

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)

Einfluss unterschiedlicher Energiegehalte in Alleinfuttermitteln
der ökologischen Putenmast auf den Wachstumsverlauf eines
Putengenotyps, gemessen mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie
(DXA)

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

von
Barbara Kreuzer
aus
Germaringen

München 2008

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Braun
Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Scholz
Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Korb

Tag der Promotion: 18. Juli 2008

Inhaltsverzeichnis

<u>1. Einleitung</u>	Seite 1
<u>2. Literatur und Quellen</u>	Seite 3
2.1. Modelle zur Darstellung der Körperzusammensetzung	Seite 3
2.2. Methoden zur Ermittlung der Körperzusammensetzung	Seite 5
2.2.1. Direkte Methoden	Seite 5
2.2.2. Indirekte Methoden	Seite 6
2.2.2.1. Anthropometrie	Seite 6
2.2.2.2. Messung des Körpervolumens – Densitometrie	Seite 7
2.2.2.3. Verdünnungsanalyse – Total body water analysis (TBW)	Seite 8
2.2.2.4. Gesamt-Körper-Kaliumanalyse – Total body potassium analysis (TBP)	Seite 9
2.2.2.5. Kreatininausscheidung	Seite 10
2.2.2.6. Elektrische Leitfähigkeit – Electrical conductance	Seite 11
2.2.2.6.1. Bioelektrische Impedanz Analyse (BIA)	Seite 11
2.2.2.6.2. Gesamtkörperleitfähigkeit – Total Body Electrical Conductivity (TOBEC)	Seite 12
2.2.2.7. Ultrasonographie	Seite 12
2.2.2.8. Computertomographie (CT)	Seite 13
2.2.2.9. Magnetresonanztomographie – Magnetic Resonance Imaging (MRI)	Seite 14
2.3. Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)	Seite 15
2.3.1. Entwicklung der Technik	Seite 15
2.3.2. Physikalische Grundlagen und Funktionsweise	Seite 16
2.3.3. Durchführung der Messung	Seite 18
2.3.4. DXA beim Menschen	Seite 19
2.3.5. DXA beim Kleintier	Seite 20
2.3.6. DXA beim Schwein	Seite 22
2.3.7. DXA beim Wiederkäuer	Seite 24

2.3.8. DXA beim Vogel	Seite 25
2.4. Ökologische Geflügelfütterung	Seite 28
2.5. NSP-spaltende Enzyme	Seite 33
2.6. Bentonit	Seite 35

3. Versuch 1 (Putenversuch 2005) : Vergleich der Ergebnisse von DXA mit denen der chemischen Analyse Seite 39

3.1. Einleitung	Seite 39
3.2. Material und Methoden	Seite 40
3.3. Ablauf der DXA-Untersuchung in Versuch 1	Seite 41
3.4. Untersuchungsablauf und –methode der chemischen Analyse	Seite 42
3.5. Vergleich der Ergebnisse von DXA mit denen der chemischen Analyse	Seite 44

4. Versuch 2 (Putenversuch 2006): Untersuchung des Wachstumsverlaufs ökologisch erzeugter Puten mit der DXA-Methode Seite 60

4.1. Einleitung	Seite 60
4.2. Material und Methoden	Seite 61
4.3. Untersuchungsablauf DXA	Seite 64
4.4. Ergebnisse des Putenmastversuchs	Seite 65
4.4.1. Futtermittelanalyse	Seite 65
4.4.2. Tierverluste	Seite 70
4.4.3. Futteraufnahme	Seite 70
4.4.4. Durchschnittliche ME-Aufnahme	Seite 71
4.4.5. ME pro kg metabolisches Körpergewicht	Seite 72
4.4.6. Futtermittelaufnahme	Seite 73
4.4.7. Kotviskositätsanalyse	Seite 74
4.5. Ergebnisse der DXA-Untersuchung	Seite 77

4.5.1. Gewichtsentwicklung (DXA-WT)	Seite 77
4.5.2. Fettgehalt (FATPC)	Seite 79
4.5.3. Magerweichgewebeanteil (LEANPC)	Seite 80
4.5.4. Knochenmineralanteil (BMC)	Seite 82
4.5.5. Knochenmineraldichte (BMD)	Seite 83
<u>5. Diskussion</u>	Seite 86
5.1. Versuch 1	Seite 86
5.1.1. Allgemeines zur DXA-Methode	Seite 86
5.1.2. Hydratation des Gewebes	Seite 87
5.1.3. Gesamtgewicht	Seite 90
5.1.4. Knochenmineral	Seite 91
5.1.5. Körperfett	Seite 92
5.1.6. Magerweichgewebe	Seite 96
5.2. Versuch 2	Seite 97
5.2.1. Gesamtgewicht	Seite 97
5.2.2. Fettanteil	Seite 100
5.2.3. Magerweichgewebeanteil	Seite 101
5.2.4. Knochenmineralanteil und Knochenmineraldichte	Seite 102
5.2.5. Futteraufnahme und Futterverwertung	Seite 105
5.2.6. Einfluss von Rovabio™ Excel und Natrium-Bentonit (FENA-MIN) auf die Kotbeschaffenheit	Seite 107
<u>6. Zusammenfassung</u>	Seite 109
<u>7. Summary</u>	Seite 111
<u>8. Literaturverzeichnis</u>	Seite 113

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Abb.	Abbildung
BI	Bioelektrische Impedanz Analyse
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
DPA	Dualphotonen-Absorptiometrie
DXA	Dual energy x-ray absorptiometry (Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie)
DXWT	DXA-Weight (von DXA ermitteltes Gewicht)
EAS	Essentielle Aminosäuren
FAT	Fettgewebemasse (g)
FATPC	Fettgewebeanteil (%)
HSCA	Hydrated Sodium Calcium Aluminosilicate
LEAN	Magerweichgewebe (g)
LEANPC	Magerweichgewebeanteil (%)
ME	Scheinbare Umsetzbare Energie (WPSA, 1984)
MRT	Magnetresonanztomografie (MRI – Magnetic Resonance Imaging)
NRC	National Research Council
R ²	Bestimmtheitsmass
PS	Pediatric Small (Modus)
RMSE	Root mean square error (Standardschätzfehler)
R-Wert	Röntgenschwächungskoeffizient
SEE	Standard Estimate Error
SPA	Single Photon Absorptiometry
Tab.	Tabelle
TBP	Total Body Potassium Analysis (Gesamt-Körper-Kaliumanalyse)
TBW	Total body water analysis (Verdünnungsanalyse)
TOBEC	Total Body Electrical Conductivity - Gesamtkörperleitfähigkeit

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1.	Seite 4
Drei Komponenten Modell der Körperzusammensetzung für die DXA-Methode (Fett-/Magerweichgewebe und Knochengewebe), modifiziert aus Scholz (2002)	
Abb. 2.3.2.	Seite 18
Ausgewertetes Bild eines DXA-Scans bei der Pute, übernommen aus Schöllhorn (2007)	
Abb. 2.3.3.	Seite 19
Scannertischeinheit mit Scannertisch (1), Scannerarm (2), Bedienungsfeld (3) und Netzschalter (4) (Lunar® DPX-IQ Bedienungshandbuch)	
Abb. 3.5.1.	Seite 45
Beziehung zwischen dem Gewicht der Puten vor und nach dem Autoklavieren, gemessen mit einer elektronischen Waage	
Abb. 3.5.2.	Seite 46
Beziehung zwischen dem Gewicht der Tierkörper gemessen am LVG Oberschleißheim mit einer Zugwaage und dem Gewicht der Tierkörper nach dem Autoklavieren ermittelt mit einer elektronischen Waage	
Abb. 3.5.3.	Seite 47
Beziehung zwischen dem Gewicht der Puten nach dem Autoklavieren ermittelt mit einer elektronischen Waage und dem Gewicht ermittelt mit DXA (PS-Messung1)	
Abb. 3.5.4.	Seite 48
Beziehung zwischen Aschegehalt ermittelt mit der Weender Analyse und Knochenmineralgehalt ermittelt mit DXA (PS-Messung 1)	

VIII

- Abb. 3.5.5. Seite 49
Beziehung zwischen Aschegehalt ermittelt mit der Weender Analyse
und Knochenmineralgehalt ermittelt mit DXA (PS-Messung 1),
Altersgruppe 2, mit Unterscheidung der Genotypen
- Abb. 3.5.6. Seite 50
Beziehung zwischen dem Ascheanteil ermittelt mit der Weender
Analyse und dem Knochenmineralanteil ermittelt mit DXA (PS-Messung 1),
Altersgruppe 2, mit Unterscheidung der Genotypen
- Abb. 3.5.7. Seite 51
Beziehung zwischen Fettgehalt ermittelt mit der Weender Analyse
und Fettgehalt ermittelt mit DXA (PS-Messung 1)
- Abb. 3.5.8. Seite 52
Beziehung zwischen Fettgehalt ermittelt mit der Weender Analyse
und Fettgehalt ermittelt mit DXA (PS-Messung 1), Altersgruppe 1
- Abb. 3.5.9. Seite 53
Beziehung zwischen Fettgehalt ermittelt mit der Weender Analyse
und Fettgehalt ermittelt mit DXA (PS-Messung1), Altersgruppe 2,
mit Unterscheidung der Genotypen
- Abb. 3.6.0. Seite 54
Beziehung zwischen Fettanteil ermittelt mit der Weender Analyse
und Fettanteil ermittelt mit DXA, mit Unterscheidung der Genotypen
- Abb. 3.6.1. Seite 55
Beziehung zwischen Fettanteil ermittelt mit der Weender Analyse
und Fettanteil ermittelt mit DXA, Altersgruppe 1

