fett und fettfreie Masse). Eine grundlegende Annahme für diese Art der BC-Bestimmung ist eine konstante Zusammensetzung der fettfreien Masse unabhängig von Alter und Geschlecht (mit einem konstanten Wassergehalt von 73 %). Diese Annahme führt jedoch zu Abweichungen in der Genauigkeit bei bestimmten Subpopulationen wie z.B. bei Kindern oder alten Menschen (KOHRT, 1998). Auch SIRI (1956) stellten die Annahme der konstanten Zusammensetzung der fettfreien Masse in Frage. Er bezeichnete die normale Variation im Wassergehalt als die größte Quelle für die individuelle Variabilität in der Dichte der fettfreien Masse.

Die mathematischen Zusammenhänge, mit denen beide Komponenten bestimmt werden können, beschrieben KEYS und BROZEK (1953) in ihrer Veröffentlichung. Die gängigste Methode, die Gesamtkörperdichte zu bestimmen, ist die Unterwassergewichtsmessung nach dem Archimedes Prinzip (LUKASKI, 1987). In einer Vergleichsstudie zwischen Hydrodensitometrie und DXA ermittelte KHORT (1998) eine hohe Korrelation ($r = 0,95$; $P < 0,01$) zwischen den Fettgehalten beider Messarten. Jedoch gibt es einen geschlechtsspezifischen Unterschied bei den Absolutwerten. Die DXA-Werte für Fettgehalt und Fettmenge lagen bei Männern höher als bei der Hydrodensitometrie. Bei Frauen lagen die DXA-Werte unter denen der Vergleichsmethode.

2.2.2.5. Neutronenaktivierungsanalyse - Neutron activation analysis

Eine Möglichkeit zur Ermittlung der Körperzusammensetzung auf Elementarniveau ist die Neutronenaktivierungsanalyse. Dabei wird das zu untersuchende Objekt mit einem Neutronenstrahl beschossen. Die zu untersuchenden Elemente wandeln sich durch die Strahlung kurzzeitig zu instabilen Isotopen um und springen anschließend spontan wieder in einen stabilen Zustand zurück. Dabei wird eine charakteristische Strahlung emittiert, aus der das Element und die Menge detektiert werden kann. Diese Technik wird sich jedoch aufgrund der hohen Kosten und des notwendigen Spezialpersonals nicht zu einer Standardmethode entwickeln (LUKASKI, 1987).

2.2.2.6. Elektrische Leitfähigkeit - Electrical Conductance

In lebenden Organismen ist die elektrische Leitfähigkeit abhängig vom Wassergehalt und der Verteilung der Elektrolyte im Körper. Da die fettfreie Masse zusammen mit der Proteinmatrix im Fettgewebe das gesamte Körperwasser mit den darin gelösten Elektrolyten enthält, ist die Leitfähigkeit in diesem Gewebe weitaus größer als im Fettgewebe (PETHIG, 1979). Diesen Effekt macht man sich bei der bioelektrischen Impedanzmessung (BI) und bei der elektrischen Leitfähigkeitsmessung des Gesamtkörpers zu Nutzen. Die in der Strombahn des Gewebes befindlichen ohmschen und kapazitiven Widerstände bilden einen Gesamtwiderstand, der wie in metallischen Leitern elektrische Impedanz heißt (GIESE, 1997). NYBOER et al. (1943) beschrieben einen Zusammenhang zwischen der Impedanz und dem elektrischen Volumen. Das Volumen kann auch als Quotient aus Körperhöhe² / Widerstand ausgedrückt werden. Obwohl es schwierig ist, dieses generelle Prinzip beim menschlichen Körper anzuwenden, konnten beispielsweise NYBOER et al. (1983) oder LUKASKI et al (1986) dieses Modell benutzen, um die Körperzusammensetzung vorauszusagen (LUKASKI, 1987). Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Gesamtkörpers (englisch: Total body electrical conductivity, kurz: TOBEC) beruht auf derselben physikalischen Grundlage. DICKINSON et al. (2001) untersuchten die Anwendung eines TOBEC-Gerätes bei weiblichen Wistar-Ratten. Dabei konnten sie zeigen, dass es eine sehr hohe Korrelation ($r^2 = 0.952$) zwischen den TOBEC-Werten und den Kontrollen aus der chemischen Analyse gab. Die TOBEC-Werte waren unabhängig vom Ernährungszustand der Ratten und von den Personen, die das Gerät bedienten.

2.2.2.7. Computertomografie (CT)

Die Computertomografie ist eine Form der röntgenologischen Untersuchung, bei der die Strahlenquelle und der Detektor um den Probanden rotieren. Die Abschwächung der Röntgenstrahlung wird kontinuierlich erfasst und mittels Computerprogramm auf jedes Pixel (Bildelement) für jede virtuelle Scanscheibe umgerechnet (entspricht Voxel = Volumenelement). Die Graustufe eines jeden Voxel wird in Hounsfield-Einheiten angegeben. Diese Einheit ist wiederum spezifisch für ein bestimmtes Gewebe bzw. Gewebekompartiment (Wasser, Protein, Fett, Knochen, usw.) (LUKASKI 1987). ANDRASSY-BAKA et al. (2003) untersuchten die Körperzusammensetzung von Puten mit Hilfe von CT. Dabei untersuchten sie morphologische Eigenschaften des Brustmuskels auf der Basis einer dreidimensionalen Rekonstruktion. Weiterhin bestimmten sie die Gesamtfleischmenge volumetrisch und ermittelten das Gesamtfett und gaben dies umgerechnet als gewichtsunabhängige Fettindices an. BRONOE und KOLSTAD (2000) beschrieben die Entwicklung der Körperzusammensetzung zweier Putengenotypen (BUT-9 und Nicholas) die durch eine CT ermittelt wurden. Die männlichen Tiere wiesen höhere Tageszunahmen auf, und der Fleischanteil war ab der 8. Lebenswoche höher als bei den weiblichen Tieren. Im Gegensatz dazu war der Fleischanteil bei den weiblichen Tieren in den ersten Lebenswochen prozentual höher, jedoch verfetteten sie schneller und sollten daher früher geschlachtet werden.

2.2.2.8. Ultraschografie

Als Ultraschall bezeichnet man einen hochfrequenten, vom Menschen nicht mehr hörbaren Schall ab 20 kHz bis 100 MHz. Medizinische Anwendungen von Ultraschall nutzen Frequenzen von 1 bis 25 MHz, die von keinem Lebewesen gehört werden können (GIESE, 1997). Bei der Ultraschalluntersuchung werden Ultraschallwellen pulsatil vom Sender in den Körper geschickt. Dort werden sie an Stellen reflektiert, an denen sich die Gewebzusammensetzung ändert bzw. Übergänge zwischen zwei Geweben vorhanden sind. Die reflektierten Schallwellen werden vom Empfänger registriert und von einem Monitor entweder als Linie (A-mode) oder als zweidimensionales Bild wiedergegeben (B-mode). Daneben können mit modernen Ultraschallgeräten auch dreidimensionale Bilder erzeugt werden. Dazu wird der Schallkopf manuell über den zu untersuchenden Bereich bewegt und die kontinuierlich erfassten Einzelbilder werden vom Computer zu einem

dreidimensionalen Bild zusammengesetzt. Die Ultraschalluntersuchung hat zwei große Einsatzgebiete in der Tiermedizin. Zum einen als bildgebendes Diagnostikum in der kurativen Praxis zum anderen in der Tierbeurteilung.

STAUFENBIEL (1997) untersuchte die Möglichkeit der Körperkonditionsbeurteilung von Milchkühen mit Hilfe der sonografischen Rückenfettdickenmessung. Bei dieser Untersuchung stellte er fest, dass diese Methode zur routinemäßigen Anwendung in Milchviehherden als geeignet empfohlen werden kann. WITCZAK et al. (2005) untersuchten die Vorhersagbarkeit des Fettgehalts mittels Ultraschall bei männlichen Yucatan Schweinen. Dabei konnten sie hohe Korrelationen zwischen den Ultraschallmessungen im Abdominalbereich und dem Fettgehalt des Schlachtkörpers bzw. des Visceralfetts nachweisen.

2.2.2.9. Infrarot Interaktanz - Infrared Interactance (II)

Wenn elektromagnetische Strahlung auf ein Material trifft, wird diese Energie abhängig von der Zusammensetzung entweder reflektiert, absorbiert oder transmittiert. Die Energie, die vom Material reflektiert wird, enthält Informationen, die Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Probe zulassen (LUKASKI, 1987). Ursprünglich wurde dieses System von NORRIS (1983) entwickelt, um die Inhaltsstoffe von Körnern und Ölsaaten vorherzusagen. Bei einer Untersuchung zur Anwendbarkeit beim Menschen konnten CONWAY et al. (1984) hohe Korrelationen bei der Messung des Fettgehaltes zwischen II und TBW bzw. Ultraschalluntersuchungen aufzeigen. MITCHELL et al. (2005) untersuchten die Möglichkeit zur Schätzung der Körperzusammensetzung beim Schwein mittels Nahinfrarot-Interaktanz bei 120 Tieren. Unter der Berücksichtigung der Körpermasse in der Regressionsgleichung, lag die Schätzgenauigkeit für den Fettgehalt im Schlachtkörper bei $R = 0,93$ bzw. $R = 0,91$ am lebenden Tier.

2.2.2.10. Magnetresonanztomografie - Magnetic resonance imaging (MRI)

Atomkerne sind aus Protonen und Neutronen aufgebaut und können sich wie kleine Magneten verhalten. Baut man um einen Körper ein magnetisches Feld auf, so richten sich die Kerne nach diesem Feld aus und nehmen nach Anregung mit einem Hochfrequenzimpuls Energie auf. Wird der Hochfrequenzimpuls abgeschaltet, schwingen die Kerne in Ihre Ausgangslage zurück und senden die aufgenommene Energie in Form von Strahlung aus. Dieses Signal wird von einem Detektor

empfangen und von einem Computer in ein Bild umgerechnet (KAUFMANN et al., 1981). FUSCH et al. (1999) untersuchten die Anwendung von MRI bei Ferkeln, um eine Vorhersage der Körperzusammensetzung zu erhalten. Dabei konnten sie zeigen, dass die Korrelation für den Fettgehalt zwar mit $R^2 = 0,923$ ($r=0,96$) sehr hoch war, die Absolutwerte jedoch um den Faktor 2,5 zu hoch lagen. MITCHELL et al. (2001) untersuchten ebenfalls die Körperzusammensetzung von Schweinen mittels MRI. Laut diesen Autoren war es möglich, eine genaue Aussage über die Körperzusammensetzung von Schweinen mithilfe von bestimmten Daten aus der Rücken- und Schinkenregion zu treffen. Die Anwendung der Magnetresonanzspektroskopie (MRS) prüften MITCHELL et al. (1991) beim Geflügel. Bei dieser Studie wurden Puten und Hühner analysiert und mit einer chemischen Analyse verglichen. Verglichen werden die Integrale für Wasser, Fett und Protein des Magnetresonanzspektrums mit den Werten für Gesamtkörperwasser, -Protein und -Fett. Die Beziehung zwischen MRS und chemischer Analyse waren bei den Puten für alle Werte sehr gut ($R^2 \geq 0,93$).

2.3. Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)

2.3.1. Entstehung der Technik

Die Ursprünge der heutigen DXA gehen zurück auf die Zeit, in der es möglich wurde, monoenergetische Strahlung aus einer Strahlenquelle zu generieren (LUKASKI, 1987). Bereits im Jahre 1963 beschrieben CAMERON und SORENSON (1963) die Möglichkeit, den Knochenmineralgehalt mittels Single-photon-absorptiometry zu messen. Erst mit der Entwicklung der Dual-photon-absorptiometry (DPA) war es jedoch möglich, neben dem Knochenmineralgehalt gleichzeitig den Magergewebegehalt zu messen. Dadurch konnte man darauf verzichten durch Wasserbäder oder Gewebsäquivalente eine gleichmäßige Weichgewebebedicke künstlich zu erzeugen. Somit konnten neue Körperregionen analysiert werden. Bei diesen Geräten verwendete man natürliche Strahlenquellen, die mit zwei diskreten Energiemaxima ihre Photonen aussenden (PEPLER und MAZESS, 1981; GOTFREDSEN et al., 1986). Der nächste Schritt war die künstliche Erzeugung der Strahlung mittels eines konventionellen Röntgenerators. Diesem Gerät musste noch ein Filter nachgeschaltet werden, um aus dem gesamten Röntgenspektrum die gewünschten Maxima (z.B.) bei 38 keV und 70 keV herauszufiltern. Diese Technik wurde als Dualenergie-

Röntgenabsorptiometrie bezeichnet (MAZESS et al., 1989; SARTORIS und RESNICK, 1989). Die Vorteile der DXA-Technik gegenüber der DPA liegen in der höheren Präzision, der kürzeren Scanzeit und in der geringeren Strahlendosis, die auf den Patienten einwirkt (BLAKE und FOGELMAN, 1997). Eine Weiterentwicklung in der DXA-Technik war die Geometrie der erzeugten Strahlung. So wurde der punktförmige Röntgenstrahl (pencil beam) mit einem Detektor von einem fächerförmigen Röntgenstrahl (fan beam) mit mehreren Detektoren ersetzt. Dies ermöglichte es, alle Pixel auf einer Linie gleichzeitig zu erfassen, was zu einer kürzeren Scanzeit führte (ABRAHAMSEN et al., 1995) und somit Bewegungsartefakte minimierte (KOO et al., 1995). Die Korrelationen zwischen „Fan beam“- und „Pencil beam“-Geräten untersuchten KOO et al. (2003) bei Ferkeln und bei Kleinkindern. Die Korrelationen erreichten bei allen Werten nahezu 1, jedoch gab es Unterschiede in den Absolutwerten. Die größten Abweichungen mit > 30 % waren beim BMC zu finden. Die Autoren proklamierten deshalb für jede Technik spezifische Referenztabellen anzufertigen, um Fehler zu minimieren, die sich aus einer Umrechnung ergeben könnten. Die neueste Entwicklung auf dem Sektor der DXA-Geräte ist das „Flash Beam“-Gerät Osteocore 3 der Firma Medilink (Pérols, France). Bei diesem Gerät weist die Geometrie der Strahlung die Form einer Pyramide auf. Der 20 x 20 cm große digitale Detektor besteht aus 512 x 512 Einzelementen, die unabhängig voneinander die Strahlungsintensität messen. Die Auflösung (400 µm) dieses Gerätes ist von der Anzahl dieser Detektoren abhängig. Dieser Aufbau verkürzt die Scanzeit um ein Vielfaches.

2.3.2. Funktionsweise

Es gibt vier bekannte Hersteller von DXA-Geräten wie GE LUNAR, Hologic, Norland Systems (Copper Surgical) und Medilink, die Ganzkörperuntersuchungen zulassen. (Es gibt noch weitere Hersteller, die Geräte allein für die Osteoporosediagnose anbieten, wie z.B. Aloka (Tokyo, Japan). Der Aufbau ist bei allen Geräten prinzipiell gleich (Abb. 2.3.2.1). Sie bestehen aus einer Strahlenquelle, die eine Strahlung mit zwei diskreten Energiespitzen (Peaks) produziert, einem Detektor und einer Computeranlage, mit der die Berechnungen durchgeführt und die Bilder angezeigt werden (LASKEY, 1995).

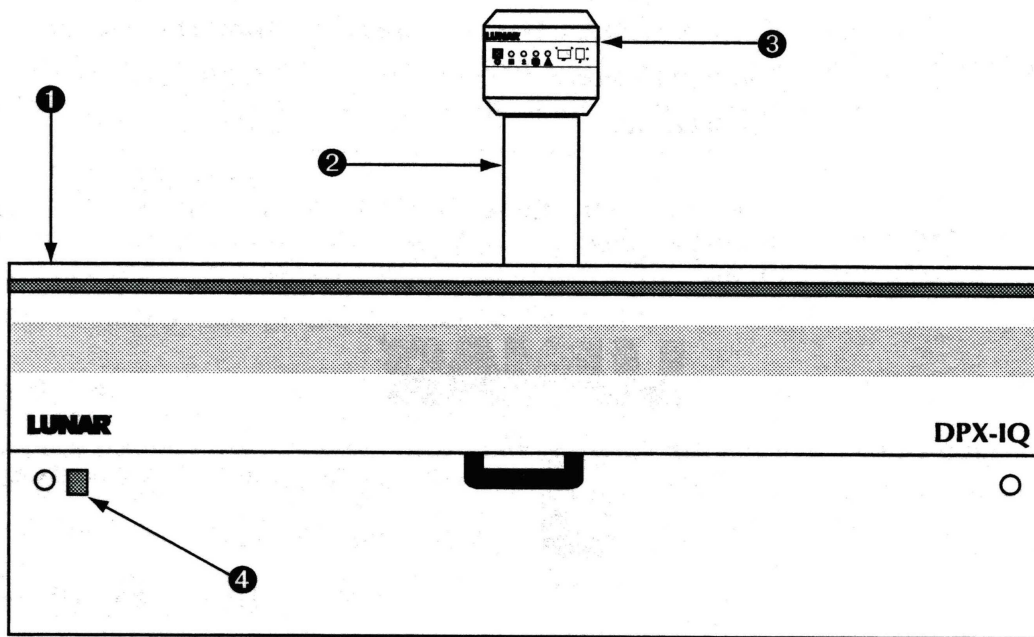


Abb. 2.3.2.1: Scannertischeinheit mit Scannertisch (1), Scannerarm (2), Bedienungsfeld (3) und Netzschalter (4) (LUNAR® DPX-IQ Bedienungshandbuch)

Die grundlegende Idee hinter dieser Methode wurde von der DPA übernommen: Bei der Transmission der Strahlung durch das zu analysierende Objekt wird die Strahlung in Abhängigkeit von der Körperzusammensetzung abgeschwächt (PEPLER und MAZESS, 1981). Die genaue Funktionsweise beschrieben LASKEY (1995), BLAKE und FOGELMAN (1997) und PIETROBELLI et al. (1998). Das Grundprinzip besteht in der unterschiedlichen Schwächung der Röntgenstrahlung von Magerweichgewebe (größere Absorptometrie durch Wasser und Protein) zu Fettgewebe (geringere Absorptometrie). Die größte Schwächung weist Knochen- bzw. Mineralgewebe auf. Der gesamte Körper wurde bei den ersten Geräten in ca. 4000 Pixel unterteilt. Davon sind in ca. 2000 Pixel Knochen enthalten (GOTFREDSSEN et al., 1986). Die genaue Pixelanzahl variiert jedoch je nach Hersteller, Gerätetyp und Scanmodus und fällt bei den jüngsten Geräten um ein Vielfaches höher aus (Ganzkörperscan mittels Flashbeam-Technologie > 2 Mio Pixel). Jedes Pixel wird theoretisch als Zwei-Komponenten-Mix betrachtet. Zum einen wird Knochenmineral und Weichgewebe gemessen, wenn Knochenmineral im Pixel enthalten ist. Zum anderen wird Fett und Magerweichgewebe gemessen, sofern kein Knochenmineral im Pixel enthalten ist (PIETROBELLI et al., 1996). Der Fett- und Magerweichgewebe-Gehalt wird für jedes Pixel bestimmt, welches nicht von Knochen überlagert wird. Für das Weichgewebe,

welches von Knochen überlagert wird, wird die durchschnittliche Zusammensetzung der anderen Pixel interpoliert (MITCHELL et al., 1998). Würde man alle drei Komponenten gleichzeitig messen wollen, müssten auch drei verschiedene Strahlungen mit unterschiedlichen Energieniveaus erzeugt werden.

DXA erzeugt im Gegensatz zu z.B. CT oder MRI nur ein zweidimensionales Bild, (Abb. 2.3.2.2), ist jedoch nicht wie diese Systeme direkt von der Bildauswertung abhängig (SCHOLZ, 2002). Die Messung der Körperzusammensetzung erfolgt durch die unterschiedliche Absorption von niedrig- (z.B. 38 keV) und hochenergetischer (z.B. 70 keV) Röntgenstrahlung der einzelnen Gewebe (Knochenmineral, Fett- und Magerweichgewebe).

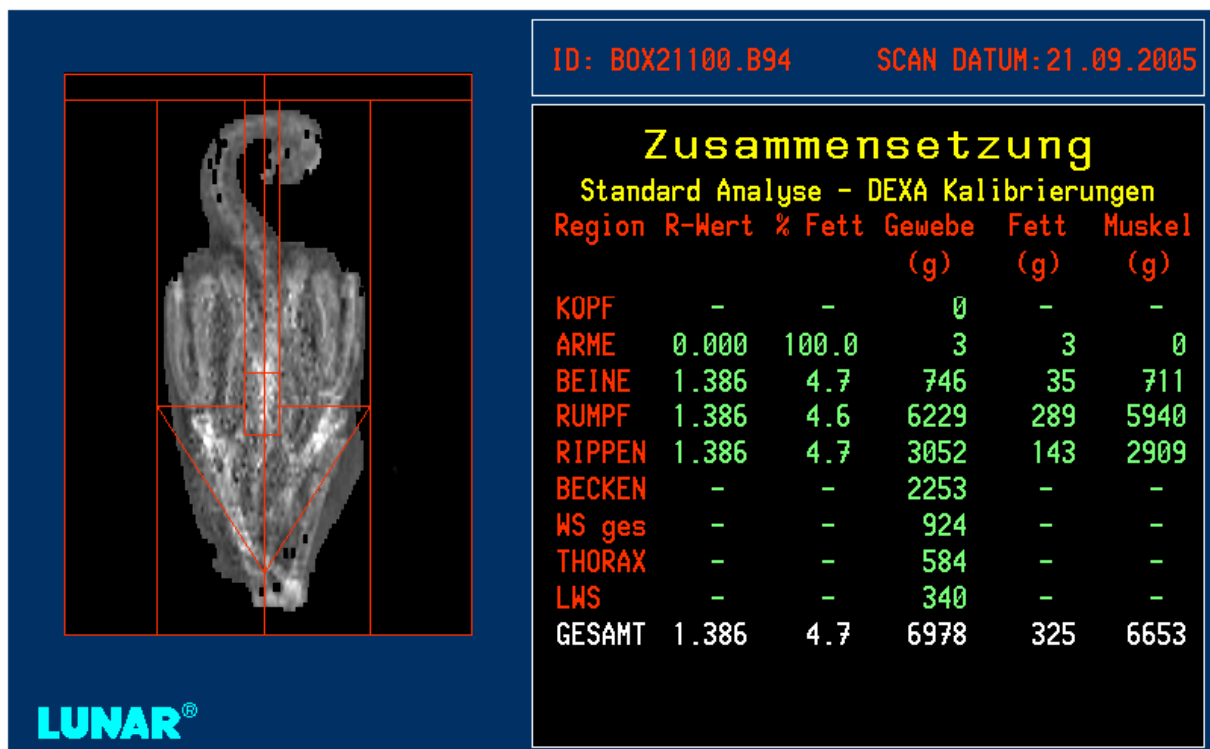


Abb. 2.3.2.2.: Ausgewertetes Bild eines DXA-Scans

Aus dem Quotienten der Intensitätsabschwächungen der beiden Strahlungen wird ein so genannter R-Wert berechnet. Dieser R-Wert dient als Berechnungsgrundlage für die Körperzusammensetzung (GOTFREDSSEN et al., 1986, PIETROBELLI et al., 1996), da für jedes Element, jede Verbindung oder Gewebe ein theoretischer R-Wert existiert (Tab. 2.3.2).

Tab. 2.3.2: Theoretische R-Werte ausgewählter chemischer Elemente und Verbindungen modifiziert aus PIETROBELLI et al. (1996, 1998).

Bsp:	Wasserstoff	R = 1,0891
	Kohlenstoff	R = 1,2199
	Sauerstoff	R = 1,4167
	Calcium	R = 3,5422
	Natrium	R = 1,9045
	Phosphor	R = 2,7418
	Eisen	R = 4,0162
	Wasser	R = 1,357
	L-Alanin	R = 1,283
	Arachidonsäure	R = 1,2106

2.3.3. Durchführung der Messung

Zu Beginn eines Messtages muss das Gerät mit einem geeichten Hartplastikquader überprüft werden (LUNAR® DPX-IQ Bedienungshandbuch). Anschließend wird das zu untersuchende Objekt standardisiert auf dem Gerät positioniert. In dieser Untersuchung wurden die Tiere in Brustlage und mit dem Kopf nach vorne (in Richtung Startpunkt der Ganzkörperanalyse) gelagert. Sämtliche Metallteile sollten entfernt werden da sie die Röntgenstrahlung stark absorbieren und so die Messwerte verfälschen. Im Anschluss daran kann die Messung (der Scan) vom Bedienpult gestartet werden. Der Untersucher kann sich während der Messung in demselben Raum aufhalten, da die Strahlungsintensität so gering ist, dass sich außerhalb eines ein (1) Meter breiten Sicherheitsradiuses keine nennenswerte Strahlung mehr nachweisen lässt. Selbst der Patient wird nur einer Strahlendosis von ca. 2-5 μ Sv ausgesetzt. Dies ist ungefähr die gleiche Dosis, die in 12-24 h durch die natürliche Hintergrundstrahlung auf einen Menschen in England einwirkt (JEBB et al., 1994). Eine Messung dauert je nach Scanmodus und Größe des Patienten zwischen 2 und 30 Minuten.

2.3.4. DXA-Anwendung beim Menschen

Die bisher größte Bedeutung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie in der Humanmedizin liegt in der Ermittlung des Knochenminerals. So liegt das Haupteinsatzgebiet in der Osteoporosediagnostik, Diagnose der Bruchheilung und periprothetischer Knochenmineralmessung (GRIER et al., 1995; BLAKE und FOGELMAN, 1997). Aber auch die Ermittlung der Körperzusammensetzung ist in der Humanmedizin von großer Bedeutung. So ist die Körperzusammensetzung in der Neonatologie von Interesse, um den Ernährungszustand und die Qualität des Wachstums und der Entwicklung bei prämaturn geborenen Kindern zu beurteilen (FUSCH et al., 1999). ELOWSSON et al. (1998) beschrieb die Anwendung von DXA im Zusammenhang mit Stoffwechselerkrankung und Ernährungsstörungen.

Weiterhin ist die Ermittlung des Ernährungszustandes ein wichtiges Kriterium bei chirurgischen Patienten, da dieser einen hohen Einfluss auf die Morbidität bzw. Mortalität hat (THOMSEN et al., 1998).

PARK et al. (2001) beschrieb die Möglichkeit durch die ROI- (Region of Interest) Funktion eine Vermehrung des intraabdominalen Fettgewebes zu diagnostizieren, welches wiederum mit dem Risiko an Herzkranzgefässerkrankungen oder an Diabetes Typ 2 zu erkranken, korreliert war. Die ROI-Funktion ermöglicht dem Untersucher eine sehr gezielte Untersuchung des Körpers, da verschiedene Bereiche am Scanbild manuell festgelegt werden können (siehe Abb. 2.3.2.2). Diese Bereiche können anschließend einzeln ausgewertet werden, ohne dabei das GESAMT-Ergebnis zu verändern.