Abb. 3.6.2.	Seite 56
Beziehung zwischen Fettanteil ermittelt mit der Weender Analyse und Fettanteil ermittelt mit DXA, Altersgruppe 2, mit Unterscheidung der Genotypen	
Abb. 3.6.3.	Seite 57
Beziehung zwischen der Summe aus Wasser- und Proteingehalt ermittelt mit der Weender Analyse und dem Magerweichgewebegehalt ermittelt mit DXA (Pediatry Small – Messung 1)	
Abb. 3.6.4.	Seite 58
Beziehung zwischen der Summe aus Wasser- und Proteingehalt ermittelt mit der Weender Analyse und dem Magerweichgewebegehalt ermittelt mit DXA (Pediatry Small – Messung 1), Altersgruppe 2	
Abb. 3.6.5.	Seite 59
Beziehung zwischen dem Anteil an Wasser ermittelt mit der Weender Analyse und dem Magerweichgewebeanteil ermittelt mit DXA (Pediatry Small – Messung 1)	
Tab. 4.2.	Seite 63
Inhaltsstoffe FENA-MIN	
Abb. 4.3.	Seite 64
Gefrorener Putenkörper auf dem Scannertisch während des Scanvorgangs	
Tabellen 4.4.1.1.	Seite 66-69
Ergebnisse der Futtermittelanalyse für die einzelnen Futtergruppen	
Tab. 4.4.1.2.	Seite 69
Enzymaktivität (visco units/kg) in den Futtergruppen Z-R1 und Z-R2 in den 4 Versuchsphasen	

Abb. 4.4.2.	Seite 70
Tierverluste in den einzelnen Futtergruppen in %, Mittelwerte aus allen vier Altersgruppen	
Abb. 4.4.3.	Seite 70
Durchschnittliche Futteraufnahme pro Tier und Tag	
Tab. 4.4.3.	Seite 71
Durchschnittliche Futteraufnahme der einzelnen Futtergruppen pro Tier und Tag über alle 4 Altersgruppen in g	
Abb. 4.4.4.	Seite 71
Gesamte durchschnittlich aufgenommene ME der einzelnen Futtergruppen pro Altersgruppe	
Tab. 4.4.4.	Seite 72
Durchschnittlich Aufgenommene ME der einzelnen Futtergruppen pro Altersgruppe	
Abb. 4.4.5.	Seite 72
Aufgenommene Energie (MJ/ME) pro kg metabolisches Körpergewicht	
Abb. 4.4.6.	Seite 73
Futterverwertung (kg Futter pro kg Zuwachs) der einzelnen Futtergruppen in Altersgruppe 1-4	
Abb. 4.4.7.1.	Seite 75
Kotviskosität (visco units/kg) bei einer einmaligen Untersuchung in jeder Altersgruppe	
Abb. 4.4.7.2.	Seite 76
Trockenmasse Kot (%) bei einer einmaligen Untersuchung in jeder Altersgruppe	

Tab. 4.4.7.2. Trockenmasse Kot %	Seite 76
Abb. 4.5.1. Gewichtsentwicklung der 6 Futtergruppen nach jeder der 4 Phasen gemessen mit DXA	Seite 78
Tab. 4.5.1. DXA Gewicht (kg)	Seite 79
Abb. 4.5.2. Fettgehalt der Tierkörper in %, gemessen mit DXA	Seite 80
Tab. 4.5.2. DXA Fett (%)	Seite 80
Abb. 4.5.3. Magerweichgewebeanteil in %, gemessen mit DXA	Seite 81
Tab. 4.5.3. DXA Magerweichgewebeanteil (%)	Seite 82
Abb. 4.5.4. Knochenmineralanteil in %, gemessen mit DXA	Seite 83
Tab. 4.5.4. DXA Knochenmineralanteil (%)	Seite 83
Abb. 4.5.5. Knochenmineraldichte in g/cm ² , gemessen mit DXA	Seite 84
Tab. 4.5.5. DXA Knochenmineraldichte (g/cm ²)	Seite 85

Tab. 5.1.1.

Seite 88

Wassergehalt der fettfreien Körpermasse,
modifiziert nach Wang et al. (1999)

Tab. 5.2.3.

Seite 101

DXA-Lean %: Vergleich der Ergebnisse von Schöllhorn, 2007 und den
eigenen Ergebnissen in den vier Altersgruppen

1. Einleitung

Die Suche nach indirekten Methoden, um die Zusammensetzung des menschlichen Körpers zu bestimmen, begann in den 40er Jahren des letzten Jahrhunderts (Lukaski, 1987).

In der Humanmedizin wurden seitdem ständig neue nicht-destruktive Verfahren entwickelt, die sich längst im diagnostischen Alltag etablieren konnten. Dazu zählen bildgebende Verfahren wie Ultraschall, CT, MRT und DXA. In der Tiermedizin gehören Ultraschall und Computertomografie in vielen Praxen mittlerweile zur Routinediagnostik. Die Nutzung der DXA-Technik ist indes noch wenigen Forschungseinrichtungen vorbehalten. Gerade für die Bereiche der Tierzucht und Tierernährung bietet sich hier jedoch eine sehr gute Möglichkeit, die Entwicklung der Körperzusammensetzung eines lebenden Tieres über einen längeren Zeitraum zu verfolgen. Durch diese Verlaufsuntersuchungen kann der Untersucher neue Erkenntnisse in Langzeitstudien gewinnen. Die DXA-Methode wurde bereits für Untersuchungen an mehreren Tierarten durchgeführt, wobei neben dem Schwein die Ratte und teilweise auch Hund und Katze als Modelltiere für den Menschen bei Referenzuntersuchungen herangezogen wurden. In der Nutztierforschung konnten Referenzwerte für mehrere Tierarten, unter anderem Schwein, Rind und Schaf durch Schlachtungen und anschließende chemische Analyse erarbeitet werden. Beim Nutzgeflügel wurde DXA zunächst beim Huhn angewendet.

Eine Studie zur Evaluierung der DXA-Anwendung bei der Pute wurde 2007 von Schöllhorn am Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilian-Universität München in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Weihenstephan (Fachbereich Land- und Ernährungswirtschaft) durchgeführt.

Die vorliegende Arbeit ist eine Folgestudie zur oben genannten Untersuchung von Schöllhorn zur Ermittlung der Körperzusammensetzung bei der Pute mit der DXA-Methodik. Für den ersten Teil dieser Arbeit wurde ein Teil des Tiermaterials, das Schöllhorn für seine Studie mit der DXA-Methode untersuchte, anschließend einer chemischen Untersuchung unterzogen, um einen Vergleich der Ergebnisse der DXA- und der chemischen Analyse anzustellen.

Im zweiten Teil dieser Studie wurden Puter aus einem Fütterungsversuch, der 2006 am Versuchsgut der FH Weihenstephan in Zornhausen durchgeführt wurde, verwendet. Wie in der Studie von Schöllhorn wurden auch hier Puter verschiedener Altersgruppen getötet, eingefroren und anschließend mit der DXA-Technik untersucht.

Im Putenmastversuch der FH Weihenstephan sollte die Auswirkung unterschiedlicher Fütterungsintensitäten mit abgestuften Energie- und Aminosäureausstattung einer Alleinfuttermischung auf relevante Mast- und Schlachtleistungen in der ökologischen Putenmast eruiert werden.

2.Literatur und Quellen

2.1. Modelle zur Darstellung der Körperzusammensetzung

In der vorliegenden Arbeit wird die Körperzusammensetzung von Puten aus ökologischer Mast, insbesondere deren Knochenmineralansatz, Fett-, Magerweichgewebe und Gewichtsentwicklung untersucht.

Nach Wang et al. 1992 können Untersuchungen zur Zusammensetzung des menschlichen Körpers folgendermaßen aufgeteilt werden: Ebenen der Körperzusammensetzung und ihre Organisationsstrukturen, Messtechniken und biologische Faktoren, die die Körperzusammensetzung beeinflussen. Es lassen sich fünf Ebenen für die Betrachtung des menschlichen Körpers unterscheiden.

Die kleinstmögliche Aufteilung ist die in **Atome**. Von den 106 chemischen Elementen sind 50 im menschlichen Körper enthalten, wobei über 98% des Körpers aus den Grundbausteinen Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Calcium und Phosphor bestehen. Daraus lässt sich folgende Formel ableiten:

$$\text{Körpergewicht} = O + C + H + N + Ca + P + S + K + Na + Cl + Mg + R$$

R steht für alle restlichen im Körper vorkommenden Elemente, die aber zusammen unter 0,25% des Körpers ausmachen.

Auf der **molekularen Ebene** sind die elf oben genannten Hauptelemente in Molekülen zusammengeschlossen, die über 100000 chemische Verbindungen bilden. Es ist weder sinnvoll noch möglich diese Moleküle von Wasser bis hin zur DNS in jedem Körper individuell zu messen. Alternativ werden die Verbindungen in Kategorien mit ähnlicher Zusammensetzung unterteilt. Daraus ergeben sich auf der molekularen Stufe fünf Hauptgruppen: Wasser (intra- und extrazellulär), Protein, Kohlenhydrate (vor allem in Form von Glycogen), Mineralien und Lipide, wobei man essentielle und nicht-essentielle Fette unterscheiden kann.

Trotz der Aufteilung in diese Gruppen, werden die einzelnen Komponenten kombiniert, um Modelle für die Körperzusammensetzung zu entwickeln. Im Zwei-Komponenten-Modell wird das Körpergewicht als Summe aus Fett und fettfreier Körpermasse definiert. Die Fettmasse entspricht dabei den mit Äther extrahierbaren Lipiden, während die fettfreie Masse die Differenz dieser Lipide zum Körpergewicht ist (Bosy-Westphal et al., 2005).

Im Drei-Komponenten-Modell werden für das Körpergewicht Fett, Wasser und Restmasse (Summe aus Glycogen, Mineralstoffen und Protein) oder Fett, Knochenmineral und Magerweichwebe addiert.

Das Körpergewicht setzt sich im Vier-Komponenten-Modell aus Fett, Wasser, Mineralstoffen und der Restmasse (Summe aus Glycogen und Protein) zusammen (Wang et al., 1995).

DXA-Messungen beruhen auf der Modelannahme, dass der Körper in die drei Komponenten Fett, Knochenmineralstoffe und Rest oder Magerweichgewebe unterteilt werden kann.

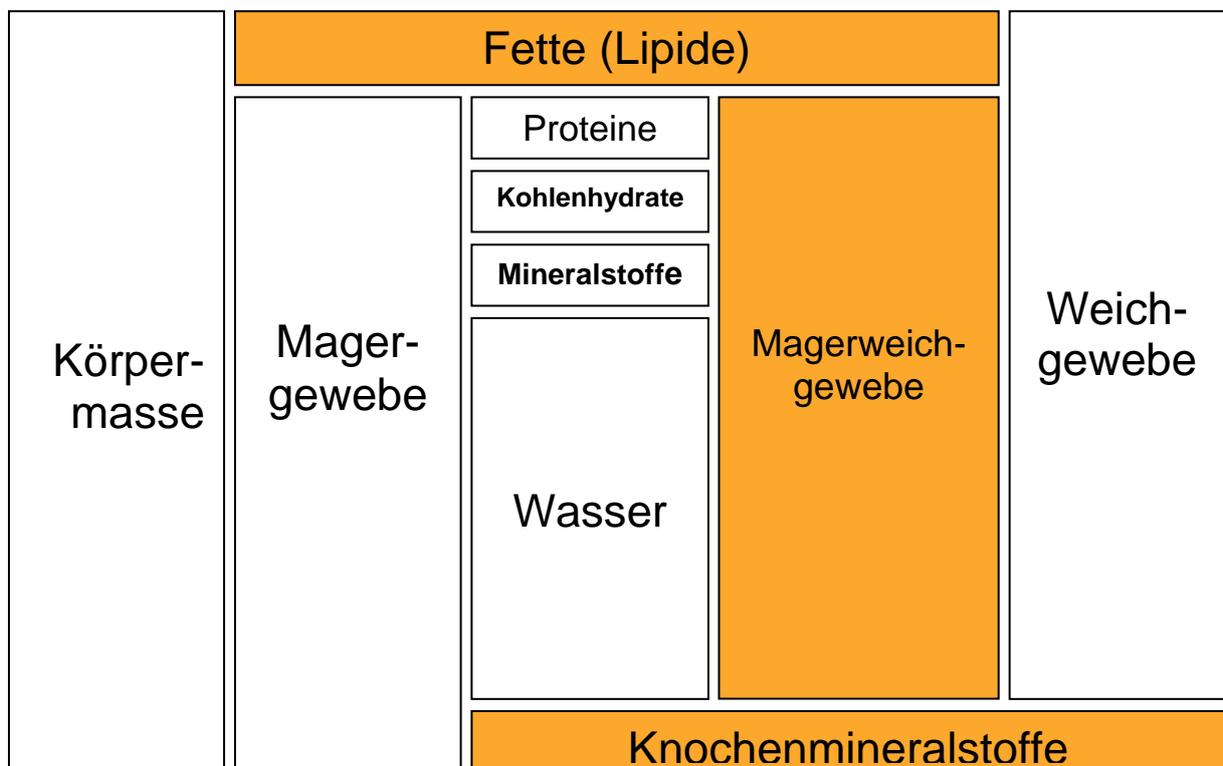


Abb. 2.1. Drei Komponenten Modell der Körperzusammensetzung für die DXA-Methode (Fett-/Magerweichgewebe und Knochengewebe), modifiziert aus Scholz (2002)

Geht man eine Stufe weiter, kann man den Körper auf der **zellulären Ebene** betrachten und eine Aufteilung in Zellmasse, extrazelluläre Flüssigkeit und extrazelluläre Feststoffe vornehmen. Das Volumen der extrazellulären Flüssigkeit besteht zu über 94% aus Wasser und kann in intravaskuläre und interstitielle Flüssigkeit im extravaskulären Raum aufgeteilt werden. Die extrazellulären Feststoffe werden in organische und anorganische Bestandteile unterteilt. Die organischen

Stoffe setzen sich aus drei Typen von Fasern zusammen: Kollagen, Retikulin und elastische Fasern. Die anorganischen extrazellulären Feststoffe wie Calcium und Phosphor finden sich zu ungefähr 65% in der Knochenmatrix.

Auf der vierten Ebene kann das **Gewebesystem** in folgende Kategorien unterteilt werden: Muskulatur, Bindegewebe, Epithelien und Nerven. Gewebe enthalten Zellen, die in ihrer Funktion, ihrem Aussehen und ihrem embryonalen Ursprung übereinstimmen. Drei Gewebearten spielen eine wichtige Rolle bei der Messung der Körperzusammensetzung: Knochen, Fett und Muskulatur.

Knochen und Fett sind spezielle Formen von Bindegewebe, wobei sich Knochen aus Knochenzellen eingebettet in eine Matrix aus Fasern und Grundsubstanz und Fett aus Adipozyten mit Kollagen- und elastischen Fasern, sowie Fibroblasten und Kapillaren zusammensetzt.

Weitere Organisationsebenen dieser Gewebe sind Organe und Organsysteme. Organe bestehen aus einer oder mehrerer Gewebeart(en), die zusammen eine Funktionseinheit bilden, wie z.B. die Haut oder die Niere. Das Organsystem Verdauungstrakt setzt sich wiederum aus mehreren Organen wie dem Oesophagus oder Magen usw. zusammen, die ebenfalls durch ihre Funktion miteinander verbunden sind.

2.2. Methoden zur Ermittlung der Körperzusammensetzung

2.2.1. Direkte Methoden

Die gängige chemische Analyse ermittelt die Werte nach der Homogenisierung der jeweiligen Probe und anschließender Veraschung im Muffelofen bei 550 °C (Asche), Lösung in Petroläther (Fett) und dem Kjeldahlverfahren (Oxidation mit konzentrierter Schwefelsäure zur Proteinbestimmung) (Kamphues et al., 1999).

Den historischen Hintergrund der chemischen Analyse von Gewebe, Körperteilen und menschlichen Leichen als Grundlage der modernen Medizin beschreibt Ellis (2000). Die meisten Studien über die Körperzusammensetzung menschlicher Föten und Säuglinge wurden Anfang des 20. Jahrhunderts durchgeführt. Direkte Analysen adulter Leichen wurden weit weniger und vor allem in der Mitte des 20. Jahrhunderts vorgenommen. Da chemische Gesamtkörperanalysen den Tod des jeweiligen

Individuums voraussetzen, sind Verlaufsuntersuchungen naturgemäß nicht möglich. Teilbiopsien können zwar am lebenden Körper gewonnen werden, um metabolische und physiologische Zusammenhänge in einzelnen Organen zu erforschen, sind aber nicht unbedingt aussagekräftig für das gesamte Organ und mit Risiken für das Subjekt verbunden. Die chemische Analyse dient heute vor allem der Überprüfung indirekter Methoden. Die Korrelation zwischen der DXA-Methode und der chemischen Analyse wurde unter anderem von Elowsson et al. (1998) am Ferkel, Mitchell et al. (1998) am Schwein, Mitchell et al. (1997) am Huhn und Speakman et al. (2000) an Hunden und Katzen untersucht.

Die einzige Technik, mit der die elementare Körperzusammensetzung gegenwärtig in vivo gemessen werden kann, ist die **Neutronenaktivierungsanalyse** (Lukaski, 1987). Hierbei wird ein Neutronenstrahl eines bestimmten Energieniveaus auf den Körper gerichtet um den absoluten Gehalt an Kalzium, Stickstoff, Chlor, Phosphor und Kohlenstoff im Körper zu ermitteln. Werden die Neutronen von einem spezifischen Element wie Kalzium abgefangen, bilden sich kurzzeitig Isotope (z.B. Kalzium-49), die bei der Rückkehr in ihren Ausgangszustand ein oder mehrere Gammastrahlen mit bestimmten Energieniveaus abgeben. Mithilfe dieser charakteristischen Strahlungsenergie kann das Element identifiziert werden.

2.2.2. Indirekte Methoden

2.2.2.1. Anthropometrie

Für die Anthropometrie werden das Gewicht, die Körpergröße, der Umfang und die Länge verschiedener Körperteile sowie die Hautfaldendicke gemessen. Mit Waage und Maßband sind dies leicht zu ermittelnde Messgrößen, mit denen mittels einer mathematischen Gleichung die Körperzusammensetzung errechnet werden kann (Ellis, 2001; Lukaski, 1987). Hieraus ergibt sich zum Beispiel die Berechnung des so genannten Körpermasseindex (BMI, body mass index) durch die Formel $\text{Gewicht}/\text{Körpergröße}^2$, die in der Humanmedizin zur Feststellung von Übergewicht beim Patienten verwendet wird.

Die anthropometrische Bestimmung der fettfreien Körpermasse basiert auf der Annahme, dass ein relativ konstantes Verhältnis zwischen fettfreiem Gewebe und der vorhandenen Körpergröße besteht. Wilmore und Behnke (1968) entwickelten

eine Gleichung, mit der man nach Messung verschiedener Körpermaße wie Knie, Ellbogen, Kopflänge und –umfang von Schülern die Knochendichte und fettfreie Masse ermitteln konnte. Bei der Anwendung dieser Gleichung an Erwachsenen konnte nur eine Korrelation von $r = 0.73-0,82$ zwischen der errechneten und gemessenen Knochendichte erreicht werden.