2.3.5. DXA-Anwendung beim Tier

Auch in der Tiermedizin wurde die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie unter verschiedenen Fragestellungen bei unterschiedlichen Tierarten eingesetzt. FEELY et al. (2000) verglichen die Messwerte der Körperzusammensetzung zwischen DXA und einer chemischen Analyse bei männlichen Ratten. Ziel der Studie war es festzustellen, ob altersabhängige Unterschiede in der Körperzusammensetzung mittels DXA diagnostiziert werden konnten. In dieser Studie lagen die Werte für das Gewicht der Karkasse und des Fetts über den Werten der chemischen Analyse. Außerdem war DXA nicht in der Lage die Veränderungen in der fettfreien Masse zu

detektieren. Auch BERTIN et al. (1998) und GALA PANIAGUA et al. (1998) untersuchten die Anwendbarkeit von DXA bei Ratten. So kam BERTIN et al. (1998) zu dem Schluss, dass DXA eine zufriedenstellende Möglichkeit ist, die Körperzusammensetzung zu bestimmen und außerdem zuverlässige Langzeituntersuchungen zu erlauben. GALA PANIAGUA et al. (1998) bezogen sich in ihrer Studie auf die Knochenmineraldichte und den Knochenmineralgehalt. Beide Parameter korrelierten statistisch signifikant mit den Werten der chemischen Analyse sowohl bei der Messung am Femur als auch bei der Messung am Lendenwirbel. Wie schon BERTIN et al. (1998) kamen auch GALA PANIAGUA et al. (1998) zu dem Schluss, dass DXA geeignet ist, BMD und BMC bei kleinen Labortieren zu bestimmen.

NAGY und CLAIR (2000) untersuchten die Wiederholbarkeit und die Genauigkeit der DXA bei Mäusen, in dem sie 25 Mäuse zunächst dreimal gescannt und anschließend chemisch analysiert hatten. Dabei kamen sie zu dem Ergebnis, dass die Wiederholbarkeit für BMD hoch (CV 0,84 %) jedoch bei FAT niedrig (CV 2,20 %) ist. Ein ähnliches Bild ergab sich bei der Genauigkeit. Hier konnte DXA den BMC korrekt messen, überschätzte aber den Fettgehalt.

HUNTER und NAGY (2002) versuchten die jahreszeitliche Veränderung der Körperzusammensetzung bei Lemmings (*Dicrostonyx greonlandicus*) mittels DXA zu analysieren und anschließend mit einer chemischen Analyse zu vergleichen. Die saisonale Rhythmik wurde im Modell mithilfe eines Lichtprogramms realisiert. Bei dieser Studie ergaben sich für die Wiederholbarkeit ähnliche Tendenzen wie bei NAGY und CLAIR (BMD CV 1,74 %, FM CV 4,14 %). Jedoch gab es Abweichungen bei der Richtigkeit. DXA lieferte statistisch korrekte Werte für die Fettmasse, unterschätzt jedoch die Werte für BMC und LEAN. Trotzdem ist zu beachten, dass DXA den Fettgehalt bei geringen Werten unterschätzte und bei hohen Werten überschätzte.

Um den Effekt von Dexamethason-Augentropfen auf die Knochenentwicklung von Kaninchen zu erforschen, wurden 34 junge Kaninchen in einer Studie von KUGELBERG et al. (2005) behandelt und der Effekt mittels DXA und quantitativer CT untersucht. Dabei kam Kugelberg zu dem Ergebnis, dass die behandelten Kaninchen signifikant niedrigere BMD- und BMC-Werte des Femurs als nicht behandelte Individuen aufwiesen.

Im Kleintiersektor gibt es einige Untersuchungen zu Hund und Katze. So untersuchte SPEAKMAN et al. (2000) die Genauigkeit der DXA-Ergebnisse und verglich diese mit

einer chemischen Analyse bei Hund und Katze. Dazu wurden 16 Tiere (zwischen 1,8 – 22,1 kg) post mortem mittels eines Pencilbeam-Gerätes gescannt und anschließend in 22 Teile zerteilt und chemisch analysiert. Das von DXA ermittelte Gewicht korrelierte sehr stark ($r^2=1.0$) mit dem wirklichen Gewicht. Auch LEAN und FAT korrelierten stark mit den chemisch ermittelten Werten. Jedoch gab es individuelle Diskrepanzen, bei denen der Fettgehalt teilweise um 20,7 % unter- oder um 31,5 % überschätzt wurde. Der BMC korrelierte gut mit den Werten der chemischen Analyse ($r^2=0,909$). Jedoch unterschätzte DXA den Asche-Wert um durchschnittlich 23,5 % (bis max. 56,7 %). Dies liegt zum Teil daran, dass sich der Aschegehalt nicht nur aus Knochenmineral zusammensetzt. DXA erkennt jedoch nur das knöcherne Mineral, da ein interner Software-Algorithmus die Knochen nur dann als Knochenmineral akzeptiert, wenn der Knochen einen größeren zusammenhängenden Bereich bildet.

SPEAKMAN et al. (2000) konnten zeigen, dass es einen Zusammenhang zwischen dem Fehler bei der Messung des Fettgehaltes und dem Hydratationsstatus des Muskelgewebes gibt. So kann es bei steigendem Hydratationszustand zu einer Überschätzung des Fettgehalts kommen. Laut dieser Untersuchung ist DXA auf Einzeltierebene eine Methode mit hoher Wiederholbarkeit, die in Einzelfällen eine geringe Richtigkeit aufweisen kann. EMMERSON et al. (2000) untersuchten die BMD der distalen Bereiche der Gliedmaßen bei Greyhounds. DXA ist ihrer Meinung nach eine gute Möglichkeit, generalisierte Veränderungen im Knochenstoffwechsel zu erkennen und bei Langzeitstudien während des Trainings Frakturrisiken aufzudecken.

HIYAKO et al. (1995) führten eine Untersuchung zur BMD der Lendenwirbelsäule während der Laktation eines African Green Monkey (*Cercopithecus aethiops*) durch. Dabei konnten Sie zeigen, dass sowohl BMC als auch BMD während der Laktation absinken und sich nach dem Absetzen der Jungtiere wieder erholen. Jedoch erreicht die Wirbelzusammensetzung ihre Ausgangswerte nicht mehr.

CLARKE et al. (1999) untersuchten 24 gefrorene Ziegenhälften mittels DXA. Anschließend wurden die Hälften zerlegt und chemisch analysiert. Dabei zeigten sich gute Korrelationen zwischen den DXA-Werten und denen der chemischen Analyse für FATPC ($r^2 = 0,92$), FAT ($r^2 = 0,97$), LEAN ($r^2 = 0,98$) und dem Gesamtgewicht ($r^2 = 0,99$). Jedoch unterschätzte DXA den FATPC um 19 %, die LEAN-Werte unterschieden sich nur um 8%. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass sich

regionale DXA-Scans zur Vorhersage der Körperzusammensetzung vor der Zerlegung eignen.

SCHOLZ et al. (2003) untersuchten die Körperzusammensetzung und die Knochenmineralisation bei Kälbern unterschiedlicher genetischer Herkunft. Dazu wurden 126 Kälber unter leichter Sedation mittels DXA analysiert. Dabei konnten sie zeigen, dass Kälber der Rasse Deutsche Holsteins signifikant niedrigere BMD aufweisen als die anderen untersuchten Rassen. Die größten Werte für BMD und BMC ergeben sich für Kreuzungskälber der Linie Fleckvieh-Vater x F1 (FV x DH)-Mutter. Des Weiteren stellten sie in ihren Untersuchungen Unterschiede zwischen Einzelgeborenen und Mehrlingskälbern fest. So wiesen die Mehrlingskälber neben einem geringeren Gesamtgewicht auch eine geringere BMD bei einem unerwartet hohen Fettgehalt auf. Bei diesen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass sich DXA gut eignet, die Körperzusammensetzung und Knochenmineralisation zu messen, jedoch differieren die Ergebnisse beim Fettgehalt in der Gewichtsklasse zwischen 25 – 90 kg von früheren Untersuchungen mit Geräten anderer Hersteller. Dies macht eine Modifizierung der Berechnungssoftware des GE Lunar Gerätes notwendig. Eine weitere Arbeitsgruppe untersuchte die Entwicklung der Klauen neugeborener Kälber mittels DXA (NÜSKE et al., 2005). Bei der Untersuchung von 199 Kälbern stellten sie signifikante Unterschiede bei der BMD fest - abhängig von Position der Klaue, Rasse und Geschlecht der Kälber.

Für das Schwein gibt es zahlreiche Untersuchungen zur Körperzusammensetzung und Knochenmineralisation. Teils nutzten die Humanmediziner das Schwein als repräsentative Alternative zum Humanversuch (BRUNTON et al., 1997; KOO et al., 2003). Immer öfter jedoch werden die Tiere auch aus tiermedizinischen Fragestellungen heraus mittels DXA untersucht. So untersuchten PINTAURO et al. (1996) die Genauigkeit der DXA bei Schweinen im pediatriischen Gewichtsbereich. Dazu wurden 18 Schweine mit unterschiedlichen Scanmodi untersucht und anschließend chemisch analysiert. Die Ergebnisse für Fett- und Magerweichgewebe-Gehalt korrelierten stark (Pearson r Wert > 0.98) zwischen den DXA-Werten und denen der chemischen Analyse. Jedoch unterschieden sich sowohl Fett- als auch Magerweichgewebemasse signifikant bei den Absolutwerten. Jeder Scan wurde zweimal durchgeführt. So konnten sie zeigen, dass eine sehr gute Wiederholbarkeit der Messungen gegeben ist. Laut PINTAURO et al. (1996) ist DXA nicht in der Lage direkt korrekte Werte für Fett- und Magerweichgewebe zu ermitteln. Dieser Fehler ist

jedoch mittels Regressionsgleichungen leicht zu eliminieren. ELLIS et al. (1994) untersuchten 16 Schweine in einem Gewichtsbereich von 5 – 35 kg, um die BC zu ermitteln. Dazu wurden die Tiere mit einem DXA-Gerät der Firma Hologic Inc., Waltham, gescannt und mit zwei unterschiedlichen Softwareprogrammen analysiert. Im Rahmen einer Referenzuntersuchung wurden die Tiere anschließend getötet und chemisch analysiert. Sie kommen zu dem Schluss, dass beide Softwareprogramme das Gesamtgewicht genau vorhersagen können. Daneben wiesen alle DXA-Werte hohe Korrelationen ($r^2 > 0,98$) mit der Referenzuntersuchung auf. Jedoch waren die Ergebnisse für den BMC in beiden Programmen um ca. 25 % zu niedrig. Der Fettgehalt wird von der einen Software über- und von der anderen Software unterschätzt.

SCHOLZ et al. (2002) untersuchten die Genauigkeit der DXA zur Ermittlung der Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinehälften anhand der EU-Referenzerlegung. Dazu wurde die rechte intakte Schlachthälfte mittels DXA analysiert. Die linke Hälfte wurde zunächst in Teilstücke zerlegt und anschließend einer manuellen Feinerlegung unterzogen. Obwohl der unkorrigierte DXA-Wert für den Fettgehalt etwas niedriger war als bei Referenzuntersuchung, wies er eine hohe Korrelation ($r = 0,9$) mit den Referenzwerten auf. Die Autoren geben an, dass die Werte der DXA-Messung zusammen mit den ermittelten Regressionsgleichungen für die Verwendung in genetischen, fütterungs- oder haltungstechnischen Vergleichsstudien eine genügend hohe Aussagesicherheit („Power“) leisten.

In einem Kreuz-Validierungsversuch mit kleinen Schweinen (5 – 27 kg) zeigten MITCHELL et al. (1998), dass hohe Korrelationen zwischen der chemischen Analyse und der DXA-Untersuchung bezüglich des Fettgehalts, der Fettmenge, der Magerweichgewebemenge und des Knochenmineralgehalts zu finden sind. Jedoch gab es abermals Unterschiede in den Absolutwerten. So unterschätzte DXA den Fettgehalt und die Fettmasse, weshalb bei dieser Arbeit eine Korrekturgleichung aus MITCHELL und SCHOLZ (1997) verwendet wurde, um die ermittelten Werte zu korrigieren. Diese Schätzfehler sind abhängig vom Fettgehalt. Dies konnte derselbe Erstautor bereits früher zeigen. So wurden Tiere mit einem Fettgehalt von über 20 % im Fettgehalt überschätzt und vice versa (MITCHELL et al., 1996). MITCHELL et al. (1998) kamen zu dem Schluss, dass eine spezifische Kalibrierung, die auf den Gewichtsbereich des Tieres, das DXA-Gerät und die Softwareversion zugeschnitten ist, nötig ist.

In einer späteren Untersuchung demonstrierten MITCHELL et al. (2002) die Möglichkeit, die Körperzusammensetzung eines Schweines anhand eines einzelnen, regional definierten DXA-Querschnitt-Scans mit hoher Genauigkeit zu schätzen, ohne einen zeitaufwendigen Ganzkörper-Scan durchführen zu müssen.

2.3.6. DXA-Anwendung beim Geflügel

In einer Studie zur Körperzusammensetzung untersuchten MITCHELL et al. (1997) 130 Hühner mit einem DXA-Scanner der Firma LUNAR (DPX-L) und verglichen diese Ergebnisse mit einer chemischen Analyse. Die Tiere wurden entweder mit einer Pediatric total body research software oder einer Small animal total body research software (high resolution und detail mode) analysiert. Für die Ermittlung von Fettmenge und Fettgehalt stellten sie einen Unterschied im Ergebnis fest, der abhängig vom Gesamtgewicht der Tiere ist (Grenze = 2000 Gramm). Für den Fettgehalt rangierten die R^2 -Werte der leichteren Tiere nur zwischen 0,33 bis 0,47, und die Fettmenge wurde abhängig vom Modus über- oder unterschätzt. Im Gegensatz dazu korrelierten die DXA-Werte für die Tiere über 2000 g deutlich besser mit denen der Referenzuntersuchung. Auch die Fettmenge wurde mit einer hohen Richtigkeit ermittelt. Der „Small Animal High Resolution“-Modus hingegen überschätzte die Fettmenge signifikant. Weiterhin konnten sie zeigen, dass die DXA-Werte für LEAN mit $R^2 > 0,90$ sowohl mit dem Gesamtprotein als auch mit dem Gesamtkörperwasser hoch korrelieren. Die Autoren konnten jedoch keine exakte Voraussage über die jeweiligen Absolutwerte treffen. Beim Knochenmineralgehalt zeigten sie ebenfalls Unterschiede zwischen den einzelnen Scanmodi auf. Lediglich im „High Resolution“-Modus waren die Unterschiede zwischen DXA-BMC und dem chemisch ermittelten Aschegehalt nicht signifikant. SWENNEN et al. (2004) untersuchten die Effekte von verschiedenen Scanmodi, Scanpositionen und strahlungsabschwächenden Materialien (2 mm PVC- oder 4 mm PS-Folie) beim Huhn. Dabei wurde jeder Scan zweimal durchgeführt, um die Wiederholbarkeit zu überprüfen. Im Anschluss wurden die Tiere ebenfalls chemisch analysiert. Die höchste Präzision war beim Gesamtgewicht zu finden, gefolgt von LEAN, BMC, BMD. Sie war am geringsten für FAT und FATPC. Diese Reihenfolge stimmt mit anderen Untersuchungen bei Säugetieren überein (Mensch: KIEBZAK et al., 2000; Ferkel und Schweine: BRUNTON et al., 1997; Hunde: LAUTEN et al., 2001; Ratten:

FEELY et al., 2000). Die Präzision wurde weder durch die Position oder den Scanmodus noch durch die umgebenden Materialien beeinflusst. Jedoch unterschieden sich alle DXA-Werte bis auf das Gesamtgewicht zwischen den einzelnen Scanmodi. Keinen Einfluss auf die Werte hatte die Scanposition. Beim Vergleich der Folien (PVC und PS) untereinander unterschieden sich nur FATPC und R-Wert signifikant (SWENNEN et al., 2004). Im Gegensatz zu MITCHELL et al. (1997) lagen die Ergebnisse für die Fettmasse nahe an den chemisch analysierten Werten. Jedoch waren die Unterschiede zwischen BMC und dem Aschegehalt signifikant. SWENNEN (2004) und MITCHELL et al. (1998) kamen zu dem Schluss, dass DXA gut genutzt werden kann, um die Körperzusammensetzung in vivo zu ermitteln. Allerdings waren die ermittelten Regressionsgleichungen streng für jedes Gerät, jede Software und jede Methodik limitiert. Weitere Untersuchungen zur Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bei Hühnern wurden von Schreiwies et al. (2005) durchgeführt. Sie konnten eine hohe Korrelation der Knochenparameter BMC ($r = 0,92$) und BMD ($r = 0,85$) zwischen lebendem Tier und mazeriertem Knochen aufzeigen. Die oben erhobenen Werte korrelierten ebenfalls positiv mit der Knochenbruchfestigkeit ($r = 0,68$) und mit dem Aschegehalt ($r = 0,73$).

ZOTTI et al. (2003) beschrieben die Anwendbarkeit von DXA zur Ermittlung des Mineralgehalts von Putenhumeri ex vivo. Sie versuchten das fehlende Weichgewebe mit Ersatzmaterialien zu simulieren und wendeten verschiedene Techniken und Modi an. Die Richtigkeit war bei jeder der Techniken gegeben, lediglich die Wiederholbarkeit wies eine geringe Abhängigkeit von der angewendeten Untersuchungstechnik auf. DIRRIGL et al. (2004) gaben die Ergebnisse für BMC und BMD von 26 Skeletteilen der Geflügelspezies *Meleagris gallopavo* (Truthuhn), *Bonasa umbellus* (Kragenhuhn) und *Colinus virginianus* (Virginiawachtel) an. Sie verwendeten das DXA Gerät DPX-L der Firma LUNAR mit der Small Animal Software. Sie konnten deutliche Intra- und Interspeziesunterschiede im Geflügelskelett darstellen.

Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) für die Messung der Ganzkörperzusammensetzung bei zwei Putengenotypen

B. SCHÖLLHORN*, A. M. SCHOLZ*

Manuskript eingegangen am 17. August 2006; akzeptiert am 15. November 2006

Einleitung

Konventionelle Putengenotypen wurden in den letzten Jahrzehnten auf einen sehr hohen Fleischansatz gezüchtet (LE BRIS, 2005). So stiegen die Wachstumskapazitäten von 16 Wochen alten Puten in den Jahren von 1973 bis 2000 geschlechtsunabhängig um 75 % (SÜTÖ et al., 2001 aus ANDRASSY-BAKA et al., 2003). Diese Selektion führte zu Veränderungen in der gesamten Körperzusammensetzung und ebenfalls zu einer nicht erwünschten Steigerung der Fetteinlagerung. NESTOR (1982) selektierte Puten 14 Generationen lang rein nach hohen Körpergewichten und stellte fest, dass sich die Fetteinlagerung bei 16 Wochen alten Tieren im Laufe der Zeit verdoppelte. Ein zu hoher Fettgehalt ist jedoch in der heutigen Zeit des gesundheitsbewussten Verbrauchers unerwünscht. Deshalb ist eine genaue Methode erforderlich, mit der die Ganzkörperzusammensetzung (post mortem) ermittelt werden kann. TOPEL und KAUFMANN (1988) beschrieben über 30 verschiedene Möglichkeiten, die Körperzusammensetzung *in vivo* oder *post mortem* zu ermitteln.

Eine relativ neue Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung ist die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA). Sie entwickelte sich aus der Dualenergie-Photonenabsorptiometrie, die für die Bestimmung von Knochenmineralmasse und Knochenmineraldichte entwickelt wurde (PEPLER und MAZESS 1981). So hat sich DXA in den letzten Jahren als Goldstandard in der Osteoporosetechnik beim Menschen entwickelt. In der Veterinärmedizin wurden

* Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim der Tierärztlichen Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität, München

bisher Labortiere (Ratten: FEELY et al., 2000; Mäuse: NAGY und CLAIR, 2000; Affen: HIYAOKA et al., 1996), Kleintiere (Hund und Katze: SPEAKMAN et al., 2001, EMMERSON et al., 2000), und landwirtschaftliche Nutztiere (Ziegen: CLARKE et al., 1999; Kälber: SCHOLZ et al., 2003; NÜSKE et al., 2005; Schweine: SCHOLZ et al., 2002; MITCHELL et al., 1998) analysiert. Untersuchungen zur Anwendung von DXA bei Hühnern wurden von MITCHELL et al., 1997 SWENNEN et al., 2004 und SCHREIWEIS et al., 2004 durchgeführt. ZOTTI et al. (2003) verglichen die *ex vivo* mittels DXA-Gerät ermittelte Knochenmineralmenge von Putenhumeri mit den Ergebnissen aus einer Veraschung. Laut diesen Autoren ist DXA eine richtige und exakte Möglichkeit die Knochenmineralmenge *ex vivo* zu bestimmen.

Die Vorteile von DXA sind die hohe Präzision und Genauigkeit, die kurze Scanzeit sowie die geringe Strahlenbelastung (BLAKE und FOGELMAN, 1997). So zeigten KOO et al. (2002) bei Untersuchungen mit einem Fanbeam-Gerät an Ferkeln (1-22 kg Körpergewicht), dass die Werte bei doppelt durchgeführter Messung stark korrelieren ($R^2 \geq 0,99$) und sich nicht signifikant voneinander unterscheiden. Die Möglichkeit der Vorhersage von Gewicht, Magerweichgewebe, Fettgewebe und Knochenmineralgehalt war mit hoher Wiederholbarkeit und Richtigkeit durchführbar. Ziel dieser Studie war die Evaluierung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie zur Ermittlung der Ganzkörperzusammensetzung (post mortem) zu verschiedenen Zeitpunkten der Entwicklung bei zwei Putengenotypen. Eine Untersuchung zur Ermittlung der Körperzusammensetzung bei Puten mittels DXA, ist aus der derzeitigen Literatur nicht bekannt. Ergebnisse von Mitchell et al. (persönliche Mitteilung) befinden sich im Publikationsprozess.

Material und Methode

Tiermaterial; Haltung und Fütterung

Insgesamt wurden 130 Puten (1,3 – 24,1 kg) im Zeitraum von Juli 2005 bis Oktober 2005 einer Untersuchung durch einen DXA-Scanner unterzogen. Es wurden Tiere zweier Genotypen (Kelly Bronze [Kelly Turkey Farms] und BUT BIG 6 [British United Turkey]), verschiedenen Geschlechts und Alters in die Untersuchung einbezogen (Tab.1).

Tab.1.: Tiermaterial unterteilt nach Alter, Genotyp, Geschlecht und Futter

[Number of analyzed turkeys according to age, genotype, sex, and feed]

Alter	K-1-A	K-1-B	K-2-A	K-2-B	B6-1-A	B6-1-B	B6-2-A	B6-2-B
6. Woche	6	6	6	6	6	6	6	6
12. Woche	6	6	6	6	6	6	6	6
18. Woche	3	3	3	3	3	3	3	3
22. Woche	2	3			3	2		

K = Kelly Bronze, B6 = Big 6, 1 = männlich [male], 2 = weiblich [female], A = Futter [feed] A, B = Futter [feed] B

Die Tiere stammten aus einem Fütterungsversuch zum Einsatz ökologisch erzeugter Proteinträger in der Putenmast (BELLOF und SCHMIDT, 2005). Die Fütterung orientierte sich an den Richtwerten von British United Turkey (BUT, 2000). Die Aminosäure-Gehalte (g AS/MJ ME) wurden bei konstantem Energie/Aminosäure-Verhältnis in der Aufzuchtphase um 10 % und in der Mastphase um 5 % gesenkt. In den vier Fütterungsphasen (Aufzucht [0.-6. Woche], Mast 1-3 [7.-12. Wo.; 13.-18. Wo.; 19.-24. Wo.]) enthielt Futter B geringgradig mehr Energie und mehr essentielle Aminosäuren als Futter A sowie einen höheren Anteil einer Mineralstoffmischung in Mastphase 1 und 3 (Tab. 2).

Tab.2.: Futterzusammensetzung unterteilt nach Fütterungsphase und Futter

[feed composition according to feed phase and type of feed]

	Aufzuchtphase		Mastphase 1		Mastphase 2		Mastphase 3	
	Futter A	Futter B	Futter A	Futter B	Futter A	Futter B	Futter A	Futter B
ME (MJ/kg)	11,0	11,6	11,6	12,2	12,0	13,0	12,0	13,0
Lys (g/kg)	15,5	16,4	12,2	12,8	10,2	11,1	7,4	8,1
Met (g/kg)	6,1	6,4	5,0	5,3	4,6	4,9	3,6	3,9
Mineral (%)	4,8	4,8	4,2	4,4	3,5	3,5	2,3	2,5

ME = umsetzbare Energie [metabolizable energy], Lys = Lysin, Met = Methionin, Mineral = Mineralstoffmischung [mineral mixture]

Die Auswahl der Tiere pro Bucht erfolgte für die DXA-Untersuchungen gezielt, um nur normal (durchschnittlich) entwickelte Tiere in den Versuch miteinzubeziehen.

Zum Versuchsbeginn wurden 480 Eintagsküken in 24 Buchten getrennt nach Geschlechtern (240:240) eingestallt. Im Alter von 6 und 12 Wochen sind jeweils 2 Tiere pro Bucht für die DXA-Untersuchung ausgewählt worden. Im Alter von 18 Wochen ist 1 Tier pro Bucht und im Alter von 22 Wochen sind pro Genotyp 5 Tiere aus jeweils 5 Buchten in den DXA-Versuch einbezogen worden (Tab. 1).

DXA-Verfahren

Die Grundlage von DXA beruht auf einem Drei-Komponenten-Modell für die Gewebezusammensetzung (siehe Abb. 1). Dabei wird einerseits zwischen Fett- und Magerweichgewebe als Weichgewebe und andererseits Knochenmineralstoffen unterschieden (SCHOLZ, 2002).