Ball et al. (2004) ermittelten den Körperfettanteil von insgesamt 160 Männern im Alter von 18-62 Jahren. Die Probanden wurden jeweils am gleichen Tag mit der Anthropometrie-Methode vermessen und mit Hilfe der DXA Technik untersucht. Für jeden Probanden wurden drei Messungen durchgeführt. Obwohl eine hohe Korrelation ($r=0.92-0.94$) beim Gesamtkörperfettgehalt mit beiden Messverfahren besteht, wurde der absolute Fettgehalt bei jeder der drei Untersuchungsgänge mit der Anthropometrie um 3.1-3.3% gegenüber DXA unterschätzt.

Eine weitere Methode besteht in der Vermessung einer Hautfalte, wobei dieser Idee zwei Theorien zugrunde liegen: Die Dicke des subkutanen Fettgewebes steht in einem konstanten Verhältnis zum Gesamtkörperfett und die gemessenen Stellen sollen die durchschnittliche Dicke des subkutanen Fettes wiedergeben. Bis jetzt liegen keine genauen Daten vor, um diese Theorien zu stützen. Die Anwendbarkeit der Hautfaltenmessung wurde von Mirosh et al. (1980) an Hühnern (*Gallus gallus domesticus*) untersucht. Die Flügelhautdicke und die Dicke der Federkiele im Bereich des Humerus wurden gemessen und die Korrelation zwischen abdominalem Fettgewebe und den Messpunkten bestimmt. Die Korrelationskoeffizienten wiesen eine schlechte Übereinstimmung auf.

2.2.2.2. Messung des Körpervolumens - Densitometrie

Die so genannte Unterwasserwiege-Technik (Unterwasservolumenverdrängung) für die Messung des Körpervolumens wurde in den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts entwickelt und basiert auf einem Zwei-Kompartimenten-Modell, in dem das Körpergewicht in Fett und fettfreie Masse unterteilt wird. Diese Methode beruht auf dem Prinzip, dass Knochen- und Muskelgewebe dichter als Fettgewebe sind, und ein fettarmer Körper daher unter Wasser „schwerer“ ist, als ein Körper mit vergleichsweise höherem Fettanteil. Das größte technische Problem bei dieser Methode ist, dass der Körper komplett von Wasser umgeben sein und der Proband die Luft aus den Lungen abatmen muss, um nur das Residual-Volumen

einzubezieh. Außerdem wird von einer konstanten Zusammensetzung der fettfreien Masse (mit konstantem Wasser- und Knochenanteil) ausgegangen. Diese ist jedoch von verschiedenen Faktoren wie Geschlecht, ethnischer Herkunft, Wachstum, physischer Aktivität und Alter abhängig (Ellis, 2001).

Aus dem Unterwasserwiegen wurden zwei weitere Verfahren entwickelt. Zum einen die Air-Displacement-Plethysmography (Luftverdrängungs-Plethysmographie), bei der zwei Kammern verwendet werden, wobei sich in einer der Proband befindet und die andere zur Erhebung von Referenzwerten herangezogen wird. Das Volumen in beiden Kammern wird langsam verändert, der unterschiedliche Luftdruck aufgezeichnet und daraus das Körpervolumen errechnet. Obwohl sich der Körper des Probanden nicht mehr wie beim Unterwasserwiegen vollständig unter Wasser befinden muss, ist diese Methode ebenfalls für Tiere ungeeignet, da In- und Expiration des Probanden gesteuert werden müssen.

Ein weiteres Verfahren basiert auf einer dreidimensionalen Bildrekonstruktion, die mithilfe eines Photonen-Scanners von der Körperoberfläche erstellt wird (Ellis, 2001). Vorteil gegenüber den beiden vorhergehenden Methoden ist, dass sich der Proband weder unter Wasser noch in einer engen Kammer befindet, was für die Tiermedizin eine entscheidende Rolle spielen könnte, ebenso wie die sehr kurze Scanzeit von nur ca. 15 Sekunden.

2.2.2.3. Verdünnungsanalyse – Total body water analysis (TBW)

Pace und Ratburn (1945) formulierten den Grundsatz, dass in gespeicherten Triglyceriden kein Wasser enthalten ist und die fettfreie Körpermasse einen relativ konstanten Wassergehalt von 73,2% beim Menschen aufweist. Dadurch lässt sich das Gesamtkörperwasser bestimmen und dieses wiederum als Index für die Körperzusammensetzung verwenden.

Bei der von Lukaski (1987) beschriebenen Isotopen-Verdünnungsmethode, werden Isotope von radioaktivem Deuterium und Tritium oder Sauerstoff verwendet, um den Wassergehalt des Körpers zu quantifizieren. Dabei wird von der Annahme ausgegangen, dass diese Isotope die gleichen Verteilungseigenschaften wie Wasser aufweisen, und im Körper in gleicher Weise dem Stoffwechsel unterliegen. Eine bestimmte Menge des radioaktiven Tracers wird oral oder intravenös verabreicht und nach einer gewissen Zeit der Verteilung im Körperwasser Proben gesammelt und

ausgewertet. Die Berechnung des Gesamtkörperwassers basiert auf folgender Gleichung: $C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$.

(C_1 =Konzentration des verabreichten Tracers, V_1 =Volumen des verabreichten Tracers; C_2 =Konzentration des Tracers in der Probe, V_2 =Volumen Körperwasser). Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass sich im Laufe des Wachstums eines Individuums dessen Anteil des Gesamtkörperwassers an der fettfreien Masse reduziert.

In der Tiermedizin wurde diese Methode unter anderem von Wamberg et al. (2002) an fünf adulten Hunden und Andrew et al. (1994) an 21 Holstein-Kühen in drei verschiedenen Stadien post partum verwendet. Johnson und Farrell (1988) untersuchten 169 Vögel mit unterschiedlichem Alter, Gewicht, Ernährungszustand, physiologischem Zustand und Genotyp mit beiden radioaktiven Tracern. Anschließend wurden die Tiere getötet und das Gesamtkörperwasser chemisch analysiert. TBW überschätzte das Gesamtkörperwasser mit 10,4 (Tritium-Wasser) und 8,5% (Deuterium-Oxid). Anhand einer Regressionsgleichung, die das Gewicht und den Verteilungsraum der Isotopen berücksichtigt, konnten mit der TBW genauere Aussagen bezüglich Gesamtkörperwasser, Körperfett und –protein gemacht werden.

2.2.2.4. Gesamt-Körper-Kaliumanalyse – Total Body Potassium Analysis (TBP)

Kalium ist ein essentielles Element im Körper, welches fast ausschließlich im intrazellulären Raum und nicht im gespeicherten Körperfett zu finden ist. Das radioaktive Kalium-40 Isotop emittiert eine charakteristische Gamma-Strahlung mit 1.46 MeV und hat einen festen Anteil von 0,012% des im Körper vorkommenden Gesamtkaliums. Durch Messung dieser vom Probanden ausgehenden Strahlung kann das Gesamtkörperkalium der fettfreie Masse bzw. des Magergewebes und mittels einer Gleichung der Fettgehalt bestimmt werden. Bei der Messung wird die vom Körper ausgehende Strahlung in einem von kosmischer und terrestrischer Strahlung abgeschirmten Raum mit einem speziellen Gammastrahlen-Detektor ermittelt (Lukaski, 1987).

An Nutztieren wurde die TBP bereits bei Mastochsen (Clark et al., 1976), Kühen (Belyea et al., 1978) und an Schweinen (Domermuth et al., 1976) durchgeführt.

Hinton et al. (1998) untersuchten mit dieser Technik 29 getötete Tauben (*Columba livia*) und bestimmten bei einer anschließenden Gesamtkörperanalyse nochmals den Magergewebeanteil, indem der Fettgehalt durch Extraktion mit Petroläther ermittelt wurde. Dabei konnte lediglich eine Korrelation von $r=0.51$ mit einem Absolutfehler von $14 \pm 7\%$ zwischen den ermittelten Magergewebeanteilen gefunden werden. Als Grund für diese schlechte Übereinstimmung wurde die geringe Körpergröße der Taube und damit ihr geringer Gehalt an K-40 angegeben, da eine Taube mit 500g Körpergewicht und 10% Körperfett nur 1g Gesamtkalium enthält.