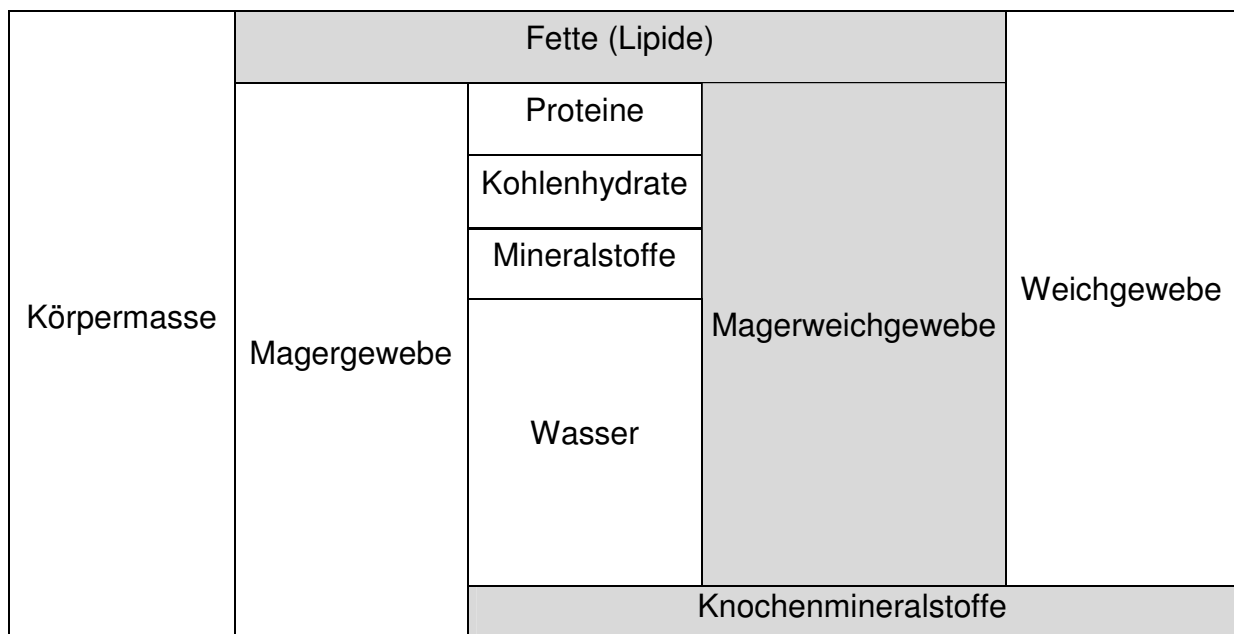


Abbildung 1: Drei-Komponenten-Modell der Körperzusammensetzung für DXA-Untersuchungen (Fett-/ Magerweichgewebe und Knochengewebe), modifiziert aus SCHOLZ (2002)

[Three component model of body composition for DXA Analyses (Fat-/ lean-soft-tissue und bone minerals), modified after SCHOLZ (2002)]

DXA ist eine nicht-invasive Technik, um die Körperzusammensetzung zu bestimmen. Sie hat sich aus der Dualenergie-Photonenabsorptiometrie entwickelt und beruht auf der gleichen Theorie (PEPLER und MAZESS, 1981; GOTFREDSEN et al., 1984). Die Messwerte basieren auf der unterschiedlichen Schwächung von niedrig- (z.B. 38 keV) und höherenergetischer (z.B. 70 keV) Röntgenstrahlung durch die

unterschiedlichen Gewebe. Dadurch kann DXA „direkt“ nur zwischen zwei Komponenten differenzieren (LASKEY, 1996). Um ein Drei-Komponentenmodell nutzen zu können, müssen die einzelnen Bildpunkte (Pixel) in Pixel, die nur Weichgewebe (Fett- und Magerweichgewebe) enthalten und in Pixel, die sowohl Weichgewebe als auch Knochenmineralstoffe enthalten, aufgeteilt werden. Für diese Unterscheidung wird der Röntgenschwächungskoeffizient (R-Wert) benutzt (SCHOLZ et al., 2002). So liegt der theoretische R-Wert für Knochen bei 2,8617, für Lipide bei 1,2058 – 1,2333 und für Wasser bei 1,3572 (PIETROBELLI et al., 1996). Aufgrund dieser Unterschiede kann zwischen Weich- und Knochengewebe durch softwareinterne Schwellensetzung unterschieden werden (SCHOLZ, 2002). Anschließend werden die Werte für Fett und Magerweichgewebe für die Knochen enthaltenden Pixel in Abhängigkeit vom umgebenden Weichgewebe interpoliert.

Untersuchungsablauf

Die Ganzkörperzusammensetzung der Puten wurde *post mortem* mit einem Pencilbeam-DXA-Scanner (GE Lunar DPX IQ, Madison, WI, USA) am Lehr- und Versuchsgut in Oberschleißheim analysiert. Die Tiere wurden betäubt und durch Blutentzug (mindestens einer Halsschlagader) getötet. Das Blut wurde in einem Beutel aufgefangen und mit eingefroren. Die getöteten Tiere wurden bei -18 C° in einem Kunststoff-Beutel eingefroren. Zur Messung wurden die tiefgefrorenen Tiere samt Beutel in Brustlage einheitlich auf dem Untersuchungstisch gelagert. Zur Ermittlung der Wiederholbarkeit wurde jede Pute pro DXA-Modus zweimal unter identischen Bedingungen analysiert. Ein Ganzkörperscan lieferte die Werte für Fettgewebe (FAT in g), Magerweichgewebe (LEAN in g), Knochenmineralmenge (BMC in g) und Knochenmineraldichte (BMD in g/cm^2). Fettgehalt (FATPC in %), Knochenmineralgehalt (BMPC %) und Magerweichgewebeanteil (LEANPC in %) sowie das Gewicht (DXWT in g) wurden anschließend aus den DXA-Werten berechnet. In diesem Versuch wurde der Pediatrie-Small-Modus (PS) der Softwareversion 4.7e als Referenzmodus festgelegt. Bei 48 leichteren Tieren wurde zusätzlich mit dem Small-Animal-Medium- (SAM) und dem Small-Animal-Slow- (SAS) sowie bei 10 schweren Tieren zusätzlich mit dem Pediatrie-Medium- (PM) bzw. Pediatrie-Large-Modus (PL) gearbeitet, um intermodale Unterschiede herauszuarbeiten.

Statistische Auswertung

Die Ergebnisse aus der ersten Messung mit dem Modus *Pediatric Small* wurden mit Hilfe einer Varianzanalyse (SAS® Version 8.02) ausgewertet. Ein Generalisiertes Lineares Modell (GLM) mit folgender Struktur wurde verwendet:

$$y_{ijklm} = AG_i + G_j + F_k + GT_l + AG_i * GT_l + e_{ijklm}$$

y_{ijklm}	= Beobachtungswert	GT_l	= fixer Effekt Genotyp ($l = 1, 2$)
AG_i	= fixer Effekt Altersgruppe ($i = 1 - 4$)	$AG_i * GT_l$	= Interaktion $AG_i * GT_l$
G_j	= fixer Effekt Geschlecht ($j = 1, 2$)	e_{ijklm}	= Restfehler
F_k	= fixer Effekt Futter ($k = 1, 2$)		

Die Signifikanzgrenze wurde bei $p \leq 0.05$ festgelegt. Die Beziehung zwischen dem DXA-Gewicht sowie dem mittels Waage ermittelten Körpergewicht wurde mit einer einfachen linearen Regressionsanalyse berechnet.

Ergebnisse

In Abb. 2 ist das Ergebnisbild eines DXA-Scans nach halbautomatischer Analyse zu sehen. Dabei ist zu erkennen, wie sich die Bildpunkte in Abhängigkeit von der Körperzusammensetzung in unterschiedlichen Graustufen darstellen. Für die Auswertung dieser Arbeit waren nur die GESAMT-Ergebnisse relevant, da keine regionale Analyse durchgeführt wurde. Die vordefinierten Regionen stammen aus der Humanmedizin.

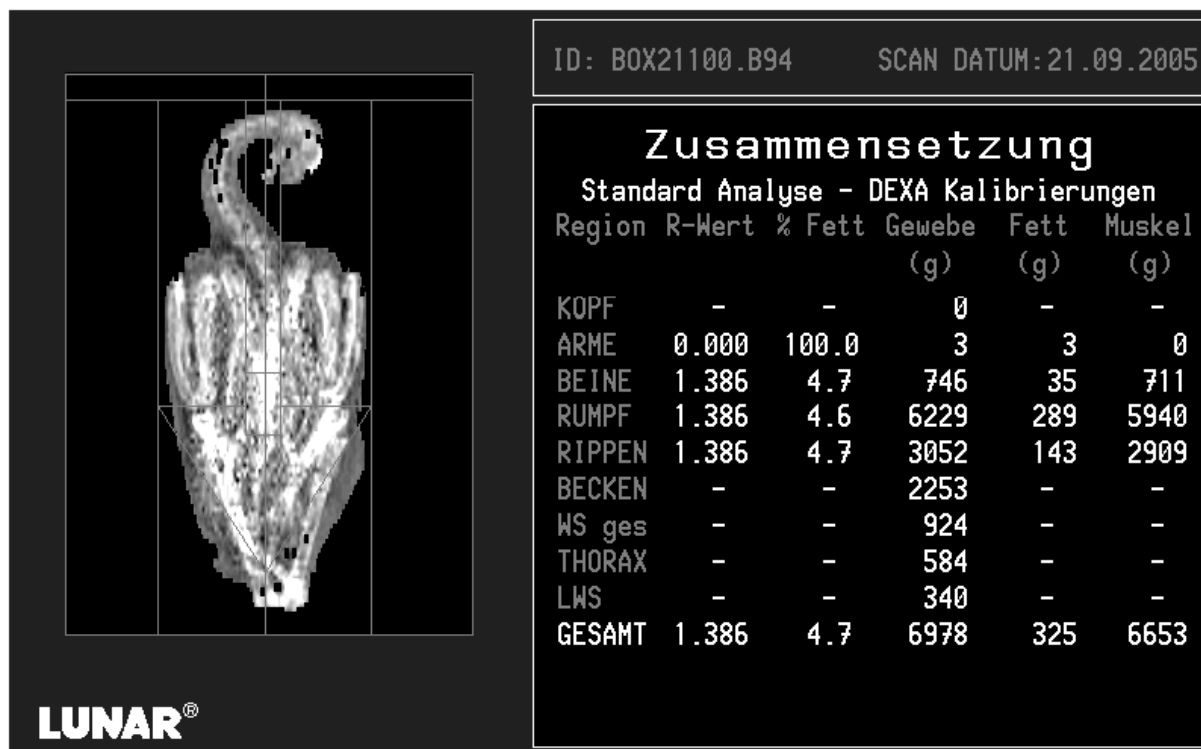


Abbildung 2.: DXA-Scanergebnisse nach halbautomatischer Analyse
 [DXA scan results after half-automatic analysis]

1. Ermittelte DXA-Werte

Tabelle 3 zeigt die ermittelten DXA-Werte für Knochenmineraldichte, Gewicht, Magerweichgewebegehalt, Fettgehalt und Knochenmineralgehalt. Die Angaben sind für die verschiedenen Altersklassen und Genotypen getrennt dargestellt. Die Signifikanzen ($p \leq 0,05$) werden mit Superskripts gekennzeichnet. In der 6. Woche unterschieden sich sämtliche Parameter zwischen den Genotypen nicht signifikant voneinander. Bis zur 18. Woche stiegen die Werte für BMD, Gewicht, FATPC und BMPC kontinuierlich bei beiden Genotypen an, die Werte für LEANPC hingegen sanken. In der 18. Woche lagen die Werte für BMD, Gewicht, BMPC des Genotyps Big6 signifikant über den Werten des Vergleichsgenotyps. LEANPC und FATPC unterschieden sich in dieser Alterklasse nicht signifikant zwischen Big6 und Kelly Bronze. In der 22. Lebenswoche lag der Fettgehalt von Big6 signifikant unter dem Wert der Kelly Bronze Puten, die Knochenmineralgehalte unterschieden sich bei beiden Genotypen nicht signifikant voneinander. Für alle anderen Parameter lagen die Ergebnisse für Big6 über den Werten für Kelly Bronze.

Tabelle 3: DXA-Ergebnisse der ersten Messung mit dem Ganzkörper-Pediatrie-Small-Modus, getrennt nach Alter und Rasse (Kleinste Quadrate Mittelwerte und Standardschätzfehler)

[DXA results of the first analysis in whole body "Pediatrie Small mode" according to age and genotype (Least Squares Means and Standard Errors of Estimation)]

	A6 S	A6 W	A12 S	A12 W	A18 S	A18 W	A22 S	A22 W
BMD (g/cm ²)	0,465 ^a ±0,010	0,475 ^a ±0,010	0,569 ^b ±0,010	0,624 ^c ±0,010	0,672 ^d ±0,014	0,780 ^e ±0,014	0,778 ^e ±0,022	0,875 ^f ±0,022
DXWT (g)	1728 ^a ±213	2083 ^a ±213	5884 ^b ±213	7989 ^c ±213	10522 ^d ±301	15662 ^e ±301	15313 ^e ±476	21615 ^f ±476
LEANPC (%)	94,5 ^a ±0,40	94,5 ^a ±0,40	92,2 ^b ±0,40	91,0 ^c ±0,40	84,4 ^{de} ±0,56	84,8 ^{df} ±0,56	85,1 ^{ef} ±0,89	88,8 ^g ±0,89
FATPC (%)	4,00 ^a ±0,40	3,93 ^a ±0,40	5,63 ^{b*} ±0,40	6,64 ^{b*} ±0,40	13,26 ^{cd} ±0,57	12,65 ^{cf} ±0,57	12,44 ^{df} ±0,90	8,66 ^e ±0,90
BMPC (%)	1,47 ^a ±0,05	1,56 ^a ±0,05	2,17 ^{b#} ±0,05	2,31 ^{h*ec} ±0,05	2,32 ^{b#cfi} ±0,07	2,53 ^{dg} ±0,07	2,51 ^{efgk} ±0,11	2,53 ^{dh*ik} ±0,11

AZahl = Alter in Wochen; A22 umfasst nur männliche Tiere; S = Kelly Bronze, W = Big 6;

Kleinste Quadrate Mittelwerte innerhalb einer Altersgruppe, die mit unterschiedlichen Superskripts gekennzeichnet sind, unterscheiden sich signifikant ($p \leq 0,05$). Mit Sonderzeichen gekennzeichnete Superskripts übersteigen das Signifikanzniveau nur minimal (^{b*} $p = 0,08$; ^{b#} $p = 0,07$; ^{h*} $p = 0,07$)

[A number = Age in weeks; A22 contains only males; S = Kelly Bronze, W = Big 6,

Least Squares Means within an age group signed with a different superscript are significantly different ($p \leq 0.05$). Superscripts marked with a special symbol exceed the level of significance only to a minor degree (^{b*} $p = 0.08$; ^{b#} $p = 0.07$; ^{h*} $p = 0.07$)]

In den Abbildungen 3 und 4 ist die Körperzusammensetzung der Puten nach Genotypen getrennt und für jedes Tier einzeln aufgeführt. Aufgetragen sind die Absolutwerte für Magerweichgewebe, Fett und Knochenmineral in Abhängigkeit vom Gewicht. Die Werte für FAT wiesen eine deutlich größere Variabilität als die Werte für LEAN und BMC auf. Interessant ist die höhere Fettmenge bei gleichzeitig niedrigerem Gewicht bei den weiblichen Big6 der 18. Lebenswoche im Vergleich zu den gleichaltrigen männlichen Tieren. Bei der Interpretation der Abbildungen 3 und 4 bzw. der Tabelle 3 ist zu berücksichtigen, dass in der letzten Alters- bzw. Gewichtsklassen nur noch männliche Puten aufgeführt sind.

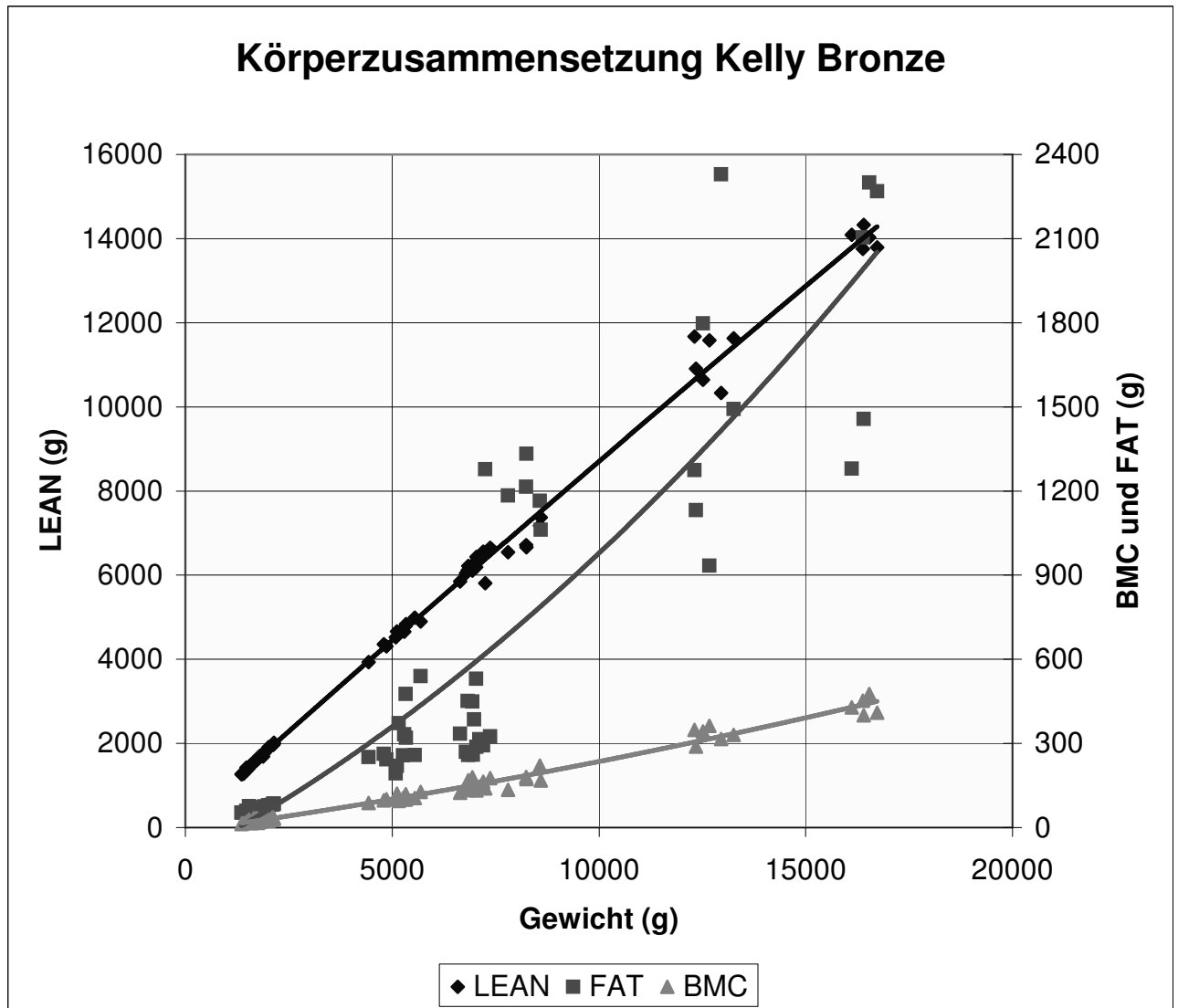


Abbildung 3. Körperzusammensetzung (Magerweichgewebe, Fettmenge und Knochenmineral in g) des Genotyps Kelly Bronze in Abhängigkeit vom Lebendgewicht; letzte Alters- bzw. Gewichtsgruppe enthält nur noch männliche Tiere)

[Body composition (Lean soft tissue, fat, and bone mineral content in g) of Kelly Bronze depending on body weight; last weight or age group contains only male turkeys]

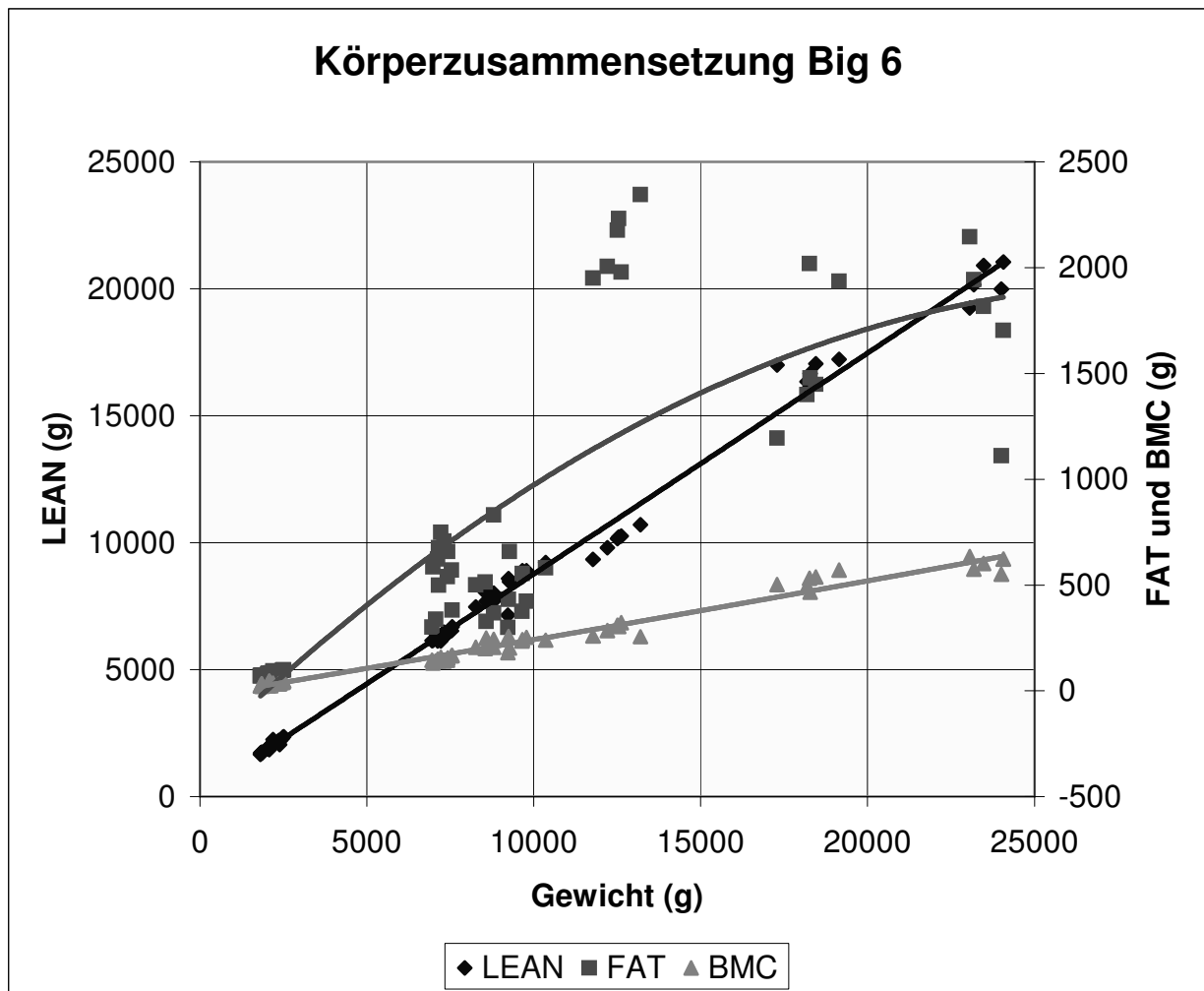


Abbildung 4. Körperzusammensetzung (Magerweichgewebe, Fettmenge und Knochenmineral in g) des Genotyps Big 6 in Abhängigkeit vom Lebendgewicht; letzte Alters- bzw. Gewichtsgruppe enthält nur noch männliche Tiere

[Body composition (Lean soft tissue, fat, and bone mineral content in g) of Big 6 depending on body weight; last weight or age group contains only male turkeys]

2. Gesamtgewicht

Die Summe aus FAT, LEAN und BMC (DXA-Gewebemasse) wies eine hohe Beziehung zu den Werten aus der Gewichtsmessung mittels Waage auf (Abbildung 5, $R^2 = 0,998$). Betrachtet man die Beziehung zwischen diesen Parametern für jede Alterklasse getrennt so ergeben sich folgende Werte: RMSE =69 g / $R^2 = 0,95$ (6. Woche); RMSE =125 g / $R^2 = 0,99$ (12. Woche); RMSE =157 g / $R^2 = 1,0$ (18. Woche); RMSE =709 g / $R^2 = 0,97$ (22. Woche). Die Gewichtsermittlungen der anderen (nicht aufgeführten) Modi, wiesen ebenfalls eine enge Beziehung zum mittels Zugwaage

ermittelten Körpergewicht ($R^2 \leq 0,995$; $RMSE < 590$ g) auf. Jedoch waren die Absolutwerte bei SAM und SAS etwas höher bzw. bei PM und PL etwas niedriger als beim Referenzmodus (PS).