2.2.2.5. Kreatininausscheidung

Endogenes Kreatinin wird durch nicht-enzymatische Hydrolyse von Kreatin und Phosphokreatin synthetisiert (Lukaski, 1987). Borsook und Dubnoff (1947) stellten fest, dass sich 98% der Kreatin Reserven in Form von Phosphokreatin im Skelettmuskel als Energiespeicher befinden. Zwischen 1.6 und 2.8% dieser Reserven werden täglich in Kreatinin umgewandelt und über die Niere ausgeschieden (De Campeneere, 2000). Für die Messung der Kreatininausscheidung wird Urin über einen Zeitraum von 24 Stunden gesammelt und mit der Gesamtmenge des darin enthaltenen Kreatinins lassen sich Rückschlüsse auf das Gesamtkreatin und somit auf die Gesamtmuskelmasse ziehen. Die durchgeführten Studien zum Einfluss der Nahrungszusammensetzung auf die Kreatininausscheidung führten zu unterschiedlichen Ergebnissen. Während Dinning et al. (1949) keinen Zusammenhang zwischen der täglichen Proteinaufnahme und der Kreatininausscheidung nachweisen konnten, sieht DelGuidice et al. (1995) einen Einfluss durch unterschiedliche Kreatin- und Kreatininquellen wie z.B. Fleisch in der Ration, und Bleiler und Schedl (1962) konnten die Kreatininexkretion durch fleischfreie Diät über einen Zeitraum von mehreren Wochen um 13% senken. Außerdem konnte eine große individuelle Variation in der täglichen Kreatininausscheidung bedingt durch physiologische Faktoren wie Alter, Geschlecht und Aktivitätsniveau und krankhafte Zustände wie der Niereninsuffizienz festgestellt werden. De Campeneere et al. (1999) evaluierten die Kreatininausscheidungs-Methode an 18 Bullen der Rasse Weiß Blauer Belgier, wobei sie unter anderem zu dem Schluss kamen, dass die Kreatininkonzentration bei dieser Rasse physiologisch sehr hoch ist, was nicht nur mit dem höheren Proteingehalt im Fleisch erklärt werden

kann. Eine Studie, um den Zusammenhang zwischen der Kreatininausscheidung und der mit chemischer Analyse bestimmten Körperzusammensetzung von 65 Schafen zu erschließen, wurde von Niekerk et al. (1963) durchgeführt. Hier bestand eine hohe Korrelation zwischen dem Wasser- und Proteingehalt und der fettfreien Masse der ausgeweideten Tierkörper und dem Kreatiningehalt im Urin, unabhängig vom Alter (Versuchstiere zwischen 4 und 27 Monate alt), der Ration und der Größe der Tiere.

2.2.2.6. Elektrische Leitfähigkeit – Electrical Conductance

2.2.2.6.1. Bioelektrische Impedanz Analyse (BIA)

Mit der BIA können auf der Basis des Drei-Komponenten-Modells Gesamtkörperwasser, fettfreie Masse und daraus abgeleitet die Gesamtkörpermasse bestimmt werden. Diese Technik beruht auf der Leitfähigkeit einer angelegten Wechselspannung im Organismus. Dabei werden zwei Elektroden am Körper angebracht und der Spannungsabfall zwischen diesen ist proportional zum Flüssigkeitsvolumen im Körperteil (Ellis, 2001). Die Leitfähigkeit ist abhängig vom Gehalt an Wasser und Elektrolyten im jeweiligen Gewebe. Fettfreie Masse, eingeschlossen die Proteinmatrix des Fettgewebes, enthält große Mengen an Wasser und Elektrolyten und ergibt im Gegensatz zum Fettgewebe eine niedrige Impedanz (Lukaski, 1987). Die Impedanz (Z) ist der komplexe elektrische Widerstand eines Wechselstromkreises, der sich aus dem kapazitiven (Reactance) und dem Ohmschen Widerstand (Resistance) zusammensetzt. Der kapazitive Widerstand wird durch die Zellmembranen charakterisiert und ist somit ein Maß für die Körperzellmasse. Der Ohmsche Widerstand ist der reine Widerstand des Leiters gegen den Wechselstrom und ist umgekehrt proportional zum Gesamtkörperwasser (Kushner, 1992; Heymsfield et al., 1997). Elliott et al. (2002) evaluierten die Multifrequenz - BIA an 56 gesunden Katzen, um deren Gesamtkörperwasser und Extrazellulärflüssigkeit zu ermitteln und verglichen die Ergebnisse mit denen der Deuteriumoxid-Verdünnungsanalyse. Laut dieser Studie ist die Multifrequenz – BIA eine genaue, einfache, relativ kostengünstige, mobile und im Klinikalltag gut zu integrierende Methode für diese Tierart.

2.2.2.6.2. Gesamtkörperleitfähigkeit - Total Body Electrical Conductivity (TOBEC)

TOBEC wurde Anfang der 1970er Jahre eingeführt und basiert auf der Grundlage des Zwei-Komponenten-Modells, mit der sowohl die Körperfettmasse als auch die fettfreie Masse bestimmt werden kann. Man geht davon aus, dass die Leitfähigkeit eines Gewebes vom Wasseranteil, der freien Elektrolytkonzentration, der Temperatur und der Frequenz des Stroms abhängig ist (Robin et al., 2002). Die elektrische Leitfähigkeit von Magergewebe ist zwanzigmal höher als die von Fettgewebe, da Magergewebe eine höhere Wasser- und Elektrolytkonzentration aufweist. Die Methode basiert auf dem so genannten Harker-Prinzip: Mit Hilfe einer Magnetspule wird ein elektromagnetisches Feld erzeugt und in den leitenden Teilen des Körpers ein Strom induziert. TOBEC misst die absorbierte Energie, die bei der Induktion von Strom in Form von Wärme freigesetzt wird. Mit der vereinfachten Annahme, dass der Körper dem Volumen eines Zylinders entspricht, können die einzelnen Kompartimente des Körpers berechnet werden (Presta et al., 1983). Walsberg (1988) führte erstmals Versuche an Vögeln unterschiedlicher Größe und verschiedenen Säugetieren durch, um deren fettfreie Körpermasse mit TOBEC zu bestimmen. Dessen Studien wurden von Castro et al. (1990) an wildlebenden Vögeln fortgeführt. Sie kamen unter anderem zu dem Schluss, dass TOBEC richtige Ergebnisse für die Bestimmung der fettfreien Körpermasse bei Vögeln gleicher Spezies in einem relativ engen Gewichtsbereich liefert und sich die Werte von lebenden Vögeln signifikant von denen der getöteten unterscheiden. Die Genauigkeit dieser Methode validierten Asch und Roby (1995) bei Vögeln mit unter 100g Lebendmasse (Hausspatzen und Europäische Stare) als Verlaufsuntersuchung ihrer Fettreserven. Dabei konnte TOBEC deren Veränderungen des Körperfettgehalts, vor allem bei größeren Differenzen bis zu 100%, nicht genau ermitteln, da die Sensitivität dieser Methode mit dem Verhältnis Körpergröße zu Kammergröße des Apparates positiv korreliert.

2.2.2.7. Ultraschografie

Ultraschall ist ein Schall mit Frequenzen ab 20 Hz bis 1GHz, und damit für das menschliche Gehör nicht wahrnehmbar. In der Diagnostik verwendet man Frequenzen zwischen 1 und 40MHz. Mit einem Ultraschallgerät wird elektrische Energie in hochfrequente Ultraschallenergie umgewandelt, die den Körper mit Hilfe kurzer Pulssequenzen durchdringen kann. Ultraschallwellen werden mit in einer

Sonde angeordneten Kristallen durch den so genannten piezoelektrischen Effekt erzeugt und als Echo wieder registriert. An Grenzflächen zweier Stoffe bzw. Gewebe mit großem Impedanzunterschied wird der Schall stark reflektiert. Die erste angewandte Darstellungsform war der A-Mode (A steht für Amplitudenmodulation), bei dem das von der Sonde empfangene Echo in einem Diagramm als Linie dargestellt wird, während beim B-Mode (B ist brightness modulation) ein zweidimensionales Bild erzeugt wird (Giese, 1997; Lukaski, 1987). Daraus wurden weitere Formen wie der 2D-Echtzeitmodus, der M-Modus und das Doppler-Verfahren entwickelt, das ebenfalls in der Tiermedizin im Bereich der Kardiologie Einzug gehalten hat. Neben dem Einsatz in der bildgebenden Diagnostik wird Ultraschall auch in der kurativen Praxis unter anderem zur Konditionsbeurteilung von Milchkühen bei der Rückenfettdickenmessung eingesetzt. Farhat und Chavez (2000) nutzten Ultraschall bei der Messung der Brustmuskeldicke von Pekinger Zuchtlinien zweier verschiedener Zuchtlinien mit jeweils gemischter und nach Geschlechtern getrennter Aufzucht.

2.2.2.8. Computertomografie (CT)

Bei der Untersuchung mit dem CT liegt der Proband in einer Röhre, die um dessen Körper rotiert und dabei kontinuierlich Röntgenstrahlen aussendet, die direkt gegenüber der Austrittsstelle von einem Detektor erfasst werden. Wenn die Strahlen auf Gewebe treffen, werden sie unterschiedlich stark abgeschwächt und gestreut. Die Daten werden mittels eines mathematischen Verfahrens zu einem Volumendatensatz zusammengefügt, aus dem Schnittbilder und 3D-Ansichten rekonstruiert werden. Auf diese Weise kann für jedes Volumenelement des Objektes, dem so genannten Voxel (entspricht dem dreidimensionalen Pixel) eine Dichte ermittelt werden. Die Graustufe eines Voxels wird mit Hounsfield-Einheiten angegeben, die spezifisch für bestimmte Gewebe(-bestandteile) wie Wasser, Knochen, Fett usw. sind (Heymsfield et al., 1997; Ellis, 2000). Bronøe und Kolstad (2000) untersuchten die Entwicklung der Körperzusammensetzung (Fett, Muskelmasse und Knochen) zwischen der 4. bis 17. Lebenswoche an männlichen und weiblichen Tieren zweier kommerzieller Putenlinien (Nicholas und BUT-9). Bei beiden Linien und Geschlechtern konnte ein signifikanter Anstieg des Gehalts an Fett und Muskelmasse und ein signifikanter Abfall des Knochenanteils während der Wachstumsperiode gemessen werden. Die Tiere der BUT-9 Linie erreichten einen

höheren Fleischanteil (bis 3%) in jeder Alterstufe, während Nicholas zu einem höheren Fettansatz und niedrigerem Knochenanteil in Woche 8-17 tendierten. Ab der 8. Woche waren das Körpergewicht und der Fleischanteil bei den männlichen Tieren beider Linien höher als bei den weiblichen Puten, die ab diesem Zeitpunkt einen prozentual immer höher werdenden Fettanteil aufwiesen. Tataru (2005) führte eine Messung der Mineralisation und mechanischen Stabilität von Femur und Tibia von 33 Puten durch. Nach der Schlachtung der Tiere in der 19. Mastwoche wurde die Dichte mithilfe der CT gemessen und weitere mechanische Tests durchgeführt, bei denen die Tibia sich insgesamt durch eine höhere mechanische Stabilität und Knochenmineraldichte gegenüber dem Femur auszeichnete.

2.2.2.9. Magnetresonanztomografie – Magnetic Resonance Imaging (MRI)

Die physikalische Grundlage der MRI bildet die Kernspinresonanz. Neutronen und Protonen können einen Eigendrehimpuls (Spin) besitzen und sich daher die Atomkerne wie kleine Magneten verhalten. Wird ein externes Magnetfeld um den Körper aufgebaut, richten sich die Kerne nach diesem Feld aus und einige nehmen nach Anregung mit einem Hochfrequenzimpuls Energie auf. Wird dieser Impuls abgeschaltet, fällt der Kern in seine ursprüngliche Lage zurück und gibt die aufgenommene Energie als Strahlung ab, was als Signal von Empfängermagnetspulen aufgefangen und von einem Computer in ein Bild transformiert wird (Kaufmann et al., 1981). Die Intensität des Signals ist abhängig von dem zugrunde liegenden Gewebe und der Relaxationszeit T (Zeit die der Atomkern benötigt um in die Ausgangsposition zurückzukehren), die als longitudinale (T1) und transversale (T2) Relaxationszeit gemessen werden kann. T1 ist abhängig von der Bindung des jeweiligen Elements an seine Umgebung. Da Wasserstoff das am häufigsten vorkommende Element im Körper ist und der Kern aus nur einem Proton besteht und deshalb am sensibelsten auf das Anlegen eines Magnetfelds reagiert, wird H-1 bevorzugt für die MRI herangezogen (Lukaski, 1987; Heymsfield et al., 1997). Mitchell et al. (1991) prüften die Anwendung der MRI bei Hühnern und Puten und verglichen die Ergebnisse mit denen der chemischen Analyse. MRI kann zur Messung der Dicke des Musculus pectoralis beim Huhn verwendet werden und erlaubt eine Verlaufsuntersuchung von dessen Wachstum und Entwicklung. Integrale für Fett, Wasser und Protein wurden mit der chemischen Analyse kontrolliert und bei Puten zwischen 115 und 630g (n=6) eine hohe Übereinstimmung festgestellt.

Ebenfalls eine Messung der Größe und Form des Pectoralisk Muskels mit MRI nahmen Scollan et al. (1998) bei Hühnern mit einem Körpergewicht von 362-1643g vor. Für das Verhältnis von Muskelmasse, Körpermasse und Muskelvolumen wird eine Korrelation von $R= 0.92-0.99$ angegeben.

2.3. Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)

2.3.1. Entwicklung der Technik

Die Möglichkeit monoenergetische Strahlung aus einer Radionuklidquelle zu generieren, führte zur Entwicklung der Single Photon Absorptiometrie (SPA). Dieser liegt eine einfache Theorie zugrunde: Der Knochenmineralgehalt ist direkt proportional zum Gehalt an Photonenenergie, die vom Knochen absorbiert wird. Diese Methode, bei der eine einfache Radionuklidquellen wie I-125 oder Am-125 verwendet wird, wurde 1963 erstmals von Cameron und Sorenson beschrieben. Ein Nachteil der SPA besteht darin, dass der Knochen von einem Weichgewebe mit konstanter Dicke umgeben sein muss, weshalb die Messung nur an bestimmten Regionen des Körpers mithilfe von Wasserbädern oder Gewebsäquivalenten möglich ist (Lukaski, 1987). Daraus entstand die Dualphotonen-Absorptiometrie (DPA), bei der es möglich ist, neben dem Knochenmineralgehalt auch den Magergewebegehalt zu messen. Hier wird eine Radionuklidquelle wie G-153 mit zwei Hauptphotonen-Peaks bei zwei diskreten Energieniveaus (Peppler und Mazess, 1981) eingesetzt. In den späten 1970ern wurden die Radionuklide durch einen Röntgenerators ersetzt, der Röntgenstrahlen mit einem breiten Spektrum von Photonenenergieniveaus emittiert und dieses Verfahren als Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bezeichnet. Es werden verschiedene Verfahren, wie z.B. Photonenfilter genutzt, um aus diesem Spektrum zwei Hauptenergiewippen zu erzeugen. Die Vorteile der DXA gegenüber der DPA liegen in der höheren Präzision, einer kürzeren Scanzeit und einer geringeren Strahlendosis (Sartoris und Resnick, 1989). Das erste kommerzielle DXA-System war im Jahr 1987 erhältlich. Der zunächst verwendete punktförmige Röntgenstrahl (pencil beam) mit einem Detektor wurde von einem fächerförmigen Röntgenstrahl (fan beam) mit mehreren Detektoren abgelöst. Damit können alle Pixel auf einer Linie gleichzeitig erfasst werden und so die Scanzeit und

Bewegungsartefakte minimiert werden. Ellis und Shypailo (1998) verglichen die Messung mit "pencil beam" und "fan beam" zur Untersuchung des Knochenmineralgehalts und der Körperzusammensetzung von 33 Kindern und 14 Erwachsenen. Es wurde bei allen Werten (BMC, BMD, Fett, Magergewebe und Gesamtkörperfett(%)) eine hohe Übereinstimmung von $r^2 = 0.98-0.99$ zwischen beiden Instrumenten des gleichen Herstellers ermittelt. Bei den Absolutwerten wurden jedoch Differenzen von bis zu 19% (Körperfett) gemessen. Daher empfehlen die Autoren für den Einsatz in Langzeitstudien zur Ermittlung von geringen Veränderungen der Körperzusammensetzung bei einem Patienten die Verwendung des gleichen DXA-Gerätes. Fan-Beam-Geräte sollen, kombiniert mit einer neuen Software, eine exaktere Bestimmung der Körperzusammensetzung, speziell beim Kleintier gewährleisten (Bertin et al., 1998). Inzwischen gibt es vier bekannte Hersteller von DXA-Geräten, die eine Ganzkörperuntersuchung zulassen: GE Lunar, Hologic, Norland Systems und Medilink.

2.3.2. Physikalische Grundlagen und Funktionsweise

Auf der Grundlage des Dreikompartimenten-Modells kann mithilfe von DXA die Gesamtkörperfettmasse, die fettfreie Körpermasse und die Knochenmineraldichte bestimmt werden. Die von einer Röntgenquelle ausgehenden Strahlen bestehen aus einem breiten Spektrum von Photonenenergieniveaus in einem Bereich von 15keV bis 80keV. DXA arbeitet mit Röntgenstrahlen in zwei Hauptenergiebereichen bei z.B. 40keV und 70keV. Diese werden mithilfe von Cerium- oder Samarium-Photonenfiltern oder elektrischen Impulsen der Röntgenquelle geschaffen. Treffen Photonen von Röntgenstrahlen auf einen Körper, kollidieren sie mit den orbitalen Elektronen des Absorbanten. Einige Photonen verlieren dabei einen Anteil ihrer Energie an die Elektronen (Comptoneffekt) und andere, die auf Orbital-Elektronen mit sehr festen Bindungen treffen, verlieren ihre Energie gänzlich an diese (photoelektrische Kollision) (Pietrobelli et al., 1996). Die Energie der Photonen sinkt exponentiell mit der Zunahme der Schichtdicke des Absorbanten. Der Abschwächungsgrad ist unter anderem abhängig vom initialen Energieniveau des Photons, dem linearen Schwächungskoeffizient und der Strecke, die das Photon zurücklegt. Jede Substanz besitzt einen spezifischen linearen

Schwächungskoeffizient, der von ihrer Dichte abhängig ist. Elemente mit niedriger Ordnungszahl wie Wasserstoff und Kohlenstoff führen zu einer geringeren Abschwächung der Photonen als Elemente mit vielen Elektronen in der Atomhülle (z.B. Ca, P). Deshalb weisen Weichgewebe, die aus Wasser und organischen Komponenten bestehen grundsätzlich niedrigere Schwächungskoeffizienten als Knochengewebe auf (Lukaski, 1993). Der Massenschwächungskoeffizient wird durch Division des linearen Schwächungskoeffizienten durch die Dichte der jeweiligen Substanz errechnet. Für jedes Element und jedes Energielevel existiert ein Massenschwächungskoeffizient (Pietrobelli et al., 1996). Da beim DXA-Verfahren wie oben beschrieben zwei Energieniveaus verwendet werden, kann der R-Wert errechnet werden: Massenschwächungskoeffizient des niedrigen Energieniveaus durch den des höheren Energieniveaus (Gottfredsen et al., 1986). Wird mittels DXA ein drei-dimensionaler Absorband gescannt, ergibt sich ein zwei-dimensionales Bild, das sich aus verschiedenen Pixeln zusammensetzt. Die Masse an Absorband pro Pixel (1cm^2) wird als Masse pro Flächeneinheit bezeichnet. Diese wiederum berechnet sich aus dem bekannten Massenschwächungskoeffizienten und der Energie der initiierten und abgeschwächten Strahlung (Blake und Fogelman, 1997). Jeder Pixel wird als Zwei-Komponenten-Mix betrachtet. Um mit DXA die drei Komponenten abschätzen zu können, müssen die Bildpunkte aufgeteilt werden, in Pixel, die nur Weichgewebe (Fett und Magergewebe) und Pixel, die sowohl Weichgewebe als auch Knochenmineralstoffe (Rohasche oder intakter Knochen) enthalten. Hier wird der R-Wert herangezogen, da dieser mit $>2,8$ für Knochengewebe deutlich höher ausfällt als für Weichgewebe (Fettgewebe $\sim 1,2$ und reines Magergewebe $\sim 1,35$) (Pietrobelli et al., 1996; Heymsfield et al., 1997). Würde man alle drei Komponenten gleichzeitig messen wollen, müsste Strahlung auf drei verschiedenen Energieniveaus verwendet werden.