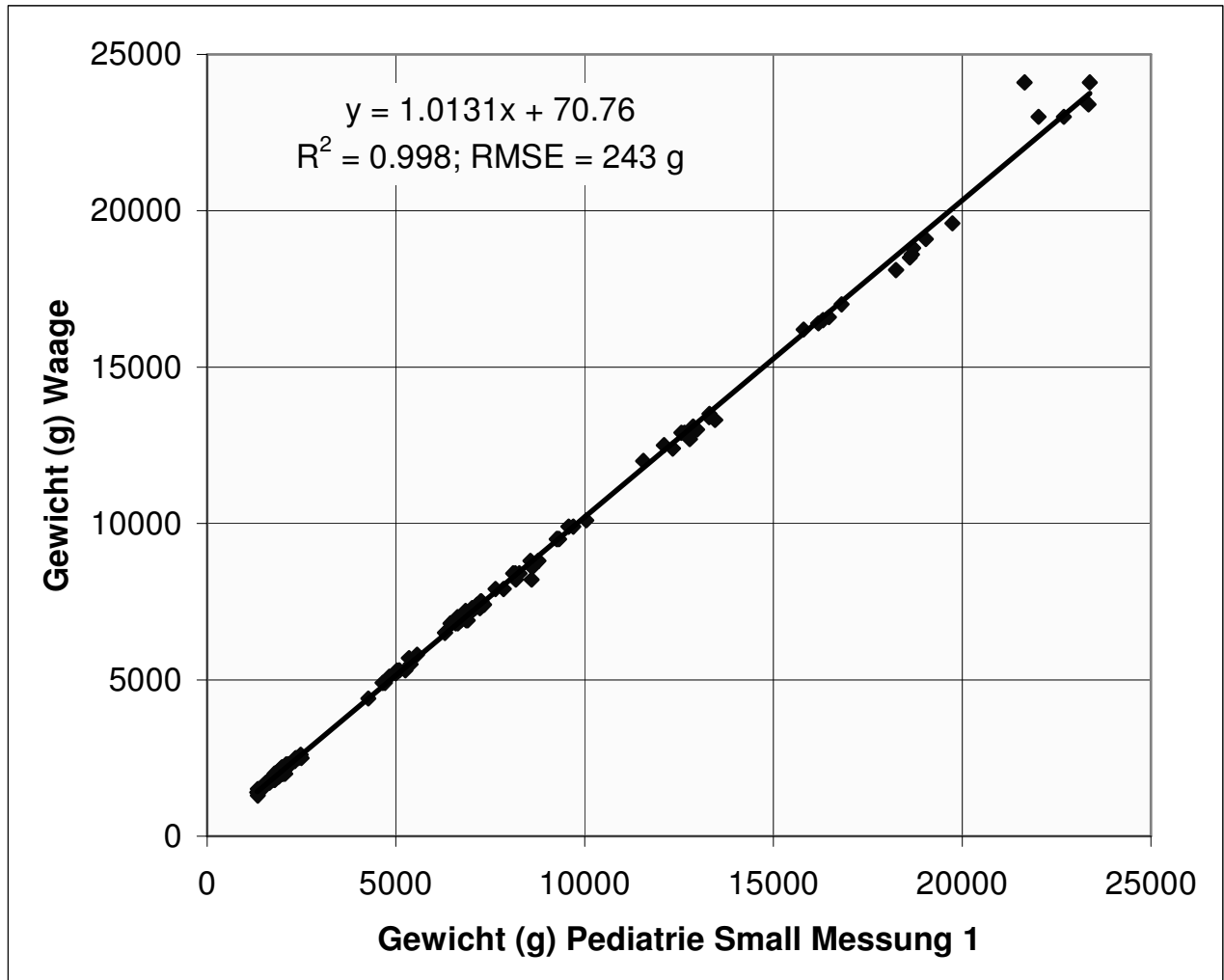


Abbildung 5: Beziehung zwischen dem mittels DXA und Zugwaage ermittelten Körpergewicht
[Relationship between DXA body weight and scale weight]

3. Vergleich von Futter A und B

Der Vergleich von beiden Futterarten ergab in Übereinstimmung mit BELLOF und SCHMIDT (2005) keine signifikanten Unterschiede für GEWICHT, BMD (g/cm^2), FAT (%) und LEAN (%). Lediglich für den Knochenmineralgehalt (%; BMPC) war ein signifikanter Unterschied zwischen Futter B und A festzustellen (Futter A= $2,09 \pm 0,03$ % vs. Futter B: $2,26 \pm 0,03$ %). Futter B hatte, wie in Material und Methodik

beschrieben, neben geringfügig erhöhten Energie- und Aminosäuregehalten einen erhöhten Mineralstoffanteil in den Mastphasen 1 und 3.

Diskussion

Allgemein

Eine Fehlerquelle, die in Abhängigkeit vom gewählten Scan-Modus speziell bei sehr großen Puten auftrat, war die begrenzte Transmissionsfähigkeit der Röntgenstrahlen. War die Transmissionsstrecke bedingt durch die Größe der Tiere zu lang oder befand sich zuviel strahlungsschwächendes Gewebe zwischen Röntgenquelle und Photonendetektor, so konnten die Strahlen nicht passieren. Dies wurde im Ergebnisbild als blauer Punkt angezeigt. Dieses Problem trat jedoch selten auf und beschränkte sich meist auf sehr kleine Areale. Im Gegensatz dazu kennzeichneten schwarze Punkte im Ergebnisbild, dass zu wenig Strahlung abgeschwächt wurde, um einen korrekten R-Wert (Weichgewebe-Röntgenschwächungskoeffizienten) anzugeben. Besonders im Flügel- und Kopfbereich war dies häufiger zu erkennen. Durch die Wahl eines Modus mit geringerer Strahlungsintensität könnte dieser Fehler ausgeglichen werden. Interessanterweise waren einige dieser schwarzen Punkte auch zentral im Tierkörper zu sehen, ohne die Ursache dafür erklären zu können. In der Literatur gibt es wenige und zum Teil widersprüchliche Angaben (CULTON und POCKOCK, 2003) zur Beziehung von DXA-Werten bei der Messung in unterschiedlichen Aggregatzuständen und beziehen sich hauptsächlich auf Knochenmaterial. Bei TRUDEL et al. (2005) sind die Ergebnisse der Knochenmineraldichte für gefrorene und aufgetaute Knochen (von Mensch und Hase) nicht unterschiedlich. Hierzu sind eigene Vergleichsuntersuchungen an gefrorenen bzw. aufgetauten Schlachtkörpern mit anschließender chemischer Analyse geplant.

Körperfett

Ein kritischer Punkt in der DXA-Analyse ist die Ermittlung des Körperfetts. So ließ sich bei der grafischen Darstellung der Beziehungen zwischen der ersten und zweiten Messung für den Modus *Pediatric Small (PS)* die größte Streuung der Punktwolke um die Regressionsgerade bei den Werten für die Fettmenge

feststellen. Ein wichtiger Punkt, der auch schon von MITCHELL et al. (1997) beschrieben wurde, zeigt sich in Abbildung 6.

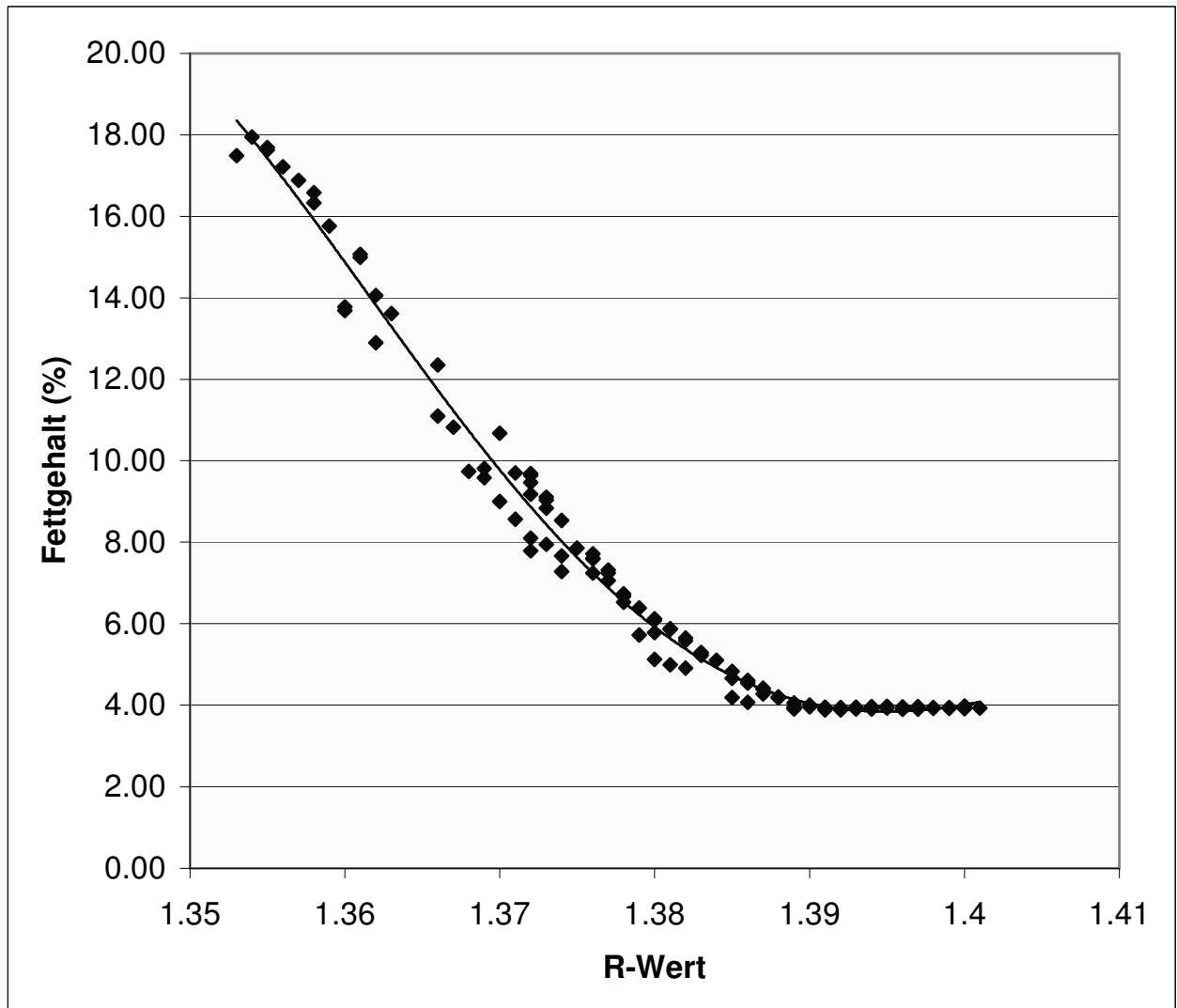


Abbildung 6: Beziehung zwischen R-Wert (Weichgewebe-Röntgenschwächungskoeffizient) und DXA-Fettgehalt (%) [Relationship between R value (Soft tissue X-ray attenuation coefficient) and DXA fat %]

In dieser Grafik wurde der R-Wert gegen den ermittelten Fettgehalt aufgetragen. Für einen R-Wert $<1,388$ ergab sich ein linearer Zusammenhang zwischen R-Wert und dem Fettgehalt. Jedoch wurde der Fettgehalt für R-Werte $\geq 1,388$ aufgrund der Einstellungen in der Gerätesoftware auf 4 % festgelegt. Niedrigere prozentuale Weichgewebefettgehalte wurden nicht angegeben. Diese Begrenzung auf einen minimalen Weichgewebefettgehalt von 4 % muss zukünftig korrigiert werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt für die Genauigkeit der DXA-Werte ist der Hydratationszustand im Magerweichgewebe. Dieser wird stets auf 74 % festgelegt und auf dieser Annahme beruhen die weiteren Berechnungen. SPEAKMAN et al. (2001) stellten einen starken Zusammenhang zwischen dem Hydratationszustand und dem Fettgehalt bei Hunden und Katzen fest. Die Tiere waren ähnlich wie in diesem Versuch zwischen 1,8 bis 22,1 kg schwer. SPEAKMAN et al. (2001) konnten zeigen, dass der Fettgehalt stark mit dem Ergebnis der chemischen Analyse korrelierte und der Absolutfehler nur bei 2,04 % des extrahierten Fetts lag. Jedoch maskierte dieser Durchschnittswert individuelle Diskrepanzen, die sich um +/- 30% vom wahren Fettgehaltswert unterschieden. FUSCH et al. (1999) zeigten bei ihren Untersuchungen an Ferkeln, dass der Feuchtigkeitsgehalt des Gewebes bei steigender Körpermasse abnimmt. Dies führte jedoch in der Folge zu einer wachsenden Unterschätzung des Körperfetts. Auf der anderen Seite konnten GOING et al. (1993) bei erwachsenen Menschen keine Unterschiede im Fettgehalt nachweisen, obwohl bei diesen der Hydratationszustand um ca. 2% verändert wurde. PIETROBELLI et al. (1998) beschrieben zwar einen möglichen Fehler in der Ermittlung des Fettgehalts, jedoch war dieser sehr klein, sofern sich der Flüssigkeitsgehalt in einem physiologischen Rahmen befindet, der auch mit dem Leben vereinbar ist. So lagen die geschätzten Fehler unter 1 % bei einer Hydratationsveränderung von 1-5 %. Geht man vom gesunden Menschen aus, so sind Flüssigkeits- und Elektrolythaushalt erstaunlich konstant (FULLER et al., 1992), was wiederum den Fehler bei der DXA Untersuchung minimiert.

Knochenmineralgehalt

Ursprünglich wurden die DXA-Geräte entwickelt, um den Knochenmineralstatus vornehmlich von erwachsenen Menschen zu erheben. Für diese Anwendung sind die Geräte sehr genau (MITCHELL et al., 1997). In der Literatur sind jedoch beim Tier einige Abweichungen beschrieben. Ein Unterschied zwischen dem DXA-Knochenmineralgehalt und dem Aschegehalt einer chemischen Analyse ist der Anteil von Nicht-Knochen-Mineral. Dieser Anteil macht bei Hund und Katze 15 % des gesamten anorganischen Aschegehalts aus. Da aber DXA nur den Knochenmineralgehalt bzw. den Mineralgehalt, der nicht isoliert auftritt, erfasst, kommt es zu Diskrepanzen zwischen dem DXA-Wert und einer Gesamtasche-Ermittlung mittels chemischer Analyse (SPEAKMAN et al., 2001). Bei einer

Untersuchung an Hühnern korrelierten BMC und Gesamtkörperasche nur sehr schwach (R^2 zwischen 0,05 und 0,62; SEE zwischen 8,5 und 19,2). Eine Erklärung konnten MITCHELL et al. (1997) nicht liefern. Jedoch waren auch hier deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Modi feststellbar. Wurden die Ergebnisse für die einzelnen Modi separat betrachtet, so unterschieden sich die Ergebnisse im „Small animal high resolution“ Modus nicht signifikant von denen der chemischen Analyse. Bei der *ex vivo* Untersuchung von Putenhumeri des Genotyps Big6 versuchten ZOTTI et al. (2003) das Weichgewebe durch verschiedene Materialien zu simulieren und wendeten verschiedene Techniken an, den Knochenmineralgehalt mittels DXA zu bestimmen. Dabei war die Richtigkeit unabhängig von der benutzten Technik und der Materialien. Lediglich die Wiederholbarkeit wies eine Abhängigkeit auf. Aus der eigenen Untersuchung ergab sich für die Wiederholbarkeit mit $R^2 = 0,999$ und $RMSE = 5$ (g) für BMC jedoch eine sehr hohe Sicherheit. Daneben wurden von ZOTTI et al. (2003) auch die Knochenmineraldichte und die Bruchfestigkeit bestimmt. Bei der Pute hat die Selektion auf höheren Gewichtszuwachs und größerer Brustmuskulatur ohne die notwendigen Veränderungen beim Skelett zu Problemen geführt. Über Knochenbrüche bei jungen männlichen Puten berichten CRESPO et al. (2000). Eine enge Beziehung zwischen BMD und Knochenbruchrisiko existiert ebenfalls. Somit kann mit einem DXA-Scan das Knochenbruchrisiko ermittelt werden, was für die Selektion von Geflügel sicherlich sinnvoll ist. Dieser Vorteil kann ohne die herkömmlichen Methoden genutzt werden, bei denen die Tiere getötet werden mussten und somit auch keine Verlaufsuntersuchungen mehr möglich waren (ZOTTI et al. 2003; SCHREIWEIS et al., 2005).

Magerweichgewebe (DXA-LEAN)

Dieser DXA-Wert schließt alle Komponenten des Weichgewebes ohne Fett ein. Die Berechnung dieses Wertes erfolgt als Funktion des Weichgewebe-Röntgenschwächungskoeffizienten (R-Wert) bzw. der Fett- und der Knochenmineralmasse. Unter der Annahme, dass Magerweichgewebe hauptsächlich aus Gesamtprotein und Körperwasser besteht, untersuchten MITCHELL et al. (1997) die Vorhersagbarkeit dieser Werte durch das DXA-LEAN-Ergebnis bei Hühnern. Obwohl die R-Werte nur relativ gering mit dem Körperwasser und Gesamtprotein korrelierten, waren die Ergebnisse zwischen DXA-LEAN und Körperwasser bzw. Gesamtprotein sehr gut. Die Bestimmtheitsmaße (R^2) lagen zwischen 0,90 und 0,99

(mit SEE 13,2 – 22,0 für Protein bzw. SEE 32,7 – 89,3 für Wasser). Trotzdem gaben die Autoren zu beachten, dass der beobachtete Gewichtsbereich einen wichtigen Einfluss auf dieses Verhältnis hat.

Gesamtgewicht

Die Gewichtsentwicklung der Tiere lag in den ersten Wochen (bis ca. 11. Woche bei Kelly; ca. 14. Woche bei Big 6) leicht unter den Züchternvorgaben, jedoch erreichten die Tiere nach diesem Scheitelpunkt sogar höhere Werte als die Vorgaben der Züchter und dies unabhängig von Futter A oder B. Dabei ist zu beachten, dass die geringere Energieausstattung von Futter A zu einem höheren Futterverbrauch geführt hat (BELLOF UND SCHMIDT, 2005).

Das genaueste Ergebnis zur Vorhersage für das Gesamtkörpergewicht (Waage) aus der DXA-Gesamtgewebemasse (DXA-Gewicht) lieferte der Pediatrie-Small (PS)-Modus (Abb. 5; $R^2=0,998$; RMSE=243 g). Etwas niedriger bzw. annähernd gleich hoch waren die Beziehungen zwischen Gesamtkörpergewicht und DXA-Gewicht für SAM ($R^2=0,934$; RMSE=76 g), SAS ($R^2=0,945$; RMSE=74 g) bzw. PL ($R^2=0,995$; RMSE=268 g) und PM ($R^2=0,977$; RMSE=590 g), wobei diese Werte nicht exakt mit PS vergleichbar sind, da nicht alle Tiere mit allen Scan-Modi untersucht wurden (siehe Material und Methodik). Die geringfügigen Abweichungen der Messwerte von der Regressionsgeraden waren über den gesamten Gewichtsbereich relativ gleichmäßig verteilt. Allein im oberen Gewichtsbereich waren etwas größere Abweichungen zu verzeichnen, wobei es aber zu beachten gilt, dass in dieser Alterklasse nur zehn Tiere untersucht wurden. Im Gegensatz dazu zeigten MITCHELL et al. (1997) bei einer Untersuchung an Hühnern eine größere Differenz bei Tieren mit einem Gesamtgewicht unter 2000 g. DXA überschätzte das Gesamtgewicht geringfügig. Dies stimmt mit den Untersuchungen von SWENNEN et al. (2004) und MITCHELL et al. (1997) überein. Der Unterschied zwischen gemessenen und gewogenen Werten lag mit durchschnittlich 2,3 % etwas höher als bei anderen Arbeiten (1,0 % SPEAKMAN et al., 2001; 1,4 % MITCHELL et al., 1996; 1,2 % FUSCH et al., 1999), teils aber auch deutlich darunter (11,6 % SWENNEN et al., 2004).

Genotypenvergleich

Vergleicht man die Körperzusammensetzung zwischen den Genotypen Kelly Bronze und Big 6, so unterschieden sich die einzelnen Parameter in der Ausgangssituation

(das heißt in der 6. Lebenswoche) nicht signifikant voneinander (Tab. 3, Abb. 3, 4). Die Gewichtsdivergenz zwischen den Genotypen zeigte sich ab der 12. Lebenswoche. In der 18. Woche war Big 6 den Kelly Bronze-Tieren bereits um einen Wachstumsmonat im Vorsprung. LE BRIS (2005) stellte bei Weidehaltung annähernd vergleichbare Gewichtsunterschiede zwischen Big 6 und Kelly Bronze fest, jedoch traten diese erst ab der 14. Woche auf und waren nicht so stark ausgeprägt. In der eigenen Untersuchung erreichten beide Genotypen ca. im Alter von 18 Wochen scheinbar ein Maximum im DXA-Fettgehalt (13 %). Jedoch war der Fettgehalt in der höchsten Alters- und Gewichtsklasse nur deswegen vermindert (Tab. 3), weil in dieser Klasse nur noch männliche Tiere berücksichtigt wurden, die generell bei gleichem Alter einen bedeutend geringeren Fettgehalt aufweisen als die weiblichen Tiere (Abb. 7).

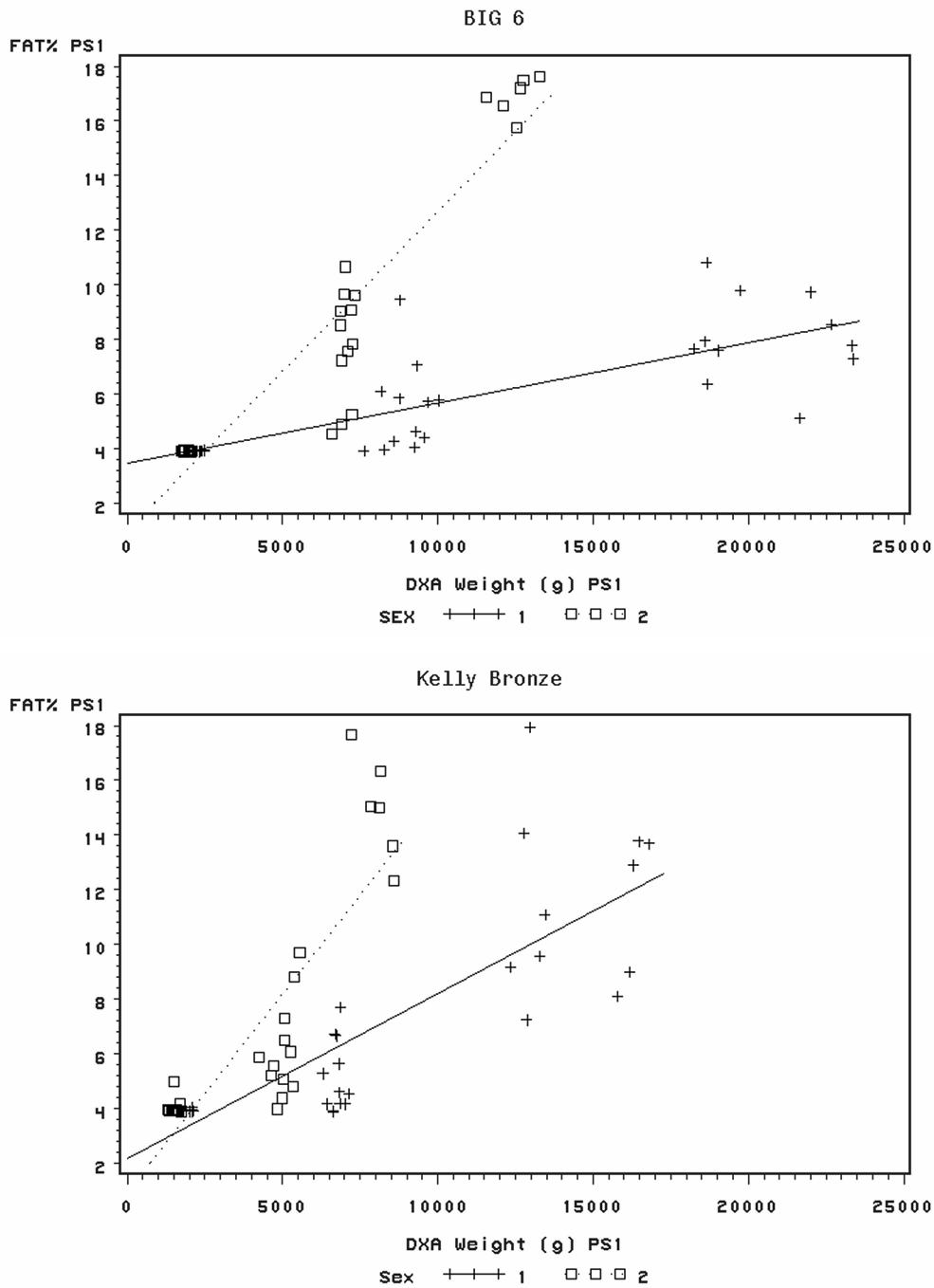


Abbildung 7. Vergleich des DXA-Fettgehaltes (%) von männlichen (1) und weiblichen (2) Big 6- bzw. Kelly Bronze-Puten [Comparison of DXA Fat (%) for male (1) or female (2) Big 6 or Kelly Bronze turkeys]

Betrachtet man die Entwicklung des Magerweichgewebegehalts für jeden Genotyp getrennt, so waren ähnlich wie beim Fettgehalt auch hier die Unterschiede erst in den Wochen 18 – 22 festzustellen. So lagen die DXA-Lean(%) -Werte für beide Genotypen in der 18. Lebenswoche bei 84 % und stiegen bei den Big6-Puten auf 90

%, während die Werte für die Kelly Bronze-Puten nur auf 86 % stiegen. Für die 22. Lebenswoche betrachtet, wiesen somit die Big6 Tiere ein günstigeres Fleisch-Fett Verhältnis auf. Diese deutlichen Änderungen in der letzten Altersgruppe können teilweise dadurch erklärt werden, dass in dieser Gruppe nur noch männliche Tiere untersucht wurden (siehe Geschlechtervergleich). Der Unterschied in den Absolutwerten zwischen den beiden Genotypen bleibt für die männlichen Tiere betrachtet jedoch unberührt.

ANDRASSY-BAKA et al. (2003) ermittelten die Körperzusammensetzung von BUT Big6- und ungarischen Bronze-Puten (Genreserve; Typ 1967) mittels Computertomografie. Im Alter von 21 Wochen betrug das Fleischvolumen bei männlichen Big6-Puten 12,65 dm³ bzw. bei weiblichen Big6-Puten 7,66 dm³, während vergleichbar mit den eigenen DXA-Ergebnissen zur Magerweichgewebemasse die (unselektierten) Bronze-Puten ein bedeutend geringeres Fleischvolumen aufwiesen (männlich: 3,60 dm³; weiblich: 2,28 dm³). Zur Bewertung des Körperfetts verwendeten die Autoren Fettindices, die Körpergröße und Fettgehalt berücksichtigen, um die Effekte der großen absoluten Lebendmassedifferenzen zwischen den beiden Genotypen auszuschalten. Diese Fettindices blieben bis zur 16. Lebenswoche nahezu unverändert. Danach stiegen sie für beide Genotypen und Geschlechter kontinuierlich an und stellten sich abweichend von den eigenen Ergebnissen (Abb. 7) in der 21. Woche in folgender (absteigender) Reihenfolge dar: Big6 weiblich (ca. 0.2), Bronze weiblich (ca. 0.135), Big6 männlich (ca. 0.125), Bronze männlich (ca. 0.124).

In der vorliegenden Untersuchung wiesen Kelly Bronze-Puten tendenziell einen geringeren Knochenmineralgehalt auf. Die Knochenmineraldichte war bei Kelly Bronze-Puten aufgrund der gleichzeitig geringeren Körpermasse durchschnittlich um ca. 0,07 g/cm² niedriger als bei Big6-Puten (BMD: 0.621 ±0.008 g/cm² vs. 0.689 ±0.008 g/cm²). Hierzu liegen keine direkt vergleichbaren Daten aus der Literatur vor, da die Knochenmineraldichte des Gesamtkörpers und nicht die von einzelnen Knochen gemessen wurde.

Vergleichsweise lag bei LE BRIS (2005) der Anteil der Flügelknochen bzw. der Oberkeulenknochen am Gesamtschlachtkörper bei Kelly Bronze-Tieren um absolut 0,03 % bzw. 0,12 % niedriger als bei Big6-Puten. Einen umfassenden Überblick zum Knochenwachstum bei Puten, speziell für den Genotyp BUT Big6, gibt KORFMANN (2003).