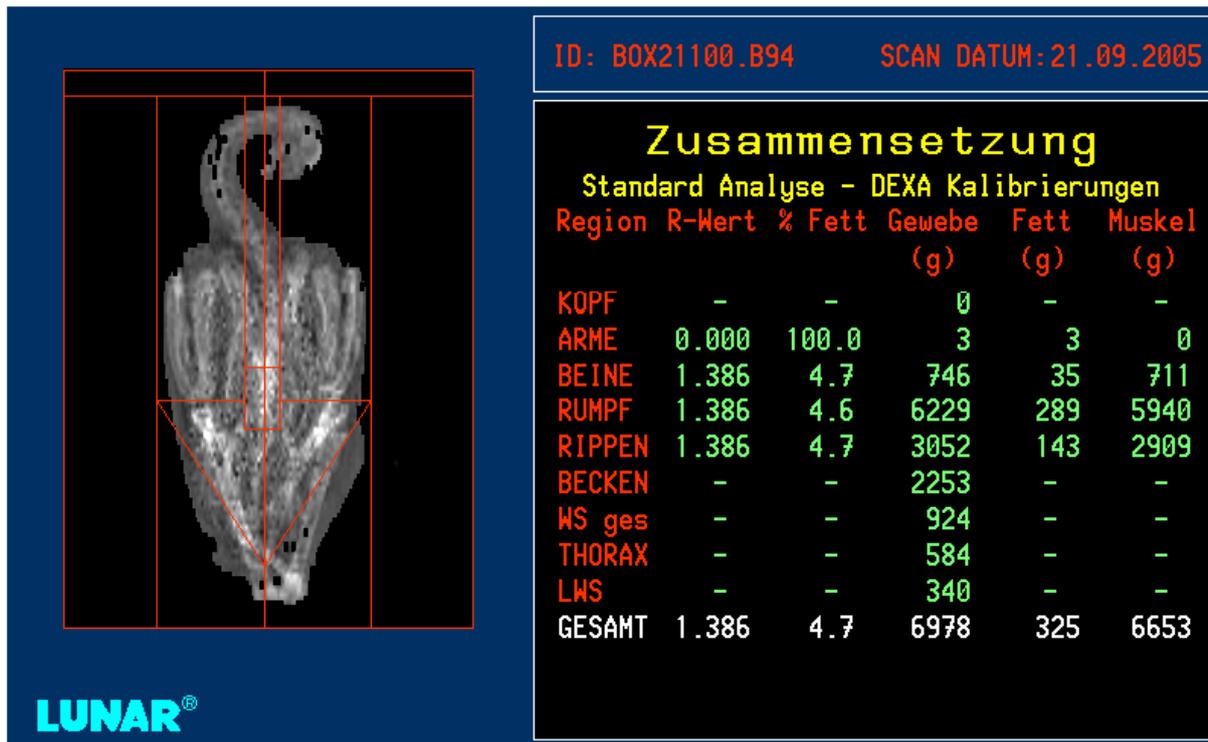


Abb. 2.3.2. Ausgewertetes Bild eines DXA-Scans bei der Pute, übernommen aus Schöllhorn (2007)

2.3.3. Durchführung der Messung

Zu Beginn jedes Messtags muss z.B. bei GE-Lunar-Geräten mit einem geeichten Hartplastikquader eine Qualitätsüberprüfung der Messeigenschaften des DXA-Geräts erfolgen. Anschließend wird der Proband auf dem Scannertisch in einer vorgegebenen Position gelagert. In dieser Untersuchung wurden die Tiere mit der Körpermedianen (Brustbein-Wirbelsäule) in der gekennzeichneten Mitte des Tisches platziert. Durch die Verwendung eingefrorener Puten war der Kopf meist unter dem rechten Flügel positioniert. Metallteile sollen vor dem Scan entfernt werden, da sie Röntgenstrahlen stark absorbieren und so zur Verfälschung der Messwerte führen. Der Untersucher kann sich während der Messung im selben Raum aufhalten und muss nur einen Sicherheitsabstand von 1m um das Gerät einhalten, da außerhalb dieses Radius keine über das natürliche Maß hinausgehende Strahlung nachweisbar ist.

Der Aufbau ist bei allen Geräten prinzipiell gleich.

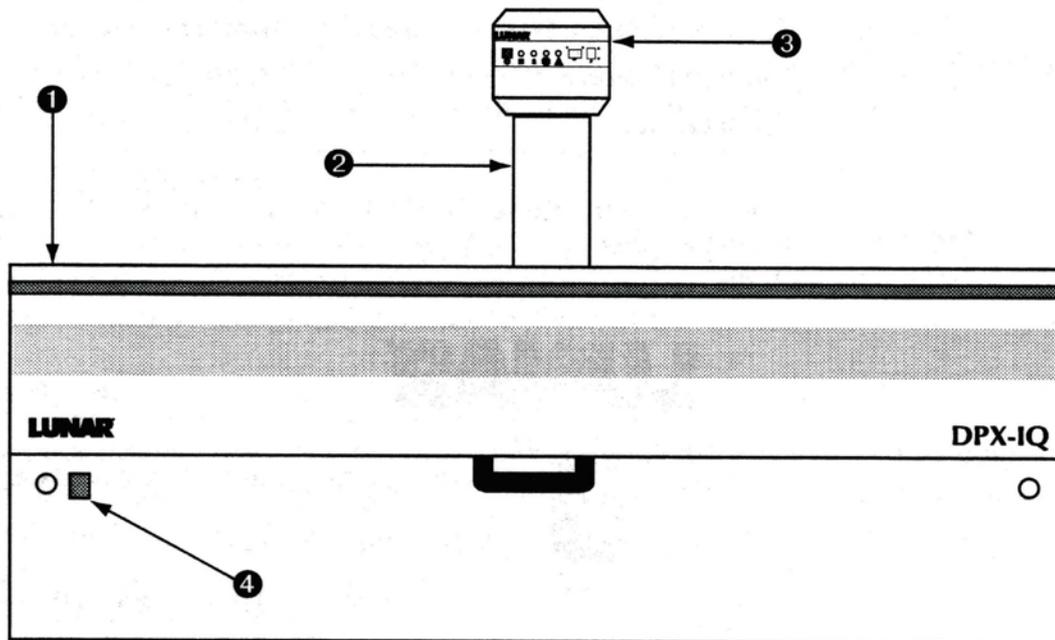


Abb. 2.3.3. Scannertischeinheit mit Scannertisch (1), Scannerarm (2),
Bedienungsfield (3) und Netzschalter (4)
(Lunar® DPX-IQ Bedienungshandbuch)

2.3.4. DXA beim Menschen

DXA wird in der Humanmedizin in vielen Bereichen eingesetzt. Die Technik erlaubt eine schnelle, nicht-invasive, relativ kostengünstige und präzise Messung der Körperzusammensetzung. Die Haupteinsatzgebiete liegen in der Osteoporosediagnostik, Verlaufsdagnostik von Bruchheilung und der periprothetischen Knochenmineralmessung (Grier et al., 1996).

Arlot et al. (1997) publizierten eine Studie über den prä- und postmenopausalen Knochenschwund bei Frauen zwischen 31 und 89 Jahren an verschiedenen Skelettteilen. Der Anteil der Frauen, die laut WHO als an Osteoporose erkrankt eingestuft werden, war gemessen am Femur mit 37-47% am höchsten. DXA findet ebenfalls Anwendung bei der Untersuchung von Stoffwechselerkrankungen und ernährungsbedingten Erkrankungen wie Adipositas. Die Vermehrung von abdominalem Fettgewebe wird mit einem erhöhten Risiko für eine Erkrankung an Diabetes, Schlaganfall und koronaren Herzerkrankungen in Verbindung gebracht. Glickman et al. (2004) validierten die Anwendung von DXA mit dem Gerät Lunar

DPX-IQ zur Messung des Gesamtkörperfettgehalts und des abdominalen Fettgehalts in einem genau definierten Untersuchungsbereich: ROI-Bereich (Region of interest) von L1-L4 bei 65 Männern und Frauen (18-72 Jahre alt). Im Vergleich zum CT unterschätzte DXA sowohl Gesamtkörperfett als auch abdominales Fettgewebe. Die Messung der Körperzusammensetzung spielt in der Neonatologie eine wichtige Rolle, um die Entwicklung und das Wachstum von prämaturn geborenen Säuglingen beurteilen zu können. Da in vorhergehenden Untersuchungen der Knochenmineralgehalt von Kleinkindern von DXA richtig erfasst, der Fettgehalt jedoch überschätzt wurde, führten Rigo et al. (1998) eine Studie zur Festlegung von Referenzwerten für diese Gruppe durch. Die bei 106 gesunden prämaturn und matur geborenen Säuglingen gemessenen Knochenmineral- und Fettgehalte wurden mit denen von zuvor erfassten Ferkeln verglichen und korrigiert.

2.3.5. DXA beim Kleintier

Auf dem Kleintiersektor wurde DXA bereits bei verschiedenen Tierarten, vor allem Labortieren wie Maus, Ratte und Kaninchen eingesetzt.