Geschlechtervergleich

Zwischen männlichen und weiblichen Tieren bestanden für alle gemessenen Parameter signifikante Unterschiede. Dabei lagen erwartungsgemäß die durchschnittlichen Werte über alle Altersklassen (LSM \pm SEE) für die männlichen Tiere über denen der weiblichen Tiere [Magerweichgewebe ♂: 90,25 \pm 0,25 % vs. ♀: 88,60 \pm 0,30 %; Knochenmineral ♂: 2,30 \pm 0,03 % vs. ♀: 2,05 \pm 0,04 %; Knochenmineraldichte ♂: 0,675 \pm 0,006 g/cm² vs. ♀: 0,635 \pm 0,008 g/cm²]. Lediglich der Fettgehalt war bei den weiblichen Tieren signifikant höher (♂: 7,45 \pm 0,25 % vs. ♀: 9,36 \pm 0,31 %). Dabei gilt es zu beachten, dass in der letzten Altersgruppe nur männliche Tiere untersucht wurden und somit Verzerrungen möglich sind, obgleich mit Hilfe der Varianzanalyse der Alterseinfluss berücksichtigt wurde. Die Ergebnisse decken sich generell mit den Untersuchungen von BRENOE und KOLSTAD (2000) an BUT-9 und „Nicholas“-Puten sowie mit den Ergebnissen von ANDRASSY-BAKA et al. (2003) für BUT-6 und Kelly Bronze. In diesen Untersuchungen wiesen die männlichen Tiere (ab der neunten Lebenswoche) höhere Zunahmen und einen höheren Fleischanteil auf, während die weiblichen Tiere früher verfetten und durch geringere Tageszunahmen gekennzeichnet waren.

Die Anwendung von DXA bei Puten hat ein großes Potenzial für den Einsatz in der Geflügelindustrie wie auch in der Wissenschaft. Mögliche Anwendungsgebiete sind Fütterung und Haltung, Selektionsprogramme sowie der gesamte Lebensmittelbereich inklusive Verbraucherschutz. Der größte Vorteil gegenüber anderen Analysearten liegt in der Möglichkeit Verlaufsuntersuchungen bei Tieren durchzuführen, da die Tiere für eine Wertermittlung nicht getötet werden müssen. Diese Untersuchungen an narkotisierten Tieren wurden bereits erfolgreich bei Hühnern (MITCHELL et al., 1997) durchgeführt und stehen bei der Pute noch aus. Weiterer Vorteil ist der verschleißfreie und schnelle Untersuchungsgang. Ein Scan im PS-Modus dauert nur wenige Minuten und ist von einer Person leicht durchführbar. Ein Nachteil liegt im relativ hohen Anschaffungspreis des Gerätes. DXA wird jedoch bereits in der Schlachtindustrie bei Schafen eingesetzt (KRÖGER et al., 2005).

Der direkte Vergleich mit einer chemischen Analyse oder die gezielte Analyse spezifischer Bereiche (ROIs = Region of interests) wären interessante Ansatzpunkte für weitere Untersuchungen. Aus der bestehenden Literatur über andere Geflügelarten oder andere Tierarten ist jedoch davon auszugehen, dass

Regressionsgleichungen ermittelt werden müssen, die für die jeweilige Tierart, den Scanmodus und das Gerät spezifisch sind. Diese Korrekturfaktoren gleichen die DXA-Ergebnisse einem Laborstandard in der Körperanalyse an (PINTAURO et al. (1996)).

Zusammenfassung

Ziel dieser Untersuchung ist die Anwendbarkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) bei Puten zu überprüfen. Insgesamt wurden 130 Puten der Genotypen BUT Big6 und Kelly Bronze aus vier Altersklassen (6, 12, 18 und 24 Wochen) in einem Gewichtsbereich von 1,3 – 24,1 kg mit einem DXA-Gerät (GE LUNAR DPX-IQ) gescannt. Die kompletten Tierkörper wurden tiefgefroren in einer Kunststoff-Tüte untersucht. Die Ganzkörperscans wurden für alle Tiere mit dem Pediatric-Small-Modus (Referenz) als Doppelmessungen durchgeführt. Ein Teil der Tiere wurde zusätzlich mit den Modi „Pediatric-Medium“, „Pediatric-Large“, „Small-Animal-Medium“ oder „Small-Animal-Slow“ analysiert. Die DXA Messung lieferte Ergebnisse für Fett-, Magerweichgewebe- und Knochenmineralmenge sowie Knochenmineraldichte. Zusätzlich wurde das Körpergewicht mit einer Waage gemessen. Die Big6-Puten weisen bereits in der 18. Woche das „statistisch“ gleiche Körpergewicht (15,7 kg) auf, wie die Kelly Bronze-Tiere 4 Wochen später (16,3 kg). Ab der 18. Woche sind die Werte von Big6 für den DXA-Fettgehalt niedriger (18 Wo. 12,6; 24 Wo. 7,7 %) bzw. für den Magerweichgewebegehalt höher (84,8 / 89,7 %) als für Kelly Bronze (13,3 / 11,5 % bzw. 84,4 / 85,9 %).

Das Gewicht kann durch DXA mit sehr hoher Genauigkeit ($R^2 = 0,996$; RMSE = 351 in g) und sehr guter Wiederholbarkeit ($R^2 = 1$; RMSE = 21 in g) vorausgesagt werden. Diese Ergebnisse bestätigen die Anwendbarkeit von DXA bei der Pute. Jedoch sollten zur Validierung der Ergebnisse Referenzstudien mit einer chemischen Analyse oder grobgeweblichen Zerlegung durchgeführt werden.

Stichworte

Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie, Puten, Ganzkörperzusammensetzung (post mortem)

Summary

Title of the paper: Study on the suitability of dual energy x-ray absorptiometry (DXA) for whole body composition measurements in two turkey genotypes

The objective of this study was to evaluate the measurement of whole body composition by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) in turkeys (post mortem). In total, 130 turkeys (1.3 – 24.1 kg) of two genotypes BUT Big6 and Kelly Bronze were scanned at 4 different ages by using DXA with a LUNAR DPX-IQ densitometer. Whole body scans were performed and analyzed twice using Pediatric Small (Reference Mode) for all animals. Additionally, Pediatric Medium, Pediatric Large, Small Animal Medium, or Small Animal Small modes were used on a smaller number of animals. DXA measurements provided readings of fat mass, lean mass, bone mineral mass, and bone mineral density. The turkeys were frozen (-18 °C) and analyzed in a plastic bag. The body weight of Big6 (15.7 kg) in week 18 is already similar to the body weight of Kelly Bronze (16.3 kg) four (4) weeks later. After week 18, the DXA FAT (%) values were smaller (week 18: 12.6; week 24: 7.7 %) but the values for DXA LEAN (%) were higher (84.8 / 89.7 %) in Big6 than in Kelly Bronze (13.3 / 11.5 or 84.4 / 85.9 % respectively).

The body weight can be predicted with a high precision ($R^2 = 1$; RMSE = 21 in g) and a high accuracy ($R^2 = 0,996$; RMSE = 351 in g) by DXA. These results indicate a good suitability of DXA to estimate the carcass composition of turkeys in vivo. But the results should be validated by chemical analysis or dissection.

Keywords

Dual-energy x-ray absorptiometry, turkeys, whole body composition (post mortem)

Literaturverzeichnis

ANDRASSY-BAKA, G., R. ROMVARI, Z. SÜTÖ, A. SZABO, P. HORN, 2003:

Comparative study of the body composition of different turkey genotypes by means of CT (short communication). Arch. Tierz. Dummerstorf **46(3)**, 285-292

BELLOF, G., E. SCHMIDT, 2005:

100 % Biofütterung bei Mastgeflügel und in der Geflügelaufzucht.

In: Österreichische Fachtagung für biologische Landwirtschaft, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning, 9. - 10. November, 63-66.

<http://orgprints.org/8362/01/Tagungsband.pdf> (Stand: 07.08.2006)

BLAKE, G.M., I. FOGELMAN, 1997:

Technical Principles of Dual Energy X-Ray Absorptiometry. Seminars in Nuclear Medicine **XXVII (3)**, 210-228

BRONOE, U.T., K. KOLSTAD, 2000:

Body Composition and Development Measured Repeatedly by Computer Tomography during Growth in Two Types of Turkeys. Poultry Science **79**, 546-552

BUT, 2000:

British United Turkeys Limited. B.U.T. Breeds. www.but.co.uk/frame-breed.htm

CLARKE, R.D., A.H. KIRTON, C.M. BARTLE, P.M. DOBBIE, 1999:

Application of dual-energy x-ray absorptiometry for ovine carcass evaluation. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production **59**, 272-274

CRESPO, R.; STOVER, S.; TAYLOR, K.T.; CHIN, R.P.; SHIVAPRASAD, H.L., 2000:

Morphometric and mechanical properties of femora in young adult male turkeys with or without femoral fractures. Poultry Science **79**, 602-608

CULTON, N.L., N.A. POCOCK, 2003:

The effect of room temperature on dual-energy X-ray absorptiometry. Osteoporosis International **14(2)**, 137-140

EMMERSON, T., T.J. LAWES, A.E. GOODSHIP, C. RUEUX-MASON, P. MUIR, 2000:

Dual-energy X-ray absorptiometry measurement of bone-mineral density in the distal aspect of the limbs in racing Greyhounds. Am. J. Vet. Res. **61**, 1214-1219

FEELY, R.S., L.M. LARKIN, J.B. HALTER, D.R. DENGEL, 2000:

Chemical versus dual energy x-ray absorptiometry for detecting age-associated body compositional changes in male rats. *Experimental Gerontology* **35 (3)**, 417-427

FULLER, N.J., S.A. JEBB, M.A. LASKEY, W.A. COWARD, M. ELIA, 1992:

Four-compartment model for the assessment of body composition in humans: comparison with alternative methods, and evaluation of the density and hydration of fat-free mass. *Clin. Sci. (Colch.)* **82**, 687-693

FUSCH, C., J. SLOTBOOM, U. FUEHRER, R. SCHUMACHER, A. KEISKER, W. ZIMMERMANN, A. MOESSINGER, C. BOESCH, J. BLUM, 1999:

Neonatal Body Composition: Dual-Energy X-Ray Absorptiometry, Magnetic Resonance Imaging, and Three-Dimensional Chemical Shift Imaging versus Chemical Analysis in Piglets. *Pediatric Research* **46 (4)**, 465-473

GOING, S.B., M.P. MASSETT, M.C. HALL, 1993:

Detection of small changes in body composition by dual x-ray absorptiometry. *Am. J. Clin. Nutr.* **57**, 845-850

GOTFREDSEN, A., J. BORG, C. CHRISTIANSEN, 1984:

Total body bone mineral in vivo by dual photon absorptiometry. I. Measurement procedures. *Clin. Physiol.* **4**, 343-355

HIYAOKA, A., T. YOSHIDA, F. CHO, Y. YOSHIKAWA, 1996:

Changes in Bone Mineral Density of Lumbar Vertebrae after Parturition in African Green Monkeys (*Cercopithecus aethiops*). *Exp. Anim.* **45(3)**, 257-259

KOO, W.W.K., M. HAMMAMI, E.M. HOCKMAN, 2002:

Use of Fan Beam Dual Energy X-Ray Absorptiometry to measure body composition of Piglets. *J. Nutr.* **132**, 1380-1383

KORFMANN, M.A., 2003:

Zur Skelettentwicklung und Wachstumsdynamik der Beckengliedmaße bei Mastputern (makroskopische, mikroskopische, radiologische, osteodensitometrische und mineralstoffanalytische Verlaufsuntersuchungen). Diss., Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin.

KRÖGER, C., C.M. BARTLE, J.G. WEST, 2005:

Non-invasive measurements of wool and meat properties. *Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring* **47(1)**, 25-28

LASKEY, M.A., 1996:

Dual-Energy X-Ray Absorptiometry and Body Composition. *Nutrition* **12**, 45-51

LE BRIS, J., 2005:

Gesundheit, Leistung und Verhalten konventioneller Mastputenhybriden unter den Bedingungen ökologischer Haltungsanforderungen. Diss., Tierärztliche Fakultät, Universität München.

http://www.vetmed.uni-muenchen.de/tierhyg/disspdf/diss2005/LeBris_Johann.pdf

MITCHELL, A.D., J.M. CONWAY, W.J.E. POTTS, 1996:

Body composition analysis of pigs by dual-energy x-ray absorptiometry. *J. Anim. Sci.* **74**, 2663-2671

MITCHELL, A.D., R.W. ROSEBROUGH, J.M. CONWAY, 1997:

Body Composition Analysis of Chickens by Dual Energy X-Ray Absorptiometry. *Poultry Science* **76**, 1746-1752

MITCHELL, A.D., A.M. SCHOLZ, J.M. CONWAY, 1998:

Body Composition Analysis of Small Pigs by Dual Energy X-Ray Absorptiometry. *J. Anim. Sci.* **76**, 2392-2398

NAGY, T.R., A.-L. CLAIR, 2000:

Precision and Accuracy of Dual Energy X-ray Absorptiometry for Determining in Vivo Body Composition of Mice. *Obesity Research* **8 (5)**, 392-398

NESTOR, K.E., 1982:

The influence of genetic increases in body weight on the abdominal fat pad of turkeys. *Poultry Science* **61**, 2301-2304

NÜSKE, S., J. HAMPE, A.M. SCHOLZ, M. FÖRSTER, 2005:

Studies on the development of the claws in new born calves of different breeds and crossbreeds using Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA). *Arch. Tierz. Dummerstorf* **48 (4)**, 305-317

PEPPLER, W.W., R.B. MAZESS, 1981:

Total body bone mineral and lean body mass by dual photon absorptiometry. *Calcif. Tissue Int.* **33**, 353-359

PIETROBELLI, A., C. FORMICA, Z. WANG, S.B. HEYMSFIELD, 1996:

Dual-energy X-Ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *Am. J. Physiol.* **271**, E941-E951

PIETROBELLI, A., Z. WANG, C. FORMICA, S.B. HEYMSFIELD, 1998:

Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration. *American Physiological Society*, E808-E816

PINTAURO, S.J., T.R. NAGY, C.M. DUTHIE, M.I. GORAN, 1996:

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**, 293-298

SCHOLZ, A., P. SOFFNER, E. LITTMANN, W. PESCHKE, M. FÖRSTER, 2002:
Genauigkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) zur Ermittlung der Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinehälften (kalt, 30 – 39 kg) anhand der EU-Referenzerlegung. *Züchtungskunde* **74(5)**, 376-391

SCHOLZ, A.M., 2002:
In-vivo-Methoden zur Analyse von Muskelstoffwechsel und Körperzusammensetzung beim Schwein unter besonderer Berücksichtigung genetischer Einflüsse. Habilitationsschrift, Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München,
<http://epub.ub.uni-muenchen.de/archive/00000418/>

SCHOLZ, A.M., S. NÜSKE, M. FÖRSTER, 2003:
Body composition and bone mineralization measurement in calves of different genetic origin by using dual-energy X-ray absorptiometry. *Acta diabetol.* **40**, 91-94

SCHREIWEIS, M.A., J.I. ORBAN, M.C. LEDUR, D.E. MOODY, P.Y. HESTER, 2004:
Effects of Ovulatory and Egg Laying Cycle on Bone Mineral Density and Content of Live White Leghorns as Assessed by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. *Poultry Science* **83**, 1011-1019

SCHREIWEIS, M.A.; ORBAN, J.I.; LEDUR, M.C.; MOODY, D.E.; HESTER, P.Y., 2005:
Validation of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Live White Leghorns. *Poultry Science* **84**, 91-99

SPEAKMAN, J.R., D. BOOLES, R. BUTTERWICK, 2001:
Validation of dual energy x-ray absorptiometry (DXA) by comparison with chemical analysis of dogs and cats. *International Journal of Obesity* **25**, 439-447

SÜTÖ, Z., P. HORN, O. KUSTONSNE PÖCZE, V. HERENDY, J. GYENIS, S. MIHOK, 2001:
Effect of genetic and nutrition conditions on the meat production of turkeys. *Baromfiagazat* **I**, 28-34

SWENNEN, Q., G.P.J. JANSSENS, R. GEERS, E. DECUYPERE, J. BUYSE, 2004:
Validation of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry for Determining in Vivo Body Composition of Chickens. *Poultry Science* **83**, 1348-1357

TOPEL, D.G., R. KAUFMANN, 1988:

Live animal and carcass composition measurement. In: Designing foods.
National Research Council. National Academy Press, Washington, DC., 258-
272

TRUDEL, G., Y. KOIKE, L. DINH, H.K. UHTHOFF, 2005:

Thawing of frozen calcaneus bone specimens has no effect on the bone
mineral density using dual energy x-ray absorptiometry: a study in rabbits and
humans. *Physiological measurement* **26**, 769-777

ZOTTI, A., C. RIZZI, G. CHIERICATO, D. BERNARDINI, 2003:

Accuracy and Precision of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry for ex vivo
determination of Mineral Content in Turkey Poult Bones. *Veterinary Radiology
& Ultrasound* **44(1)**, 49-52

Correspondence: PD Dr. Armin M. Scholz, Lehr- und Versuchsgut der Tierärztlichen
Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität München, St. Hubertusstraße 12, 85764
Oberschleißheim, Germany; E-mail: Armin.Scholz@lvg.vetmed.uni-muenchen.de

4. Zusätzliche Ergebnisse

4.1. Wiederholbarkeit

Jede Messung wurde sofort wiederholt ohne das Tier in seiner Position zu verändern. Die Werte für das Bestimmtheitsmaß (R^2) und den Standardschätzfehler (RMSE) sind aus Tab. 4.1 zu entnehmen.

Tab. 4.1: Beziehungen zwischen zwei aufeinander folgenden Messungen im Modus „Pediatrie small“

PS1/PS2	R^2	RMSE
FAT	0,988	77 (g)
LEAN	1	77 (g)
BMC	0,999	5 (g)
BMD	0,996	0,008 (g/cm ²)
FATPC	0,969	0,68 (%)
LEANPC	0,971	0,70 (%)
BMPC	0,980	0,07 (%)

R^2 =Bestimmtheitsmaß, RMSE=Standardschätzfehler

Die Wiederholbarkeit der Gewichtsmessung im Pediatrie Small Modus wird in Abbildung 4.1 dargestellt. Die Ergebnisse der ersten Messung korrelieren sehr stark mit denen der zweiten Messung ($R^2 = 1$), die hohe Exaktheit ist der Geradengleichung zu entnehmen.

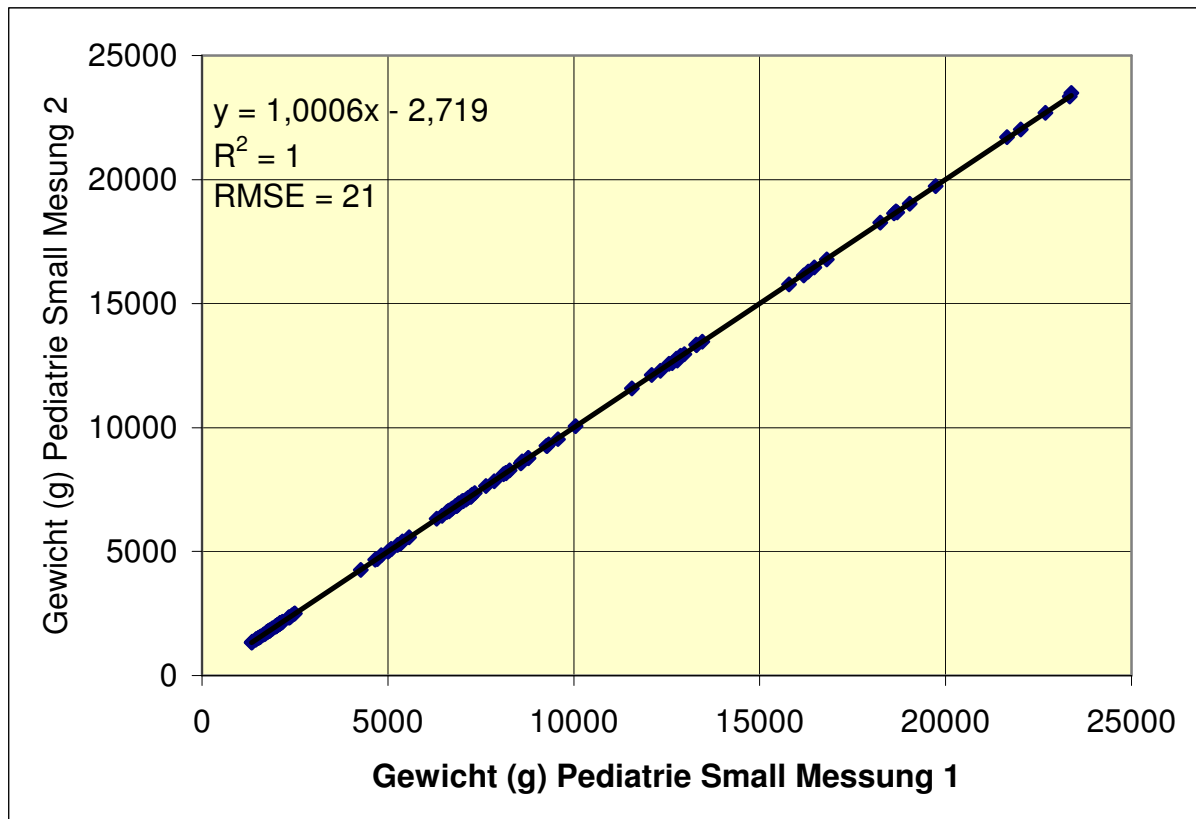


Abbildung 4.1: Wiederholbarkeit der Gewichtsmessung bei zwei aufeinander folgenden Scans

4.2. Vergleich verschiedener Modi

Die Tiere wurden je nach Gewichtsklasse mit weiteren Scanmodi untersucht. Die leichten Puten (d.h. alle Tiere der 6. Lebenswoche) wurden zusätzlich mit einem Small-Animal-Medium- und einem Small-Animal-Slow-Modus gescannt. Die schweren Tiere (d.h. alle Tiere der 22. Lebenswoche) wurden ferner mittels Pediatry-Medium- und Pediatry-Large-Modus untersucht. Die Ergebnisse für Bestimmtheitsmaß, Standardschätzfehler (RMSE) und die Gleichung für die jeweilige Regressionsgerade sind in den folgenden Tabellen aufgelistet. Die angegebenen Werte beziehen sich jeweils auf Pediatry-Small als Standard.

Tab. 4.2.1: Beziehung zwischen Pediatry Small und Small Animal Medium

PS/SAM	R ²	RMSE	Gleichung
FAT	0,240	51 (g)	2,61x – 38,5
FATPC	0,022	2,44 (%)	7,29x – 21,28
LEAN	0,930	70 (g)	0,97x + 160,9
Gewicht	0,984	37 (g)	1,05x + 116,1
BMC	0,829	5 (g)	1,32x + 10,8
BMD	0,885	0,02 (g/cm ²)	1,19x – 0,07

R²=Bestimmtheitsmaß, RMSE=Standardschätzfehler

Tab. 4.2.2: Beziehung zwischen Pediatry Small und Small Animal Slow

PS/SAS	R ²	RMSE	Gleichung
FAT	0,304	23 (g)	1,33x + 3,6
FATPC	0,019	1,22 (%)	3,62x – 9,3
LEAN	0,971	50 (g)	1,03x + 78,4
Gewicht	0,986	39 (g)	1,05x + 81,2
BMC	0,922	3 (g)	1,27x + 8,0
BMD	0,912	0,01 (g/cm ²)	1,14x – 0,07

R²=Bestimmtheitsmaß, RMSE=Standardschätzfehler

Tab. 4.2.3: Beziehung zwischen Pediatry Small und Pediatry Medium

PS/PM	R ²	RMSE	Gleichung
FAT	0,903	159 (g)	1,09x – 161,6
FATPC	0,957	0,78 (%)	1,18x – 1,6
LEAN	0,998	87 (g)	1,06x - 1027
Gewicht	0,998	152 (g)	1,03x – 524,9
BMC	0,975	14 (g)	0,91x + 37,2
BMD	0,980	0,01 (g/cm ²)	1,02x – 0,03

R²=Bestimmtheitsmaß, RMSE=Standardschätzfehler

Tab. 4.2.4: Beziehung zwischen Pediatry Small und Pediatry Large

PS/PL	R²	RMSE	Gleichung
FAT	0,219	717 (g)	0,86x + 367,4
FATPC	0,216	3,15 (%)	0,53x + 4,7
LEAN	0,961	700 (g)	0,98x + 494,9
Gewicht	0,977	598 (g)	1,09x – 1655,7
BMC	0,912	30 (g)	0,99x – 63,1
BMD	0,922	0,03 (g/cm ²)	1,12x – 0,16

R²=Bestimmtheitsmaß, RMSE=Standardschätzfehler

4.3. Entwicklung der Körperzusammensetzung

In den folgenden Abbildungen 4.3.1 – 4.3.5 sind die Mittelwerte für Gesamtgewicht, Fettgehalt, Knochenmineraldichte, Knochenmineralgehalt und Magerweichgewebegehalt für jeden Genotyp in Abhängigkeit des Alters dargestellt.

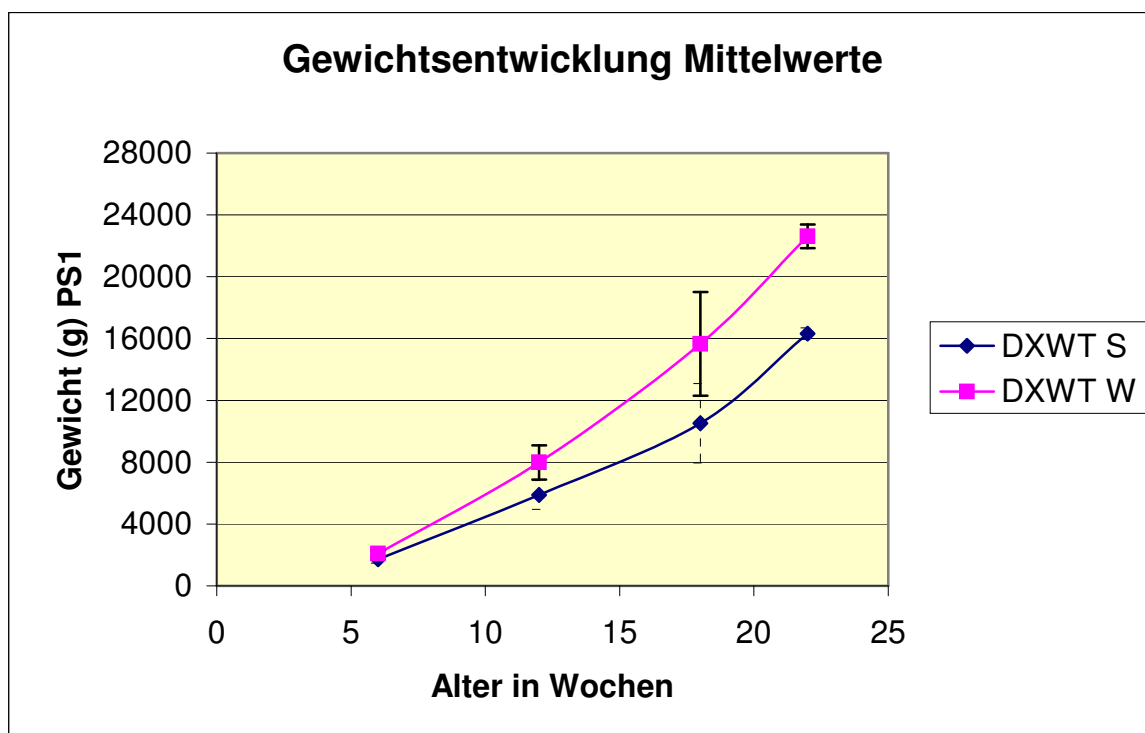


Abbildung 4.3.1: Gewichtsentwicklung (DXWT) für Kelly Bronze (S) und BUT Big6 (W) -- (In der 22. Woche wurden allein männliche Tiere untersucht.)

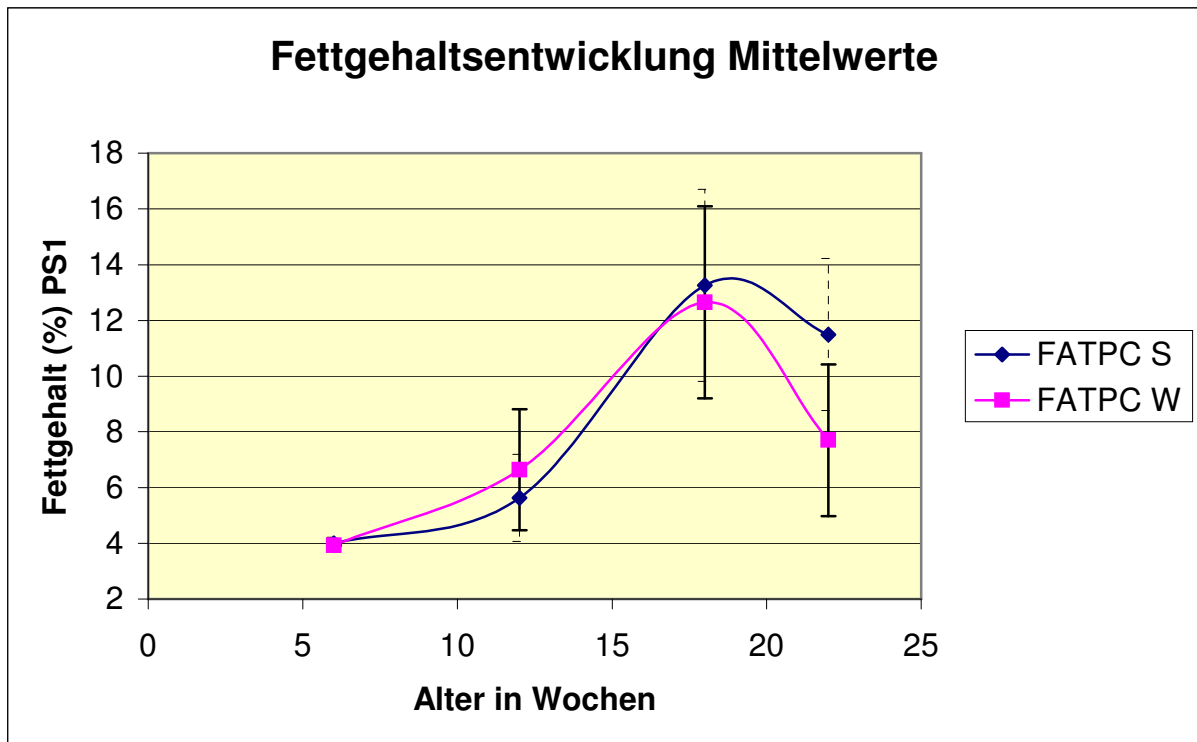


Abbildung 4.3.2: Fettgehaltsentwicklung (FATPC) für Kelly Bronze (S) und BUT Big6 (W) -- (In der 22. Woche wurden allein männliche Tiere untersucht.)

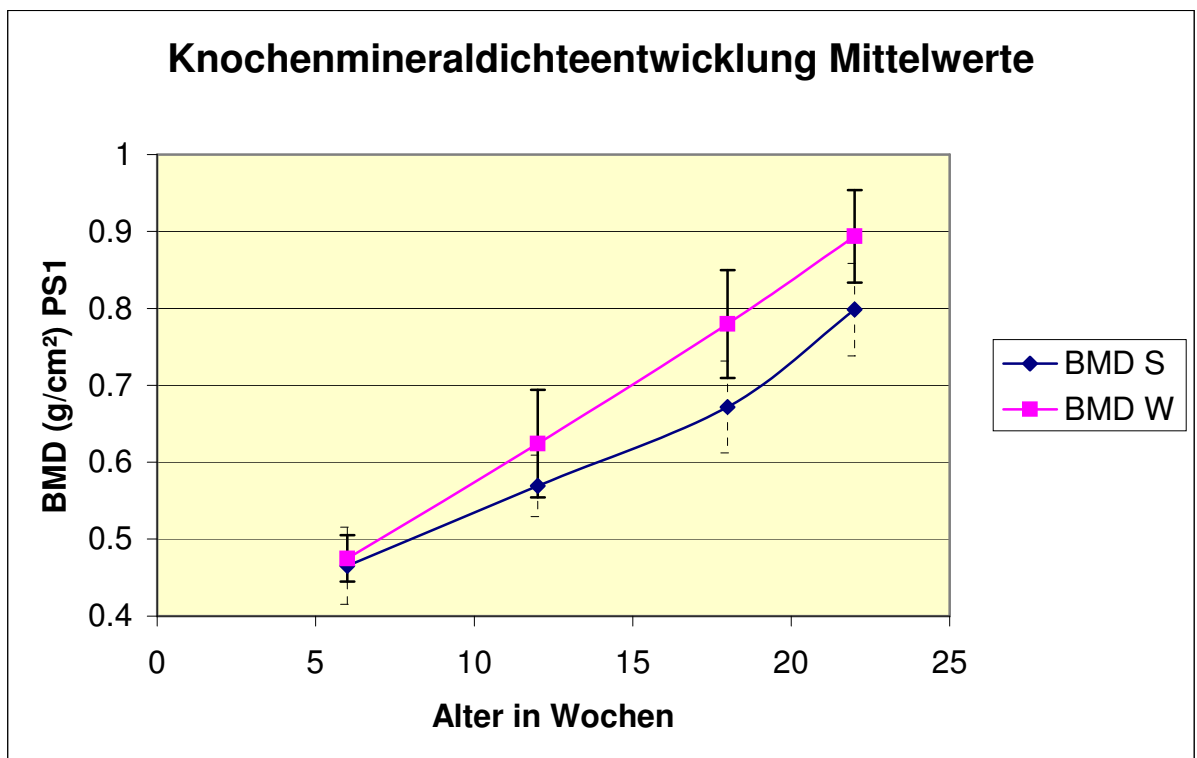


Abbildung 4.3.3: Knochenmineraldichteentwicklung (BMD) für Kelly Bronze (S) und BUT Big6 (W) -- (In der 22. Woche wurden allein männliche Tiere untersucht.)

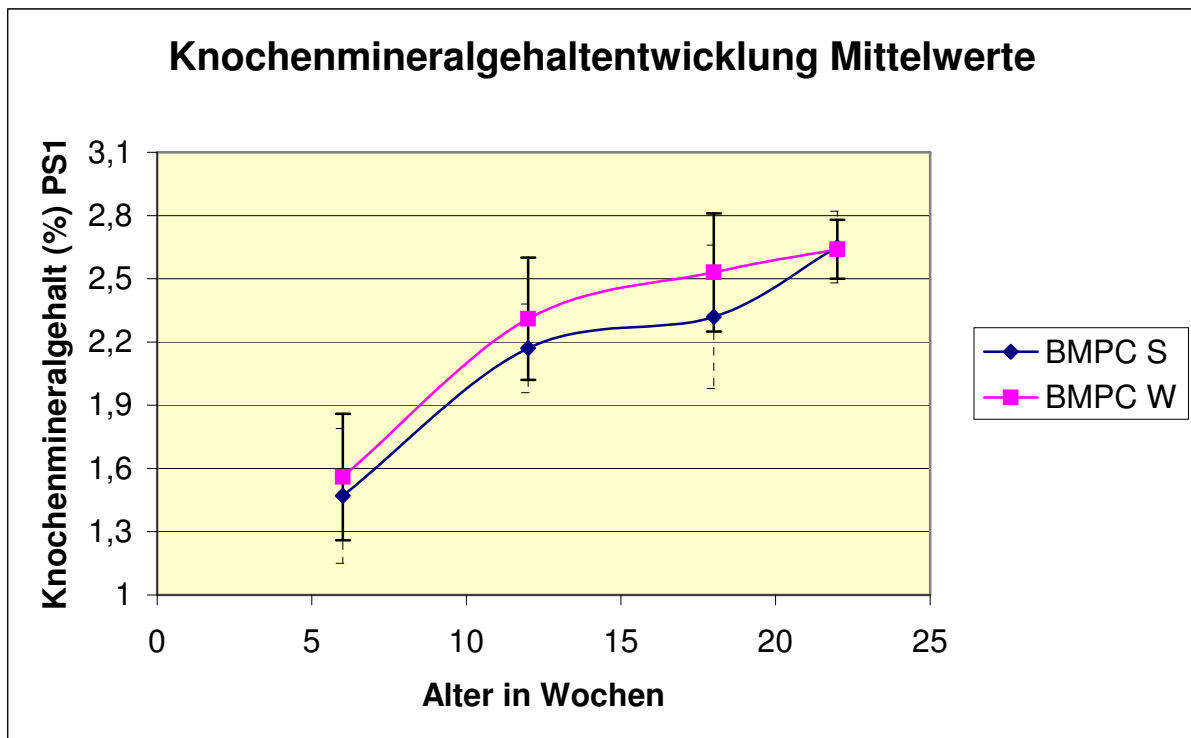


Abbildung 4.3.4: Knochenmineralgehaltentwicklung (BMPC) für Kelly Bronze (S) und BUT Big6 (W) -- (In der 22. Woche wurden allein männliche Tiere untersucht.)

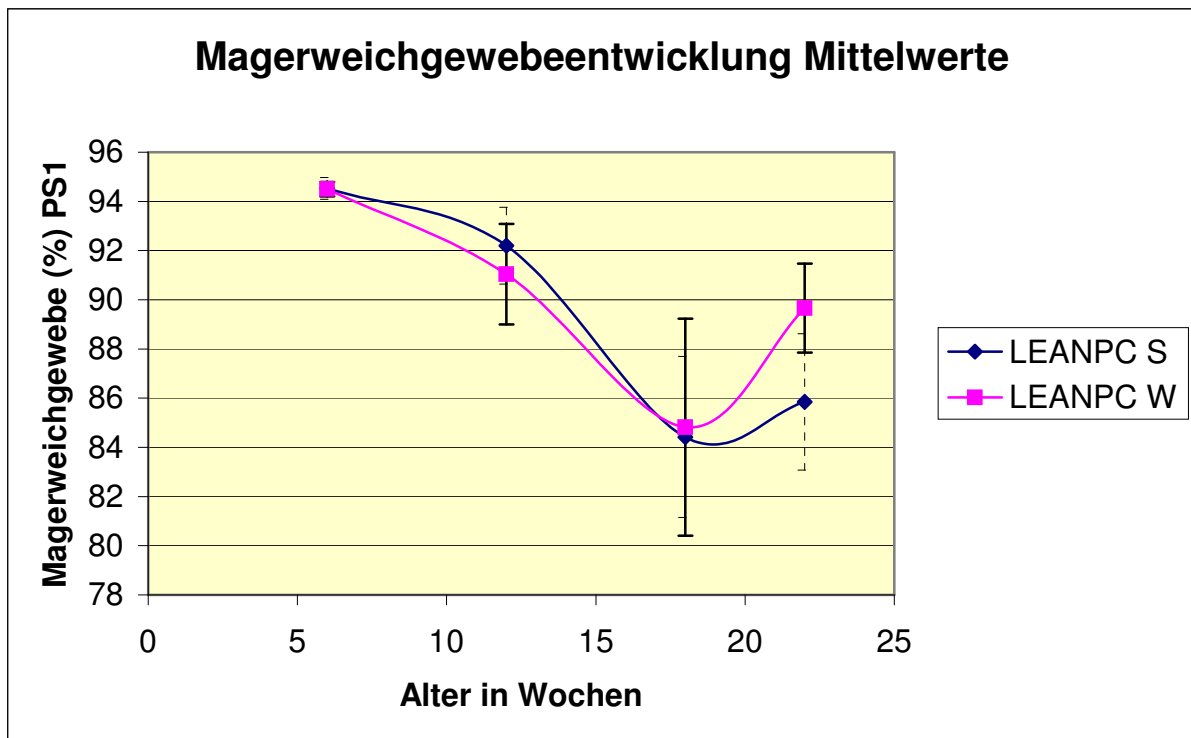


Abbildung 4.3.5: Magergewebeentwicklung (LEANPC) für Kelly Bronze (S) und BUT Big6 (W) -- (In der 22. Woche wurden allein männliche Tiere untersucht.)

4.4. Geschlechtervergleich

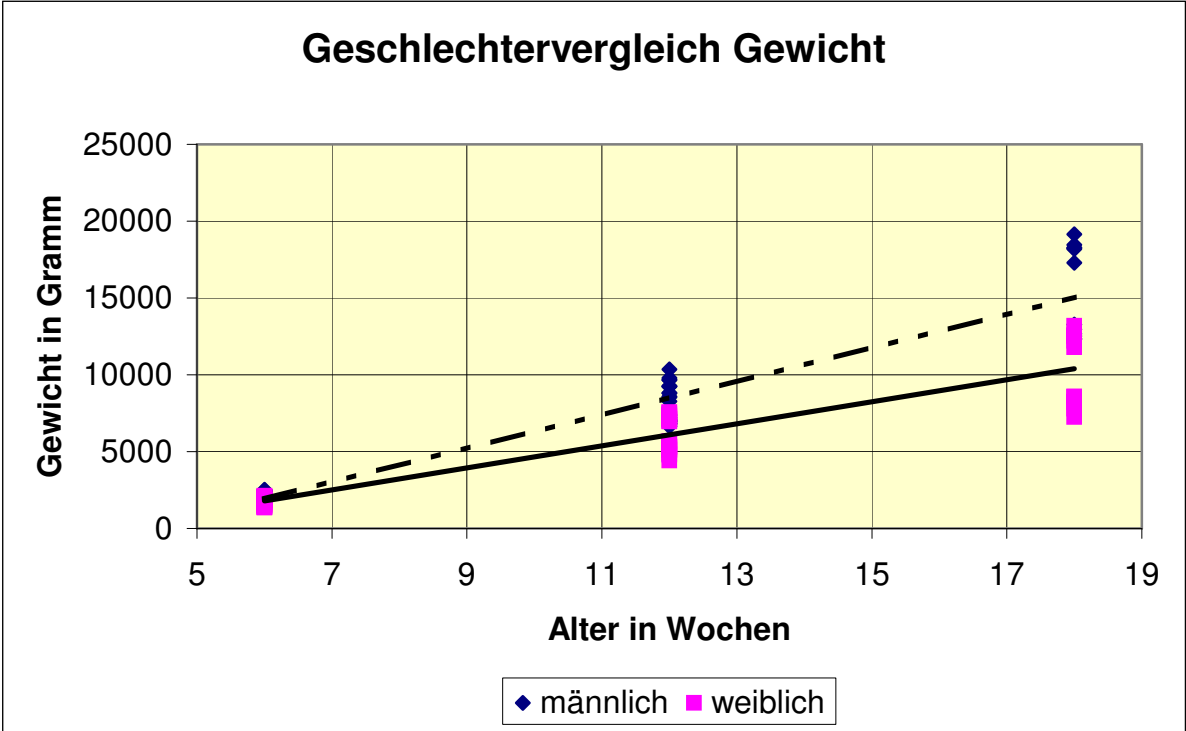


Abbildung 4.4.1: Geschlechtsspezifische Gewichtsentwicklung bis 18. Woche

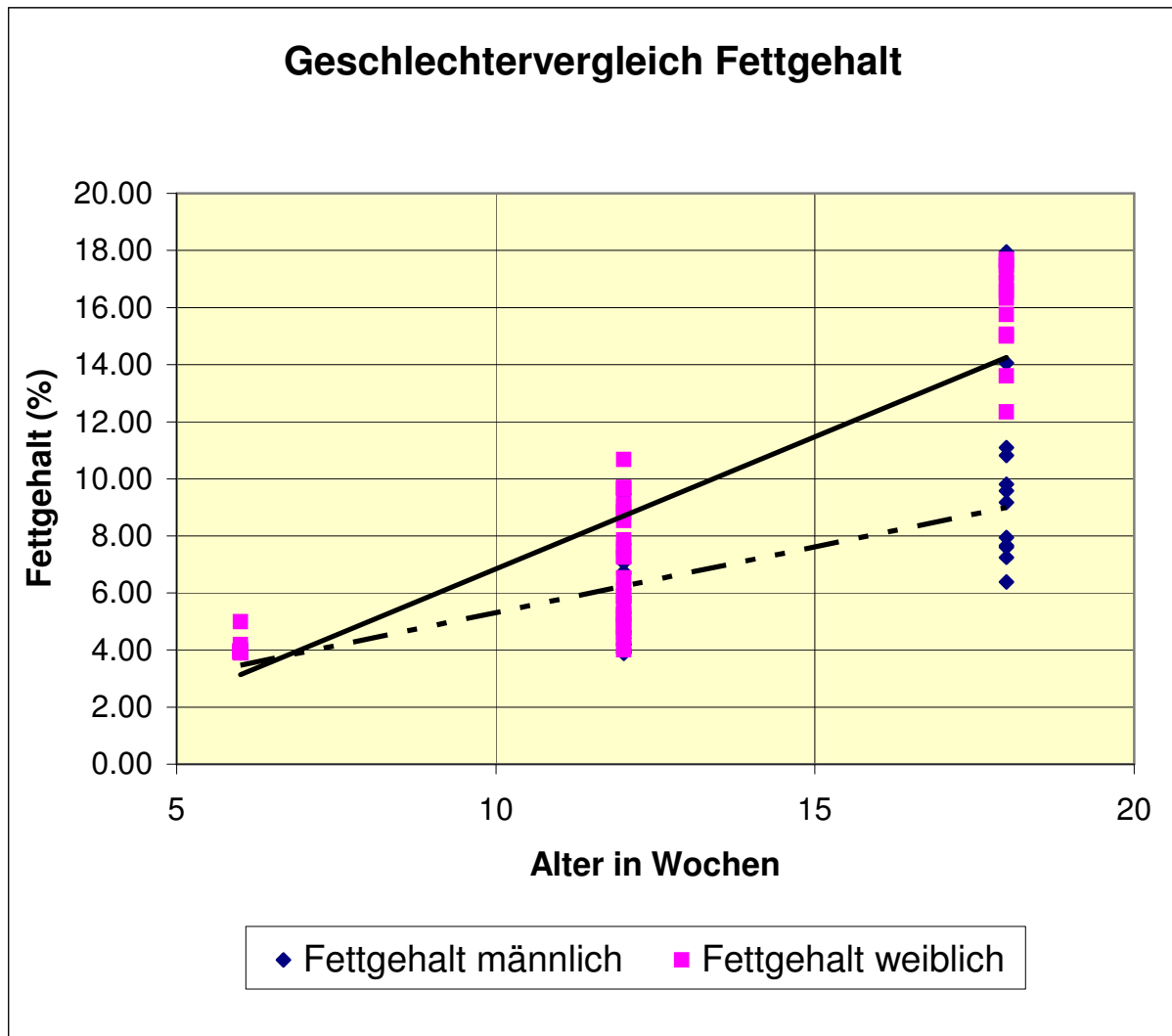


Abbildung 4.4.2: Geschlechtsspezifische Entwicklung des Fettgehalts bis 18. Woche

5. Diskussion

5.1. Allgemein

Ein Punkt den es bei jeder DXA-Analyse zu beachten gilt, ist die Annahme eines konstanten Wassergehalts im Magerweichgewebe von 73 % (ROUBENOFF et al. 1993). Auf dieser Annahme begründen sich die weiteren Berechnungen, jedoch ist dies gerade bei wachsenden Tieren nicht korrekt. In Tabelle 5.1 ist der unterschiedliche Wassergehalt von „fettfreiem“ Fleisch für bestimmte Tierarten angegeben.

Tab. 5.1: Wassergehalt von „fettfreiem“ Fleisch unterschiedlicher Tierarten modifiziert nach SCHOLZ (2002) nach Angaben von König aus MOULTAN (1929)

TIERART		Wassergehalt (%)
Rind	adult	76,59
		76,21
		75,86
		75,40
	Kalb	78,85
Schaf		76,67
Schwein		74,24
Pferd		74,04
Kaninchen		74,00

Der deutliche Unterschied zwischen Kalb und adultem Rind macht deutlich, dass sich der Wassergehalt von „fettfreiem“ Fleisch im Laufe der Entwicklung ändert.

Da beim Geflügel der Wassergehalt des Körpergewebes in Abhängigkeit vom Alter, Geschlecht und Fütterungsration variiert (GRAY et al., 1983), ist anzunehmen, dass sich auch der Wassergehalt im „fettfreien Fleisch“ ändert. Ob dieser Unterschied für die korrekte Werteermittlung relevant ist oder dies durch die verschiedenen Modi ausgeglichen wird, sollte durch eine Referenzuntersuchung überprüft werden. Bei einer Untersuchung an Hühnern, die sich ebenfalls noch in der Entwicklungsphase befanden, wurden die wahren Werte (bsp. Fettmenge) je nach Scanmodus über- oder unterschätzt (MITCHELL et al., 1997). In einer Studie an Hunden verglichen SON

et al. (1998) den durch DXA ermittelten Wassergehalt mit einer Wasserstoff-Isotopen-Dilution. Bei den untersuchten Tieren unterschieden sich die individuellen Ergebnisse zwischen 0,4 % und 39,7 %. Ähnliche Resultate wurden von SPEAKMAN et al. (2001) bei Katzen und Hunden erhoben. Andererseits gilt zu beachten, dass sich diese Ergebnisse auf ein Gerät der Firma Hologic beziehen. Und unterschiedliche Geräte von verschiedenen Herstellern liefern nicht die gleichen Resultate (GUO et al., 1997).

Speziell im SAM-Modus konnte das Gerät bei einigen Messungen keinen R-Wert (Weichgewebe-Röntgenschwächungskoeffizienten) ermitteln. Somit konnten auch keine weiteren Berechnungen durchgeführt werden. Der einzige Wert, den das Gerät in diesen Fällen ermittelte, war die Knochenmineraldichte. Dieses Problem trat im SAM-Modus bei 9 von 48 Puten (entspricht 19 %) und beim SAS-Modus bei 1 von 48 Puten (entspricht 2 %) auf. Dabei ist jedoch kein Zusammenhang mit der BMD erkennbar, da bei anderen Tieren mit gleichen BMD-Werten die Analyse vollständig ablief. Auch waren diese nicht schwerer bzw. größer oder leichter bzw. kleiner als die Tiere die komplett analysiert wurden. Kein anderer Autor berichtet über ähnliche Probleme.

Eine weitere Fehlerquelle, die in Abhängigkeit vom gewählten Scanmodus speziell bei sehr großen Puten auftritt, ist die begrenzte Transmissionsfähigkeit der Strahlen. Ist die Transmissionsstrecke bedingt durch die Größe der Tiere zu lang oder befindet sich zuviel strahlungschwächendes Gewebe zwischen Röntgenquelle und Photonendetektor, so können die Strahlen nicht passieren. Dies wird bei der grafischen Auswertung als blauer Punkt angezeigt. Dieses Problem trat jedoch selten auf und beschränkte sich meist auf sehr kleine Areale. Trotzdem bleibt die Richtigkeit für die Weichgewebezusammensetzung bei einer Transmissionsstrecke von 16-28 cm unverändert. Nur die Wiederholbarkeit ist für schmalere Bereiche (16-25 cm) etwas verbessert, vergleicht man diese mit dickeren Bereichen (19-28 cm). Dies stellten LUKASKI et al. (1999) bei einer Untersuchung an Schweinehälften fest. Im Gegensatz dazu publizierten JEBB et al. (1995), dass DXA in den Bereichen unter 10 cm und über 25 cm die Fettmenge überschätzt.

Schwarze Punkte in der Auswertung kennzeichnen, dass zu wenig Strahlung abgeschwächt wurde, um einen korrekten R-Wert anzugeben. Besonders im Flügel- und Kopfbereich war dies häufiger zu erkennen. Ein Grund sind die äußerst dünnen und pneumatisierten Knochen beim Geflügel. Durch die Wahl eines Modus mit

geringerer Strahlungsintensität könnte dieser Fehler ausgeglichen werden. Interessanterweise waren manche dieser schwarzen Punkte auch zentral im Tierkörper zu sehen ohne die Ursache dafür erklären zu können.

5.2. Wiederholbarkeit

Die Ergebnisse für die Wiederholbarkeit decken sich mit denen anderer Veröffentlichungen. Mit der höchsten Präzision ermittelt das Gerät das Gesamtgewicht ($R = 1$; $RMSE = 21$) und das Magerweichgewebe ($R = 1$; $RMSE = 77$), gefolgt von den Knochenmineralparametern und abschließend vom Fett ($R = 0,988$; $RMSE = 77$). Die gleiche Reihenfolge findet sich in der Literatur für Menschen (THOMSEN et al., 1998), Ferkel (BRUNTON et al., 1993), Schweine (LUKASKI et al., 1999) und Hunde (LAUTEN et al. 2001). Diese Reihenfolge scheint stets gleich zu sein, unabhängig von Tierart, Methode, Software oder Gerätemarke (SWENNEN et al., 2004). Auch PINTAURO et al. (1996) untersuchen Schweine mit einem GE LUNAR Scanner. Sie verwenden sowohl einen Pediatric-Medium-Modus als auch einen Adult-Fast-Detail-Modus. Bei dieser Untersuchung sind die Korrelationskoeffizienten für Knochen, Fett und Magerweichgewebe ebenfalls ≥ 0.98 .

Unterschiede in der Präzision durch die Kunststoffumhüllungen sind nicht zu erwarten. SWENNEN et al. (2004) verglichen mehrere Plastikarten und konnten keine signifikanten Unterschiede für Gewicht, FAT, LEAN, BMD, BMC feststellen. Lediglich der R-Wert und FATPC unterschieden sich signifikant zwischen den einzelnen Materialien. Dies sollte bei der Interpretation der Absolutwerte berücksichtigt werden.

5.3. Richtigkeit

In der Literatur werden die Ergebnisse der DXA-Scans häufig mit denen der chemischen Analyse verglichen. Die Ergebnisse unterscheiden sich deutlich zwischen den verschiedenen Tierarten, Geräten und den Gewichtsklassen. Ein wichtiger Punkt ist laut ELOWSSON et al. (1998), ob die chemische Analyse nach einer Zerlegung oder am unveränderten Tier durchgeführt wird. Fehler ergeben sich durch die schwierige Herstellung eines gleichmäßigen Homogenisates sowie durch die Erfassung von Nicht-Knochenmineral und Knochenmarkfett bei der chemischen Analyse des Gesamttieres. Deshalb untersuchte er Ferkel (15 – 22 kg) mit einem

DXA-Gerät der Firma GE LUNAR und führte die chemische Analyse erst nach einer Zerlegung der Tiere in Muskel, Fett und Knochen durch. Dabei korrelierten die DXA-Werte sehr stark ($r^2 = 0,90 - 1$ und $SEE=0,16$ für Gewicht; $SEE=0,32$ für Fettmenge; $SEE=0,21$ für Magerweichgewebe; $SEE=0,01$ für Knochenmineralmenge) mit denen der chemischen Analyse. Jedoch waren die Absolutwerte für Fett zu niedrig und alle anderen zu hoch.

ELLIS et al. (1994) untersuchten 16 Ferkel mit einem Hologic-Gerät und stellten ebenfalls hohe Korrelationen zwischen ihren DXA-Ergebnissen und denen der chemischen Analyse fest. Bei den Absolutwerten war in dieser Untersuchung neben der Fettmenge auch die Knochenmineralmenge niedriger als bei der chemischen Analyse des Gesamttieres. Die Ursache für die BMC-Unterschätzung könnte wiederum durch die Erläuterung von ELOWSSON (1998) (siehe oben) erklärt werden.

Bei einer Untersuchung an Hunden und Katzen (1,8 – 22,1 kg) korrelierten die Werte für die Körperzusammensetzung sehr stark ($r = 0,982 - 1$). Über die gesamte Gruppe verteilt waren auch die Absolutwerte relativ genau, jedoch maskierte dieser Effekt die Unterschiede am Einzeltier (SPEAKMAN et al., 2000).

Bei Hühnern konnten SWENNEN et al. (2004) aussagekräftige Regressionsgleichungen ermitteln, um das Gesamtgewicht, die Fettmenge, den Fettgehalt, die Magerweichgewebemenge und die Knochenmineralmenge aus den DXA-Daten korrekt zu berechnen.

Solche Regressionsgleichungen sind aufgrund der gegebenen Wiederholbarkeit sicherlich auch für Puten zu konstruieren.

5.4. Intermodale Beziehungen

5.4.1. Gesamtgewicht

Vergleicht man die Gewichtsmessung zwischen PS und den anderen Modi, so korrelieren die Ergebnisse ebenfalls sehr stark ($R^2 > 0,97$). Jedoch sind die Absolutwerte bei SAM und SAS höher bzw. bei PM und PL niedriger als beim Referenzmodus. Dies spricht für den Pediatric-Small-Modus für diese Tierart in dem angegebenen Gewichtsbereich. Für den Pediatric-Medium-Modus stimmt dies mit der Untersuchung von PINTAURO et al. (1996) überein. Sie untersuchen Schweine in einem Gewichtsbereich von ca. 25 kg mit einem GE LUNAR DXA-Gerät. Obwohl das Gerät das Gesamtgewicht in diesem Modus signifikant richtig voraussagt, liegt der

Durchschnittswert etwas unter dem tatsächlichen Wert. Die Schätzung durch den Adult-Fast-Detail-Modus unterscheidet sich bei PINTAURO et al. (1996) signifikant vom wahren Gewicht.

5.4.2. Körperfett

Die Beziehungen beim intermodalen Vergleich lagen bis auf den Vergleich PS/PM bei allen anderen Gegenüberstellungen für FAT und FATPC nur bei $R^2 \leq 0,3$. Die Absolutwerte für FAT werden bei SAM und PM niedriger und bei SAS und PL höher eingeschätzt als im Referenzmodus PS. Im Gegensatz dazu stellen PINTAURO et al. (1996) fest, dass der PM Modus die Fettmenge überschätzt.

5.4.3. Knochenmineralmenge und -dichte

Ursprünglich wurden die DXA Geräte entwickelt und vermarktet, um den Knochenmineralstatus vornehmlich von erwachsenen Menschen zu erheben. Für diese Anwendung sind die Geräte sehr genau (MITCHELL et al., 1997). Jedoch gilt genau zu beachten, welcher Modus für die jeweilige Gewichtsklasse korrekt ist. Betrachtet man die Knochenmineralmenge so wird diese in Bezug zum Referenzmodus im SAS, SAM und PM-Modus überschätzt. Dabei ist die Beziehung beim SAM-Modus die kleinste ($R = 0,829$) und im PM-Modus am höchsten ($R = 0,9755$). Der PL-Modus unterschätzt die Werte für die Knochenmineralmenge im Vergleich zum PS-Modus. Eine ähnliche Reihenfolge ergibt sich für die Knochenmineraldichte: SAM, SAS, PL und PM. Dabei ist zu beachten, dass alle Absolutwerte unter den Ergebnissen des PS-Modus liegen.

5.5. Körperfett

Ein kritischer Punkt in der DXA Analyse ist die Ermittlung des Körperfetts (MITCHELL et al., 1997). So lässt sich bei der grafischen Darstellung der Beziehung zwischen PS1 und PS2 die größte Streuung der Punktwolke um die Regressionsgerade bei den Werten für die Fettmenge feststellen. Betrachtet man die Entwicklung der Mittelwerte des Fettgehaltes so fällt ein drastischer Abfall der Werte in der Zeit von der 18. – 22. Woche bei beiden Genotypen auf. Dabei ist zu beachten, dass die Mittelwerte für die 22. Woche nur aus männlichen Tieren gebildet wurden. Da jedoch weibliche Tiere schneller verfetten (BRONOE und KOLSTAD, 2000) führt dies sicherlich

zu einer Verzerrung der Werte. Dies wird bei einer Studie von ANDRASSY-BAKA et al. (2003) deutlich, bei der die Körperzusammensetzung von Puten (Big6 und Bronzety) mittels Computertomografie ermittelt wird. Bei dieser Untersuchung steigt der Fettindex (= Zahlenwert für gewichtsunabhängige Fettmenge) bei beiden Genotypen kontinuierlich an.

Eine Einschränkung, die in Abbildung 6 gut zu erkennen ist, wird durch die Herstellersoftware verursacht. Für R-Werte $\geq 1,388$ stagniert der Fettgehalt bei 4 %. Dieses Phänomen beschreiben ebenfalls MITCHELL et al. (1997) und SWENNEN et al. (2004). Beide Forschergruppen benutzen ein Gerät der Firma GE LUNAR. Erstellt man eine Regressionsgerade aus der Beziehung zwischen R-Wert und Fettgehalt und verwertet nur R-Werte bis 1,386 (= linearer Bereich aus Abbildung 6) so ergibt sich folgende Gleichung $y = -438,37x + 610,82$. Die lineare Fortführung dieser Gleichung ist jedoch nicht möglich, da bereits bei R-Werten von $>1,393$ der Fettgehalt Null-, bzw. Negativwerte annehmen würden. Für eine mögliche Korrektur bleibt also nur der Vergleich zwischen der DXA-Untersuchung und einer Referenzuntersuchung (z.B. chemische Untersuchung) bzw. die Verwendung eines Korrekturfaktors (z.B. $y = (-438,37x + 610,82) + 5,1$). Mit diesen Ergebnissen kann versucht werden durch eine mathematische Funktion die Beziehung zwischen Röntgenschwächungskoeffizient und prozentualem Fettgehalt aus der DXA-Analyse besser zu beschreiben, ohne den minimal angegebenen Fettgehalt auf 4 % begrenzen zu müssen.

Bei einer Studie an Hunden und Katzen (1,8 – 22,1 kg) stellen SPEAKMAN et al. (2001) fest, dass der Fettgehalt durch DXA teilweise überschätzt wird, weil das Gerät das Magerweichgewebe fälschlicherweise für Fett hält und umgekehrt. Der Absolutfehler in der Ermittlung des Magerweichgewebes ist wiederum von zwei Komponenten abhängig. Zum einen von der Fettmenge in der Muskulatur, und zum anderen von der Menge an Wasser im Visceralfett. Durch diese beiden Komponenten können SPEAKMAN et al. (2001) 91,5 % des Fehlers in der DXA Bestimmung des Magerweichgewebes und somit auch des Fettgewebes erklären. Desweiteren ist der Fehler in der Bestimmung des Fettgehalts abhängig vom Fettgehalt der Muskulatur, dem Magerweichgewebegehalt des Eingeweidefetts (s.o.) und des Hydratationszustandes der Skelettmuskulatur. Trotzdem können die Autoren zeigen, dass der durch DXA ermittelte Fettgehalt stark mit dem Ergebnis der chemischen Analyse korreliert und der Absolutfehler im Durchschnitt nur bei 2,04 %

des extrahierten Fetts liegt. Dabei gilt es zu beachten, dass die Fettmenge auf Einzeltierebene bis zu 20,7 % unter- und bis zu 31,5 % überschätzt wird und sollte bei der Beurteilung von Einzeluntersuchungen berücksichtigt werden.

Jedoch schätzen sowohl PIETROBELLI et al. (1998) als auch GOING et al. (1993) den Fehler, der durch eine Änderung des Flüssigkeitsgehaltes verursacht wird, als gering ein, sofern sich die Veränderungen im physiologischen Rahmen abspielen. Dazu untersuchen GOING et al. (1993) den Fettgehalt bei Menschen mittels DXA. Obwohl bei den Probanden der Hydratationszustand um 2 % geändert wird, bleibt der ermittelte Fettgehalt unverändert. PIETROBELLI et al. (1998) räumt zwar eine Fehlermöglichkeit ein, jedoch liegt der geschätzte Fehler unter 1 % bei einer Hydratationsveränderung von bis zu 5 %.

5.6. Knochenmineralgehalt

Beim Knochenmineralgehalt ist eine differenzierte Bewertung der Referenzuntersuchungen nötig. Durch die Berechnungssoftware gelingt es DXA Knochenmineral von Nicht-Knochenmineral zu unterscheiden. Da jedoch die Referenzuntersuchung meist eine chemische Analyse ist und dabei der Gesamtaschegehalt ermittelt wird, können Diskrepanzen auftreten, die in Wahrheit nicht vorhanden sind. Bedenkt man, dass bei Hund und Katze der Anteil von Nicht-Knochenmineral bis zu 15 % des anorganischen Mineralgehalts ausmachen kann (SPEAKMAN et al., 2001), wird es klar, dass Vergleiche mit „Goldstandards“ differenziert bewertet werden müssen. So sind in einigen Organen (beispielsweise Leber und Muskulatur) beträchtliche Mineralgehalte zu finden (GRAY et al., 1983). Eine Verbesserung bietet die Veraschung der bloßen Knochen, die durch eine vorherige Zerlegung vom restlichen Tierkörper getrennt wurden. Dadurch können SPEAKMAN et al. (2001) zwar einen Teil der Diskrepanz zwischen DXA-Wert und Veraschung erklären, jedoch bleiben ca. 7 % Abweichung, die auf andere Ursachen schließen lassen. Folglich stellen sowohl MITCHELL et al. (1997) bei Untersuchungen an Hühnern deutliche Unterschiede zwischen den Werten für DXA-BMC und der Gesamtkörperveraschung fest. Werden bei Mitchell et al. (1997) alle Gruppen zusammengefasst (verschiedene Tiergrößen und Scanmodi) so liegt die Beziehung nur bei $R^2 = 0,46$. Nur im „Small Animal High Resolution“-Modus weichen die Ergebnisse nicht signifikant von den Ergebnissen der Veraschung ab. Bei SWENNEN

et al. (2004) sind die Unterschiede zwischen Aschegehalt und BMC ebenfalls signifikant. Durchschnittlich liegt der DXA-Wert um 45,4 % zu hoch, jedoch korrelieren beide Werte deutlich höher ($r = 0,958$) als bei MITCHELL et al. (1997). Trotzdem ist diese Diskrepanz der Absolutwerte zwischen chemischer Analyse und DXA-Wert aus den oben genannten Gründen nur beschränkt aussagekräftig. SCHREIWEIS et al. (2005) vergleichen BMC und BMD von Tibia und Humerus bei Hühnern, indem Sie die Bereiche am lebenden Tier und am mazerierten Knochen mittels DXA analysieren. Anschließend wird das Veraschungsgewicht bestimmt. Dabei korrelieren BMC und BMD (lebend: $r = 0,73$ Tibia; $0,92$ Humerus und mazeriert: $0,73$ bzw. $0,97$) sehr stark mit den Werten der Veraschung. Trotzdem ist zu beachten, dass die Absolutwerte bei beiden Lebend-Parametern höher sind als die Werte bei den mazerierten Knochen (BMC signifikant um ca. $0,1$ g; BMD nicht signifikant um ca. $0,0005$ g/cm²). Bei der Untersuchung an menschlichen Femora kommen LOCHMÜLLER et al. (2001) zu ähnlichen Ergebnissen. Sie begründen die Unterschiede mit der inhomogenen Zusammensetzung des knochenumgebenden Weichgewebes, unterschiedlichen Gewebsdicken und der extraskeletalen Kalzifizierung (Bsp. Blutgefäße).

Auch bei der Pute hat die Selektion auf höheren Gewichtszuwachs und größere Brustmuskulatur ohne die notwendigen Veränderungen beim Skelett zu Problemen geführt. Über Knochenbrüche bei jungen männlichen Puten berichten CRESPO et al. (2000). Die Ermittlung von Knochenmineralgehalt, Knochenmineraldichte und Bruchfestigkeit bei isolierten Putenhumeri des Genotyps Big6 gelingt ZOTTI et al. (2003) mit ausreichender Richtigkeit (BMC / Aschegehalt $r \geq 0,9$, $P \leq 0,01$) und Wiederholbarkeit (CV BMD $0 - 4,19$ %; CV BMC $0,40 - 1,69$ % je nach Technik). Eine enge Beziehung zwischen BMD und Knochenbruchrisiko existiert ebenfalls ($r \geq 0,76$, $P \leq 0,01$). Zu diesem Ergebnis kommen auch SCHREIWEIS et al. (2005) bei einer Untersuchung der Korrelation zwischen Knochenmineraldichte und der Bruchfestigkeit einzelner Geflügelknochen. Somit kann mit einem DXA-Scan das Knochenbruchrisiko ermittelt werden, was für die Selektion von Geflügel sicherlich sinnvoll ist. Dieser Vorteil kann ohne die herkömmlichen Methoden genutzt werden, bei denen die Tiere getötet werden mussten und somit auch keine Verlaufsuntersuchungen mehr möglich waren (ZOTTI et al. 2003; SCHREIWEIS et al. 2005).

5.7. Magerweichgewebe

Neben Fett- und Knochenmineralwerten liefert DXA auch einen Wert für das Magerweichgewebe. Dieser Wert schließt alle Komponenten des Weichgewebes ohne die Fettmenge mit ein. Die geringgradige Überschätzung des Gesamtgewichts durch DXA wird nahezu vollständig durch die Überschätzung des Magerweichgewebes erklärt (SWENNEN et al., 2004). Da aber das DXA-Ergebnis für Magerweichgewebe hoch mit den Werten aus der chemischen Analyse korreliert ($r = 0,992$; $P < 0,0001$), ist es laut SWENNEN et al. (2004) möglich, die Überschätzung durch ein mathematisches Modell auszugleichen. Bei SPEAKMAN et al. (2001) begründet sich der Absolutfehler bei der Magerweichgewebebestimmung auf die Variation in den folgenden zwei Komponenten: Fettmenge in der Muskulatur (positiver Effekt auf den Fehler) und Wassergehalt im mesenterialen Fettgewebe (negativer Effekt auf den Fehler). Bezieht man diese beiden Komponenten in die Kalkulation mit ein, so ist es möglich 91,5 % des Fehlers bei der Ermittlung des Magerweichgewebewertes zu erklären.

Mit der Annahme, dass der Körperproteingehalt und das Gesamtkörperwasser die Hauptkomponenten des Magerweichgewebes darstellen, prüfen MITCHELL et al. (1997) die Beziehungen dieser Werte mit dem R-Wert bzw. Magerweichgewebe. Jedoch deuten die Bestimmtheitsmaße auf eine geringe Beziehung zwischen R-Wert und Proteingehalt ($R^2 = 0,28$) bzw. Gesamtkörperwasser ($R^2 = 0,43$) hin. Deutlich höher liegen die Beziehungen zwischen Magerweichgewebe und Proteingehalt bzw. Gesamtkörperwasser ($R^2 = 0,90 - 0,99$, SEE 13,2 – 22,0 für Protein bzw. SEE 32,7 – 89,3 für Wasser). Dieser deutliche Unterschied tritt auf, obwohl der Magerweichgewebegehalt aus dem R-Wert berechnet wird. Eine Erklärung können MITCHELL et al. (1997) nicht liefern. Trotzdem war es nicht möglich, aus einer Regressionsgeraden den korrekten Gesamtproteingehalt aus den DXA-Werten zu schätzen. Als Grund sehen sie den großen Gewichtsereich, der einen wichtigen Einfluß auf diese Beziehung hat. Im Gegensatz dazu zeigen SWENNEN et al. (2004), dass das Körpergewicht nur einen kleinen Einfluss auf den Unterschied zwischen den DXA-Werten und den Referenzuntersuchungen (für Magerweichgewebe und Gesamtgewicht) ausübt.

5.8. Gesamtgewicht

Beide Genotypen erreichen die Züchtervorgaben des Gesamtgewichts und übersteigen diese sogar ab der 11. Woche bei Kelly Bronze bzw. der 14. Woche bei Big6. Interessanterweise ist dies trotz des Einsatzes ökologischer erzeugter Proteinträger möglich.

Beim Vergleich mit dem „wahren“ Gewicht (Waage) liefert der PS-Modus die genauesten Ergebnisse. Auch MITCHELL et al. (1997) beschreiben die hohe Richtigkeit in der Gesamtgewichtermittlung von DXA bei Hühnern. Sie verwenden zwar ebenfalls ein GE LUNAR-Gerät aber analysieren mit einem Neonatal-Medium-, Small-Animal-Detail- und einem Small-Animal-High-Resolution-Modus. Lediglich im Small-Animal-Detail-Modus gibt es bei Tieren über 2 kg einen signifikanten Unterschied zum Waagenwert.

Gibt man die Differenz zwischen dem tatsächlichen und dem DXA-Gewicht als prozentualen Wert des Gesamtgewichts an, so sind die Unterschiede über das gesamte Gewichtsspektrum gleichmäßig verteilt (Abbildung 5.8). Im Gegensatz dazu beschreiben Mitchell et al. (1997) einen größeren Unterschied bei Tieren mit einem Gesamtgewicht unter 2000 g.

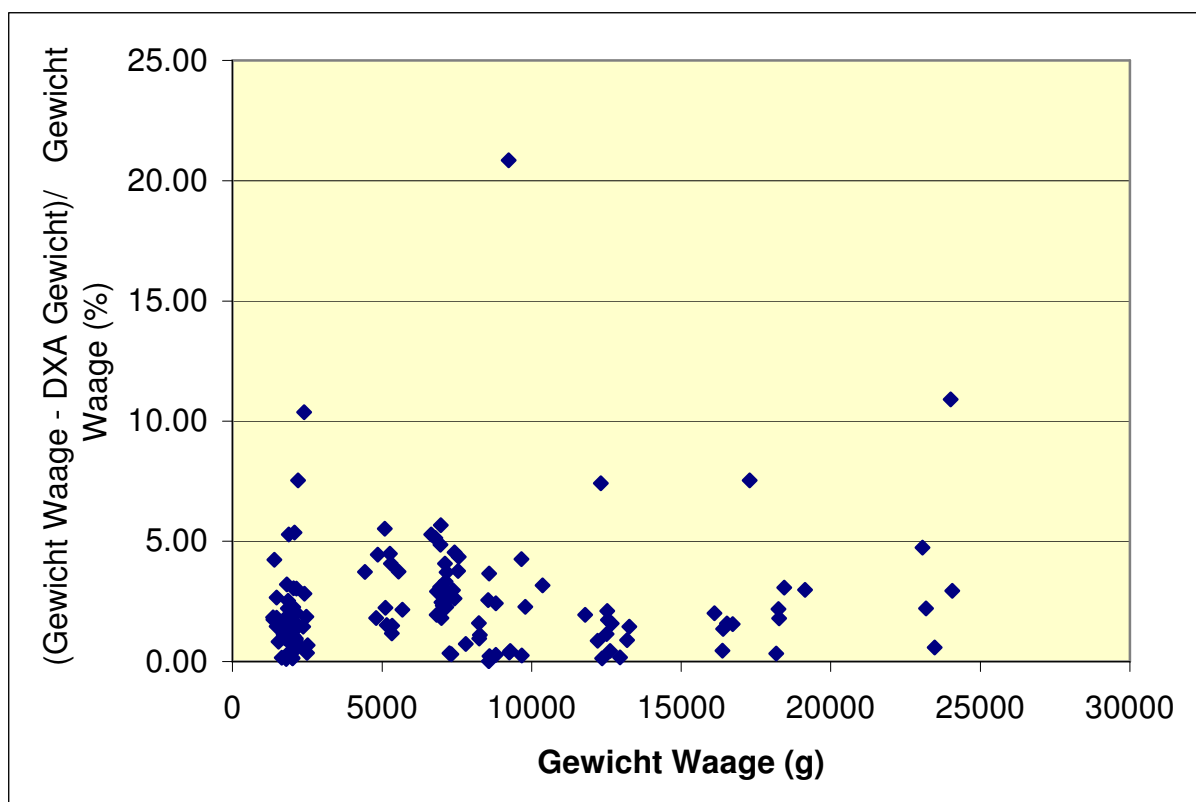


Abbildung 5.8: Prozentualer Fehler in der Gewichtsermittlung in Abhängigkeit vom Einzelgewicht

Im PS-Modus wird das Gewicht von DXA geringgradig überschätzt ($y = 0,99 x - 34$). Dies stimmt mit Untersuchungen von SWENNEN et al. (2004) ($y = 0,91 x - 25$) überein. Sie verwenden ebenfalls ein GE LUNAR-Gerät und analysieren mit einem Small Animal High Resolution-Medium und -Detail Slow-Modus. Bei MITCHELL et al. (1997) ($y = 0,95 x + 27$) wird das Gesamtgewicht von DXA geringgradig unterschätzt. Betrachtet man die Y-Achsenabschnitte der drei Regressionsgeraden, so sind die Werte bei den Vergleichsarbeiten zwar niedriger, beziehen sich aber auf deutlich geringere Gewichte (bis 2,4 bzw. 3,3 kg Gesamtgewicht).

5.9. Genotypenvergleich

Obwohl sich die Genotypen im Laufe der Entwicklung deutlich voneinander unterscheiden, ist die Ausgangssituation in der 6. Lebenswoche bei allen erhobenen Parametern gleich. Durch die höheren Tageszunahmen der Big 6 Puten haben diese Tiere bereits in der 18. Lebenswoche einen Gewichtsvorsprung von 4 Wochen gegenüber den Kelly Bronze Tieren. Anders ausgedrückt sind die Big 6 Tiere in der 18. Woche bereits 5,1 kg schwerer als die gleich alten Kelly Bronze Tiere. Ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Genotypen ist in der 22. Woche (ausschließlich männliche Tiere) beim Fett- und Magerweichgewebegehalt zu beobachten. Der Fettgehalt liegt bei den Big 6 Puten bei ~8 % während er bei den Kelly Bronze Tieren bei ~12 % liegt. Dabei gilt es wiederum zu beachten, dass der geschlechtsspezifische Unterschied in den Fettindices bei Big 6 deutlich größer ist als bei Bronze Tieren (ANDRASSY-BAKA et al., 2003). Somit macht sich der Wegfall der weiblichen Tiere in der 22. Woche bei den Big 6 stärker bemerkbar. Bei ANDRASSY-BAKA et al. (2003) stellt sich die Reihenfolge des Gesamtfettgehaltes (Fettindex = Anzahl Fettpixel/Anzahl Pixel insgesamt) in der 21. Woche wie folgt dar: Big6 weiblich (0,20), Bronze weiblich (0,13), Big6 männlich (0,12) und Bronze männlich (0,12) und steht somit im Gegensatz zu der eigenen Untersuchung.

Daneben steigt der Knochenmineralgehalt bei den Kelly Bronze Tieren langsamer an als bei den Big 6. Dieser Unterschied liegt in der 18. Woche bereits bei ca. 0,3 % Punkten. Dies macht einen Unterschied von ca. 157 g Knochenmineral bei einer Gewichts Differenz von über 5 kg zwischen den beiden Genotypen aus. Interessanterweise sind die Knochenmineralgehalte in der 22. Woche bei beiden Genotypen (beachte: nur männliche Tiere) gleich.

Kelly Bronze Puten weisen in dieser Untersuchung stets eine (um ca. 0,1 g/cm²) niedrigere Knochenmineraldichte auf. Ob sich dadurch Unterschiede in der Bruchfestigkeit ergeben, könnte in Zukunft untersucht werden.

5.10. Futtermittelvergleich

Bis auf den Knochenmineralgehalt war kein signifikanter Unterschied für die einzelnen Körperzusammensetzungsparameter zwischen Futter A und B festzustellen. Tiere, die mit Futter B gefüttert wurden, wiesen höhere Knochenmineralgehalte (LSMEAN BMPC Futter B 2,26 % zu LSMEAN BMPC Futter A 2,09 %) auf. Inhaltlich war der Energie- und Aminosäuregehalt im Futter B, sowie der Mineralstoffmischungsanteil (in Phase 2 und 4) höher als in Futter A (siehe Tab. 2). Durch den geringeren Energiegehalt war aufgrund der energiekonstanten Nahrungsaufnahme folglich die Futteraufnahme bei Futter A (288 g/Tag und Tier) höher als bei Futter B (275 g/Tag und Tier) (Die Zahlen sind Mittelwerte aus den Mastphasen 1-3 und unterscheiden sich signifikant mit $p < 0,009$ (Bellof und Schmidt, 2005)).

5.11. Geschlechtervergleich

Die geschlechtsspezifischen Unterschiede sind für alle ermittelten Parameter signifikant. Dabei liegen sämtliche Werte (exklusiv Fettgehalt) der männlichen Puten über denen der weiblichen Tiere. Die unterschiedliche Gewichtsentwicklung der Geschlechter ist in Abbildung 4.4.1 aufgetragen. Die schnellere Gewichtsentwicklung bei den männlichen Tieren ist deutlich zu erkennen. Daneben verfetten die weiblichen Tiere schneller als die männlichen Puten (Abbildung 4.4.2). Dies stimmt mit den Ergebnissen von BRONOE und KOLSTAD (2000) überein. Somit eignen sich die weiblichen Tiere für eine frühere Schlachtung (ca. 7. Lebenswoche), da zu dieser Zeit der Fleischgehalt höher als bei den männlichen Tieren ist. Erst ab der achten Lebenswoche liegt der Fleischgehalt der männlichen Tiere über den Werten der Hennen (BRONOE und KOLSTAD, 2000). Interessanterweise beginnt dieser geschlechtsspezifische Unterschied bei Big 6 früher (ab 12. LW) und ist stärker ausgeprägt als bei Bronze Tieren (ab 16. LW).

Der Einsatz von DXA bei Puten besitzt ein großes Potenzial in der Geflügelindustrie wie auch in der Wissenschaft. Mögliche Anwendungsgebiete sind Untersuchungen im Hinblick auf Fütterung und Haltung, Selektionsprogramme sowie der gesamte Lebensmittelbereich inklusive Verbraucherschutz. Der größte Vorteil gegenüber anderen Analysearten liegt in der Möglichkeit Verlaufsuntersuchungen bei Tieren durchzuführen, da die Tiere für eine Wertermittlung nicht getötet werden müssen. Diese Untersuchungen an narkotisierten Tieren wurden bereits erfolgreich bei Hühnern (MITCHELL et al., 1997) durchgeführt und stehen bei der Pute noch aus. Ein weiterer Vorteil ist der verschleißfreie und schnelle Untersuchungsgang. Ein Scan im PS Modus dauert nur wenigen Minuten und ist von einer Person leicht durchführbar. Ein Nachteil liegt im relativ hohen Anschaffungspreis des Gerätes. Trotzdem wird DXA in modifizierter Form bereits in der Schlachtindustrie eingesetzt (KRÖGER et al., 2005).

Der direkte Vergleich mit einer chemischen Analyse oder die gezielte Analyse spezifischer Bereiche (ROIs = Region of interests) wären interessante Ansatzpunkte für weitere Untersuchungen in der Zukunft. Aus der bestehenden Literatur über andere Geflügelrassen bzw. -spezies oder andere Tierarten ist jedoch davon auszugehen, dass Regressionsgleichungen ermittelt werden müssen, die für die jeweilige Tierart (oder Rasse), den Scanmodus und das Gerät spezifisch sind. Diese Korrekturfaktoren kalibrieren die DXA-Ergebnisse auf einen Laborstandard in der Körperanalyse (PINTAURO et al., 1996). Die so ermittelten Werte sind für eine untersuchte Gruppe sicherlich sehr aussagekräftig, jedoch sollte die Interpretation der Ergebnisse eines Einzeltieres mit Vorsicht bewertet werden.

6. Literaturverzeichnis

ABRAHAMSEN, B.; GRAM, J.; HANSEN, T. B.; BECK-NIELSEN, H., 1995:

Cross calibration of QDR-2000 and QDR-1000 dual-energy X-ray densitometers for bone mineral and soft-tissue measurements. *Bone* **16 (3)**, 385-390

ANDRASSY-BAKA, G.; ROMVARI, R.; SÜTÖ, Z.; SZABO, A.; HORN, P., 2003:

Comparative study of the composition of different turkey genotypes by means of CT. *Arch. Tierz. Dummerstorf* **46**, 3285-292

BEHNKE, A.R., 1941:

Physiologic studies pertaining to deep sea diving and aviation, especially in relation to the fat content and composition of the body. *Harvey Lect.* **37**, 198-226

BELLOF, G., E. SCHMIDT, 2005:

100 % Biofütterung bei Mastgeflügel und in der Geflügelaufzucht.

In: Österreichische Fachtagung für biologische Landwirtschaft, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning, 9. - 10. November, 63-66.

<http://orgprints.org/8362/01/Tagungsband.pdf> (Stand: 07.08.2006)

BERTIN, E.; RUIZ, J.-C.; MOUROT, J.; PEINIAU, P.; PORTHA, B., 1998:

Evaluation of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry for Body-Composition Assessment in Rats. *J. Nutr.* **128**, 1550-1554

BLAKE, G.M.; FOGELMAN, I., 1997:

Technical Principles of Dual Energy X-Ray Absorptiometry. *Seminars in Nuclear Medicine* **XXVII (3)**, 210-228

BRONOE, U.T.; KOLSTAD, K.; 2000:

Body Composition and Development Measured Repeatedly by Computer Tomography during Growth in Two Types of Turkeys. *Poultry Science* **79**, 546-552

BRUNTON, J.A.; BAYLEY, H.S.; ATKINSON, S.A., 1993:

Validation and application of dual-energy x-ray absorptiometry to measure bone mass and body composition in small infants. *Am. J. Nutr.* **58**, 839-845

Brunton, J.A.; Weiler, H.A.; Atkinson, S.A., 1997:

- Improvement in the Accuracy of Dual Energy X-ray Absorptiometry for Whole Body and Regional Analysis of Body Composition: Validation Using Piglets and Methodologic Considerations in Infants. *Pediatric research* **41(4)**, 590-596
- CAMERON, J.R.; SORENSON, J., 1963:
Measurement of bone mineral in vivo. *Science* **42**, 230-232
- CLARKE, R.D.; KIRTON, A.H.; BARTLE, C.M., DOBBIE, P.M., 1999:
Application of dual-energy x-ray absorptiometry for ovine carcass evaluation. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* **59**, 272-274
- CONWAY, J.M.; NORRIS, K.H.; BODWELL, C.E., 1984:
A new approach for the estimation of body composition: infrared interactance. *Am. J. Clin. Nutr.* **40**, 1123-1130
- CRESPO, R.; STOVER, S.; TAYLOR, K.T.; CHIN, R.P.; SHIVAPRASAD, H.L., 2000:
Morphometric and mechanical properties of femora in young adult male turkeys with or without femoral fractures. *Poultry Science* **79**, 602-608
- DICKINSON, K.; NORTH, T.J.; TELFORD, G.; SMITH, S.; BRAMMER, R.; JONES, R.B.; HEAL, D.J., 2001:
Determination of body composition in conscious adult female Wistar utilising total body electrical conductivity. *Physiology & Behaviour* **74 (4-5)**, 425-433
- DICOSTANZO, A.; LIPSEY, R.J.; SIEMENS, M.G.; MEISKE, J.C.; HEDRICK, H.B., 1995:
Prediction of Carcass and Empty Body Composition of Steers by K^{40} Emission Detection. *J. Anim. Sci.* **73**, 2882-2887
- DIRRIGL, F.J.; DALSKY, G.P.; WARNER, S.E., 2004:
Dual-energy X-ray Asorptiometry of Birds: an Examination of Excised Skeletal Specimens. *J. Vet. Med. A* **51**, 313-319
- ELLIS, K.J.; SHYPAILO, R.J.; PRATT, J.A.; POND, W.G., 1994:
Accuracy of dual-energy x-ray absorptiometry for body-composition measurements in children. *Am. J. Clin. Nutr.* **60**, 660-665
- ELLIS, K., 2001:
Selected Body composition Methods Can Be Use in Field Studies. *J. of Nutr.* **131**, 1589S-1595S
- ELOWSSON, P.; FORSLUND, A.H.; MALLMIN, H.; FEUK, U.; HANSSON, I.; CARLSTEN, J., 1998:

-
- An Evaluation of Dual-energy X-Ray Absorptiometry and Underwaterweighing to Estimate Body Composition by Means of Carcass Analysis in Piglets. *J. Nutr.* **128**, 1543-1549
- EMMERSON, T.; LAWES, T.J.; GOODSHIP, A.E.; RUEUX-MASON, C.; MUIR, P., 2000:
Dual-energy X-ray absorptiometry measurement of bone-mineral density in the distal aspect of the limbs in racing Greyhounds. *Am. J. Vet. Res.* **61**, 1214-1219
- FEELY, R.S.; LARKIN, L.M; HALTER, J.B.; DENGEL, D.R., 2000:
Chemical versus dual energy x-ray absorptiometry for detecting age-associated body compositional changes in male rats. *Experimental Gerontology* **35 (3)**, 417-427
- FULLER, N.J.; JEBB, S.A.; LASKEY, M.A.; COWARD, W.A.; ELIA, M., 1992:
Four-compartment model for the assesment of body composition in humans: comparison with alternative methods, and evaluation of the density and hydration of fat-free mass. *Clin. Sci. (Colch.)* **82**, 687-693
- FUSCH, C.; SLOTBOOM, J.; FUEHRER, U.; SCHUMACHER, R.; KEISKER, A.; ZIMMERMANN, W.; MOESSINGER, A.; BOESCH, C.; BLUM, J., 1999:
Neonatal Body Composition: Dual-Energy X-Ray Absorptiometry, Magnetic Resonance Imaging, and Three-Dimensional Chemical Shift Imaging versus Chemical Analysis in Piglets. *Pediatric Research* **46 (4)**, 465-473
- GALA PANIAGUA, J.; DIAZ-CURIEL, M.; DE LA PIEDRA GORDO, C.; CASTILLA REPARAZ, C.; TORRALBO GARCIA, M., 1998:
Bone mass assessment in rats by dual energy X-ray absorptiometry. *The British Journal of Radiology* **71**, 754-758
- GIESE, W., 1997:
Kompendium der Physik für Veterinärmediziner. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 171
- GOING, S.B.; MASSETT, M.P.; HALL, M.C., 1993:
Detection of small changes in body composition by dual energy x-ray absorptiometry. *Am. J. Clin. Nutr.* **57**, 845-850
- GOTFREDSEN, A.; BORG, J.; CHRISTIANSEN, C., 1984:
Total body bone mineral in vivo by dual photon absorptiometry. I. Measurement procedures. *Clin. Physiol.* **4**, 343-355
- GOTFREDSEN, A.; JENSEN, J.; BORG, J.; CHRISTIANSEN, C., 1986:

-
- Measurement of Lean Body Mass and Total Body Fat Using Dual Photon Absorptiometry, *Metabolism* **35 (1)**, 88-93
- GRAY, T.C.; ROBINSON, D.; JONES, J.M.; STOCK, S.W.; THOMAS, N.L., 1983:
Effect of age and sex on the composition of muscle and skin from a commercial broiler strain. *Br. Poult. Sei.* **24**, 219-231
- GRIER, S.J.; TURNER, A.S.; ALVIS, M.R., 1996:
The use of Dual-Energy X-ray Absorptiometry in Animals. *Investigative Radiology* **31 (1)**, 50-62
- GUO, S.S.; WISEMANDLE, W.A.; TYLESHEVSKI, F.E.; ROCHE, A.F.; CHUMLEA, W.C.; SIERVOGEL, R.M.; SPECKLER, B.; HEUBI, J., 1997:
Inter-machine and inter-method differences in body composition measures from dual energy X-ray absorptiometry. *Nutr. Health Aging* **1**, 29-37
- HESTER, P.Y.; SCHREIWEIS, M.A.; ORBAN, J.I.; MAZZUCO, H.; KOPKA, M.N.; LEDUR, M.C.; MOODY, D.E., 2004:
Assessing Bone Mineral Density in Vivo: Dual Energy X-Ray Absorptiometry. *Poultry Science* **83**, 215-221
- HEYMSFIELD, S.B.; WANG, Z.M.; BAUMGARTNER, R.N.; ROSS, R., 1997:
Human Body composition: Advances in Models and Methods. *Ann. Rev. Nutr* **17**, 527-558
- HIYAOKA, A.; YOSHIDA, T.; CHO, F.; YOSHIKAWA, Y., 1996:
Changes in Bone Mineral Density of Lumbar Vertebrae after Parturition in African Green Monkeys (*Cercopithecus aethiops*). *Exp. Anim.* **45(3)**, 257-259
- HOUSEMAN, R.A.; McDONALD, I.; PENNIE, K., 1973:
The measurement of total body water in living pigs by deuterium oxide dilution and its relation to body composition. *British Journal of Nutrition* **30**, 149-156
- JEBB, S.A.; GOLDBERG, G.R.; JENNINGS, G.; ELIA, M., 1995:
Dual-energy X-ray absorptiometry measurements of body composition: effects of depth and tissue thickness, including comparisons with direct analysis. *Clinical Science* **88**, 319-324
- JENSEN, M.D.; KANALEY, J.A.; ROUST, L.R.; O'BRIEN, P.C.; BRAUN, J.S.; DUNN, W.L.; WAHNER, H.W., 1993:
Assesment of Body composition With Use of Dual-energy X-Ray Absorptiometry: Evaluation and Comparison with Other Methods. *Mayo Clin. Proc.* **68**, 867-873

JOHNSON, R.J.; FARRELL, D.J., 1988:

The prediction of body composition in poultry by estimation in vivo of total body water with tritiated water and deuterium oxide. *British Journal of Nutrition* **59**, 109-124

KAMPHUES, J., SCHNEIDER, D., LEIBETSEDER, J., 1999:

Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung. M. & H. Schaper, Alfeld-Hannover, 9. Auflage, 21

KAUFMANN, L.; CROOKS, L.E.; MARGULIS, A.R., 1981:

Nuclear magnetic resonance imaging in medicine. Tokyo, Japan: Igaku Shoin

KEY, A.; BROZEK, J., 1953:

Body fat in adult men. *Physiol. Rev.* **33**, 245-325

KIEBZAK, G.M.; LEAMY, L.J.; PIERSON, L.M.; NORD, R.H.; ZHANG, Z.Y., 2000:

Measurement precision of body composition variables using the Lunar DPX-L densitometer. *J. Clin. Densitom.* **3**, 35-41

KOVRT, W.M., 1998:

Preliminary evidence that DEXA provides an accurate assessment of body composition. *J. Appl. Physiol.* **84** (1), 372-377

KOO, W.W.; WALTERS, J.C.; HOCKMAN, E., 2000:

Body composition in Human Infants at Birth and Postnatally. *J. Nutr.* **130**, 2188-2194

KOO, W.W.K.; WALTERS, J.; BUSH, A.J., 1995:

Technical considerations of dual energy x-ray absorptiometry-based bone mineral measurements for pediatric studies. *J. Bone Miner. Res.* **10**, 1998-2004

KOO, W.W.K.; HAMMAMI, M.; HOCKMAN, E.M., 2002:

Use of Fan Beam Dual Energy X-Ray Absorptiometry to measure body composition of Piglets. *J. Nutr.* **132**, 1380-1383

KOO, W.W.K.; HAMMAMI, M.; HOCKMAN, E.M., 2003:

Interchangeability of pencil-beam and fan-beam dual-energy X-ray absorptiometry measurements in piglets and infants. *Am. J. Clin. Nutr.* **78**, 236-240

KUGELBERG, M.; OHLSSON, C.; SÄVENDAHL, L. 2005:

Reduced bone mineral density and radial bone growth in young rabbits treated with dexamethasone eye drops. *Hormone research* **63**(4), 165-170

LASKEY, M.A., 1996:

Dual-Energy X-Ray Absorptiometry and Body Composition. *Nutrition* **12**, 45-51

LAUTEN, S.D.; COX, N.R.; BRAWNER, W.R.; BAKER, H.J., 2001:

Use of dual energy X-ray absorptiometry for noninvasive body composition measurements in clinically normal dogs. *Am. J. Vet. Res.* **62**, 1295-1301

LITTLE, D.A.; MCLEAN, R.W., 1981:

Estimation of the body chemical composition of live cattle varying widely in fat content. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, **96**, 213-220

LOCHMÜLLER, E.M.; KREFTING, N.; BÜRKLEIN, D.; ECKSTEIN, F., 2001:

Effect of Fixation, Soft-Tissues, and Scan Projection on Bone Mineral Measurement with Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA). *Calcif. Tissue Int.* **68**, 140-145

LOHMANN, T.G., 1981:

Skinfolds and body density and their relation to body fatness, a review. *Hum. Biol.* **53**, 181-225

LUKASKI, H.C., 1987:

Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am. J. Clin. Nutr.* **46**, 537-556

LUKASKI, H.C.; MARCHELLO, M.J.; CLINTON, B.H.; SCHAFER, D.M.; SIDERS, W.A., 1999:

Soft Tissue Composition of Pigs Measured With Dual X-Ray Absorptiometry: Comparison With Chemical Analyses and Effects of Carcass Thickness. *Nutrition* **15**, 697-703

LUNAR®:

DPX-IQ Bedienungshandbuch, Lunar Corporate Headquarters, 313 West Beltline Highway, Madison Wisconsin, WI 53713 USA

MAZESS, R.B.; COLLICK, B.; TREMPPE, J.; BARDEN, H.; HANSON, J., 1989:

Performance evaluation of a dual-energy x-ray bone densitometer. *Calcif Tissue Int.* **44**, 228-232

MIROSH, L.W.; BECKER, W.A.; SPENCER, J.V.; VERSTRATE, J.A., 1981:

Prediction of Abdominal Fat in Broiler Chickens Using Wing Web and Humeral Feather Tract Measurements. *Poultry Science* **60**, 509-512

MITCHELL, A.D.; SCHOLZ, A., 1997:

-
- Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) analysis of growth and body composition of pigs of different ryanodine receptor genotypes. Arch. Tierz. (Dummerstorf) **40**: 11–21.
- MITCHELL, A.D.; ROSEBROUGH, R.W.; CONWAY, J.M., 1997:
Body Composition Analysis of Chickens by Dual Energy X-Ray Absorptiometry. Poultry Science **76**, 1746-1752
- MITCHELL, A.D.; CONWAY, J.M.; POTTS, W.J.E., 1996:
Body composition analysis of pigs by dual-energy x-ray absorptiometry. J. Anim. Sci. **74**, 2663-2671
- MITCHELL, A.D.; SCHOLZ, A.M.; CONWAY, J.M., 1998:
Body Composition Analysis of Small Pigs by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. J. Anim. Sci. **76**, 2392-2398
- MITCHELL, A.D.; SCHOLZ, A.M.; PURSEL, V.G.; EVOCK-CLOVER, C.M., 1998:
Composition Analysis of Pork Carcasses by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry, J. Anim. Sci. **76**, 2104-2114
- MITCHELL, A.D.; SCHOLZ, A.M.; WANG, P.C.; SONG, H., 2001:
Body composition analysis of the pig by magnetic resonance imaging. J. Anim. Sci. **79**, 1800-1813
- MITCHELL, A.D.; SCHOLZ, A.M.; PURSEL, V., 2002:
Prediction of the in vivo Body Composition of Pigs Based on Cross-Sectional Region Analysis of Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA) Scans. Arch. Tierz. Dummerstorf **45 (6)**, 535-545
- MITCHELL, A.D.; SCHOLZ, A.M.; SOLOMON, M.B., 2005:
Estimation of body composition of pigs by near-infrared interactance probe technique. Arch. Tierz., Dummerstorf **48 (6)**, 580-591
- Moulton, C.R. 1929: Meat through the microscope; applications of chemistry and the biological sciences to some problems of the meat packing industry. The University of Chicago press, Chicago, Ill., USA
<http://chla.library.cornell.edu/>
- NAGY, T.R.; CLAIR, A.-L., 2000:
Precision and Accuracy of Dual-Energy X-ray Absorptiometry for Determining in Vivo Body Composition of Mice. Obesity Research **8 (5)**, 392-398
- NESTOR, K.E., 1982:
The influence of genetic increases in body weight on the abdominal fat pad of turkeys. Poultry Science **61**, 2301-2304

NORRIS, K.H., 1983:

Instrumental techniques for measuring quality of agricultural crops. In: Liebermann M., ed. Post harvest physiology and crop preservation. New York: Plenum Press, 471-483

NÜSKE, S.; HAMPE, J.; SCHOLZ, A.M.; FÖRSTER, M., 2005:

Studies on the development of the claws in new born calves of different breeds and crossbreeds using Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA). Arch. Tierz. Dummerstorf **48 (4)**, 305-317

NYBOER, R.; BAGNOL, S.; NIMS, L.M., 1943:

The electrical impedance plethysmograph an electrical volume recorder. Washington D.C., National Research Council, Committee on Aviation, Report 149

PACE, N.; RATBURN, E.N., 1945:

Studies on body composition. III The body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content. J. Biol. Chem. **158**, 685-691

PANARETTO, B.A., 1963:

Body composition in vivo – III The composition of living ruminants and its relation to the titrated water spaces. Australian Journal of Agricultural Research **14**, 944-952

PANARETTO, B.A.; TILL, A.R., 1963:

Body composition in vivo – II The composition of mature goats and its relationship to the antipyrine, titrated water, and n-acetyl-4-aminoantipyrine spaces. Australian Journal of Agricultural Research **14**, 926-943

PARK, Y.W.; HEYMSFIELD, S.B.; GALLAGHER, D., 2002:

Are dual-energy X-ray absorptiometry regional estimates associated with visceral adipose tissue mass? International Journal of Obesity **26**, 978-983

PEPPLER, W.W.; MAZESS, R.B., 1981:

Total body bone mineral and lean body mass by dual photon absorptiometry. Calcif Tissue Int. **33**, 353-359

PIETROBELLI, A.; FORMICA, C.; WANG, Z.; HEYMSFIELD, S.B., 1996:

Dual-energy X-Ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. Am. J. Physiol. **271**, E941-E951

PIETROBELLI, A.; WANG, Z.; FORMICA, C.; HEYMSFIELD, S.B., 1998:

-
- Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration. American Physiological Society, E808-E816
- PINTAURO, S.J.; NAGY, T.R.; DUTHIE, C.M.; GORAN, M.I., 1996:
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**, 293-298
- ROUBENOFF, R.; KEHAYIAS, J.J.; DAWSON-HUGHES, B.; HEYMSFIELD, S.B., 1993:
Am. J. Clin. Nutr. **58**, 589-591
- SARTORIS, D.J.; RESNICK, D., 1989:
Dual-energy radiographic absorptiometry for bone densitometry: current status and perspective. *A.J.R.* **152**, 241-246
- SCHOLZ, A.M., 2002:
In-vivo-Methoden zur Analyse von Muskelstoffwechsel und Körperzusammensetzung beim Schwein unter besonderer Berücksichtigung genetischer Einflüsse. Habilitationsschrift, Tierärztliche Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität München,
<http://epub.ub.uni-muenchen.de/view/subjects/08.html>
- SCHOLZ, A.M.; NÜSKE, S.; FÖRSTER, M., 2003:
Body composition and bone mineralization measurement in calves of different genetic origin by using dual-energy X-ray absorptiometry. *Acta diabetol.* **40**, 91-94
- SCHOLZ, A.; SOFFNER, P.; LITTMANN, E.; PESCHKE, W.; FÖRSTER, M., 2002:
Genauigkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) zur Ermittlung der Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinehälften (kalt, 30 – 39 kg) anhand der EU-Referenzerlegung. *Züchtungskunde* **74(5)**, 376-391
- SCHREIWEIS, M.A.; ORBAN, J.I.; LEDUR, M.C.; MOODY, D.E.; HESTER, P.Y., 2005:
Validation of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Live White Leghorns. *Poultry Science* **84**, 91-99
- SIRI, W.B., 1956:
The gross composition of the body. In: Tobis, C.A.; Lawrence, J.H.: eds. *Advances in biological and medical physics*, Vol. **4**, New York: Academic Press, 239-280
- SON, H.R.; AVIGNON, A.; LA FLAMME, D.P., 1998:

-
- Comparison of dual-energy X-ray absorptiometry and measurement of total body water content by deuterium oxide dilution for estimating body composition in dogs. *Am. J. Vet. Res.* **59**, 529-532
- SPEAKMAN, J.R.; BOOLES, D.; BUTTERWICK, R., 2001:
Validation of dual energy x-ray absorptiometry (DXA) by comparison with chemical analysis of dogs and cats. *International Journal of Obesity* **25**, 439-447
- STAUFENBIEL, R., 1997:
Konditionsbeurteilung von Milchkühen mit Hilfe der sonographischen Rückenfettdickenmessung. *Prakt. Tierarzt, coll. vet.* **XXVII**, 87-92
- SÜTÖ, Z.; HORN, P.; KUSTONSNE PÖCZE, O.; HERENDY, V.; GYENIS, J.; MIHOK, S., 2001:
Effect of genetic and nutrition conditions on the meat production of turkeys. *Baromfiagazat* **I**, 28-34
- SWENNEN, Q.; JANSSENS, G.P.J.; GEERS, R.; DECUYPERE, E.; BUYSE, J., 2004:
Validation of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry for Determining in Vivo Body Composition of Chickens. *Poultry Science* **83**, 1348-1357
- THOMSEN, T.K.; JENSEN, V.J.; HENRIKSEN, M.G., 1998:
In Vivo Measurement of Human Body Composition by Dual-Energy X-ray Absorptiometry (DXA). *Eur. J. Surg.* **164**, 133-137
- TOPEL, D.G.; KAUFMANN, R., 1988:
Live animal and carcass composition measurement. In: *Designing foods*. National Research Council. National Academy Press, Washington, DC., 258-272
- WILMORE, J.H.; BEHNKE, A.R., 1968:
Predictability of lean body weight through anthropometric assessment in college men. *J. Appl. Physiol.*, **25**, 349-355
- WITCZAK, C.A.; MOKELKE, E.A.; BOULLION, R.; WENZEL, J; KEISLER, D.H.; STUREK, M., 2005:
Noninvasive measures of body fat percentage in male Yucatan Swine. *Comp. Med.* **55(5)**, 445-451
- ZOTTI, A.; RIZZI, C.; CHERICATO, G.; BERNARDINI, D.; 2003:
Accuracy and Precision of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry for ex vivo determination of Mineral Content in Turkey Poult Bones. *Veterinary Radiology & Ultrasound* **44(1)**, 49-52

Danksagung

Herrn PD Dr. habil. Armin Scholz möchte ich sehr herzlich für die Überlassung dieses interessanten Themas bedanken. Darüber hinaus unterstütze er mich überaus tatkräftig bei der Anfertigung dieser Arbeit und fand zu jeder Zeit ein offenes Ohr für meine Fragen und Probleme. In der ganzen Zeit war er mir eine sehr große Hilfe in allen Bereichen der Erstellung der Dissertation.

Dankbar bin ich allen Mitarbeitern am Lehr- und Versuchsgut für die Schaffung des überaus freundlichen Arbeitsklimas am Betrieb.

Ein herzlicher Dank gilt der Fachhochschule Weihenstephan für die Überlassung und den Transport des Tiermaterials.

Besonders bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, die mir seit Beginn des Studiums jede erdenkliche Unterstützung zuteil werden ließen und mich in jeder Gemütslage stets auf neue motivieren konnten. Diese Hilfe war für Beide zu jeder Zeit eine Selbstverständlichkeit und ist gerade deshalb sehr zu würdigen.

Großer Dank gebührt meiner Verlobten Karolin Raschke die mich zu jeder Zeit tatkräftig und seelisch Unterstützt hat. Ich denke wir können später auf eine sehr schöne Zeit zurückblicken.