Bei der Maus liefert DXA, wie auch bei anderen Tierarten, reproduzierbare aber nur teilweise richtige Ergebnisse, was mit der Kalibrierung der Geräte für die jeweilige Tierart in Zusammenhang gebracht wird. Brommage (2003) untersuchte männliche Mäuse mit einem Gewicht zwischen 26 und 60g bei einem Gesamtkörperfettanteil von 3 bis 49% mit PIXImus2 DXA und der chemischen Analyse. DXA überschätzte den Fettgehalt um durchschnittlich 3g. Nach einer Kalibrierung auf den Gesamtkörperfettgehalt der Maus, gemessen anhand der chemischen Analyse lieferte DXA richtige Ergebnisse für die Gesamtkörperzusammensetzung der Maus. Bertin et al. (1998) untersuchten die Anwendbarkeit von DXA bei Ratten und verglichen die Ergebnisse mit denen der chemischen Analyse. Sie kamen zu dem Schluss, dass DXA eine zufrieden stellende Möglichkeit ist, die Körperzusammensetzung bei der Ratte, auch in Langzeituntersuchungen, mit einer sehr guten Richtigkeit im Vergleich mit der chemischen Analyse, zu bestimmen. Eine Studie mit 10 Katzen und 6 Hunden mit einem Körpergewicht zwischen 1.8 und 22.1 kg führten Speakman et al. (2000) durch. Ziel war die Validierung der DXA-Methode bei Hund und Katze durch den Vergleich mit der chemischen Analyse.

Nachdem die Tierkadaver mit einem Pencil-beam DXA Gerät (Hologic QDR-1000W) gescannt wurden, fand eine Zerlegung in 22 Komponenten und eine chemische Analyse statt. Die von DXA ermittelten Werte stimmten sehr genau mit den zuvor gemessenen Werten der chemischen Analyse überein (Gewicht $r=1.0$, Magerweichgewebe $r=0.99$ und Fett $r=0.98$). Jedoch ergaben sich starke individuelle Diskrepanzen bei LEAN und FAT, die mit dem Fettgehalt des Skelettmuskels und dem Magergewebegehalt des mesenterialen Fettgewebes korrelierten. Fehler bei der Einschätzung des Fettgehaltes wurden dem individuellen Hydrierungsgrad des Skelettmuskels zugeschrieben. Es bestand eine positive Beziehung zwischen BMC und dem Aschegehalt des Gesamtkörpers bei der chemischen Analyse ($r=0.95$). Im Durchschnitt unterschätzte DXA den Aschegehalt jedoch um 23,5%, was unter anderem damit begründet wird, dass Asche nicht nur Bestandteil des Knochenminerals ist. Durch einen internen Software-Modus erkennt DXA Knochenmineral nur als solches, wenn es als Knochen in einem größeren zusammenhängenden Bereich abgebildet wird.

Beim Meerschweinchen wurde von Fink et al. (2002) eine Studie zur Messung der Knochenparameter BMD und BMC mit tragbaren DXA-Geräten vorgestellt und deren Richtigkeit und Exaktheit überprüft. Es wurden wiederholt Scans an 30 Hintergliedmaßen (in situ) und isolierten Knochen dieser Gliedmaßen (ex situ) durchgeführt. Neun genau definierte Untersuchungsbereiche (ROIs=Regions Of Interest) wurden jeweils doppelt für BMD und BMC von drei verschiedenen Untersuchern analysiert. Bei fünf Tieren wurde die Korrelation von DXA mit der Veraschung von Knochen bzw. Knochensegmenten für BMC ermittelt. Die Autoren stellten fest, dass DXA genaue BMC-Messergebnisse auch bei kleinen Tieren liefert. Die Genauigkeit der Messungen für BMC und BMD kann verbessert werden, indem definierte ROIs vom Untersucher möglichst genau eingehalten werden. Castañeda et al. (2006) verwendeten Kaninchen als Modelltiere für die Osteoporoseforschung. BMC und BMD wurden an vier Knochenpunkten (Lendenwirbelsäule, Trabekular-, Cortical- und Subchondralknochen des Knies) von 29 weiblichen Tieren ermittelt. An den Kaninchen wurde eine bilaterale Ovariectomie durchgeführt, der eine vierwöchige postoperative Kortikosteroidgabe folgte. Kaninchen reagieren aufgrund ihres hohen Knochenstoffwechsels schnell auf diese Behandlung. Die Werte für Knochenmineraldichte, die an den vier Knochenpunkten gemessen wurden, korrelierten stark untereinander. BMD gemessen an den Kaninchen mit induzierter

Osteoporose war an allen vier Knochenpunkten signifikant niedriger als bei einer Kontrollgruppe. Außerdem wurde bei zehn Kaninchen eine dreimalige Wiederholung der DXA Messung mit einer niedrigen Variation von 2,6-3,8% durchgeführt. Die Autoren stellten fest, dass DXA eine praktikable und präzise Methode zur Messung der Knochenmineraldichte beim Kaninchen ist.

Black et al. (2001) verglichen ebenfalls DXA mit der chemischen Analyse und führten Untersuchungen an 10 Rhesus Affen durch. DXA erreichte ein hohes Bestimmtheitsmaß ($r^2 > 0.95$) bei der direkten Analyse von FAT, LEAN und BMC der Lendenwirbelsäule. Der Ganzkörper-BMC wurde von DXA um durchschnittlich 15% gegenüber dem chemischen Verfahren unterschätzt.

2.3.6. DXA beim Schwein

Es liegen zahlreiche Studien zur Untersuchung der Körperzusammensetzung beim Schwein vor, da diese teilweise als Alternative zum Humanversuch herangezogen werden (Rigo et al., 1998; Brunton et al., 1993).

In der Mehrzahl der durchgeführten Studien am Schwein korrelieren die Fettgehalte der DXA-Messung hoch mit denen der chemischen Analyse. (Svendsen et al., 1993; Mitchell et al., 1996).

Brunton et al. (1993) untersuchten 2-20 Tage alte Ferkel eingeteilt in zwei Gewichtgruppen: „klein“ mit durchschnittlich 1.6kg und „groß“ mit 6,0kg. In der Gruppe der großen Ferkel lieferte DXA exakte Werte gegenüber der chemischen Analyse für BMC, LEAN und FAT, in der Gruppe „klein“ jedoch nur für LEAN. Hier überschätzte DXA den Fettgehalt bei zwei Tieren und unterschätzte BMC bei drei Tieren. Die Ferkel wurden als Modelltier zur Ermittlung von Referenzwerten für DXA bei Säuglingen herangezogen. Laut Pintauro et al. (1996) ist DXA hingegen nicht in der Lage, direkt korrekte Werte für Fett- und Magerweichgewebe zu ermitteln und es müssen Referenzgleichungen herangezogen werden, um diesen Fehler zu eliminieren. Die Autoren untersuchten 18 Schweine im pädiatrischen Gewichtsbereich von $25,5 \pm 7.0$ kg mit unterschiedlichen Scanmodi bei einer Wiederholung. Anschließend wurden die Tiere getötet und chemisch analysiert. Die Ergebnisse für Fett- und Magerweichgewebe korrelierten hoch zwischen DXA und der Referenzanalyse ($r < 0.98$). Jedoch unterschieden sich für Magerweichgewebe im

„pediatric-mode“ und für Fettgewebe im „adult-“, und „pediatric-mode“ die Absolutwerte signifikant. Die Wiederholbarkeit für die Messungen von Fett- und Magerweichgewebemasse war für beide Scanmodi sehr gut.

Studien zur Ermittlung der Körperzusammensetzung bei kleinen Schweinen zur Evaluierung der DXA-Methode beim Säugling und Kleinkind wurden ebenfalls von Ellis et al. (1994) und Picaud et al. (1996) durchgeführt. In diesen Untersuchungen konnte DXA mit hoher Korrelation zur chemischen Analyse das Gesamtkörperfett ermitteln. Bei der Messung der Absolutwerte für Fett traten hingegen wie bei den Studien von Pintauro et al. (1996) und Brunton et al. (1993) Fehler auf. Mitchell et al. (1998) wollten in einem Versuch mit 97 Tieren mit einem Lebendgewicht von 5 bis 27kg den Grund dieser Diskrepanzen ermitteln. Nach dem Scan und der Tötung der Schweine folgte die chemische Analyse. DXA ergab bei der Bestimmung des Fettgewebeanteils signifikant niedrigere Werte ($6,9 \pm 0,33\%$) gegenüber der chemischen Analyse ($10,9 \pm 0,31\%$) mit einer Korrelation von 0,86 für den Fettgewebeanteil und 0,96 für die Fettgewebsmasse. Im Gegensatz dazu wurde für das Magerweichgewebe mit 0,99 eine sehr gute Korrelation erreicht (Körperwasser $r = 0,99$; Protein $r = 0,94$). Für die Prozentangaben der Körperzusammensetzung wurden Regressionsgleichungen verwendet. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass mithilfe einer genauen Kalibrierung anhand der chemischen Analyse exakte Werte für die Bestimmung des Fettgehalts bei Schweinen in diesem Gewichtsbereich ermittelt werden können. Wird das Alter und der Entwicklungsgrad des Tieres für den Wassergehalt im Magergewebe berücksichtigt, können ebenfalls richtige Werte für den Wasser- und Proteingehalt errechnet werden.

Mitchell et al. (1996) evaluierten DXA mit einem Scanner des Herstellers Lunar (DPX-L) an 48 weiblichen Schweinen (10,2-60,5kg) post mortem mit einer anschließenden chemischen Untersuchung. Der durchschnittliche Gesamtkörperfettanteil ($18,2 \pm 9\%$) gemessen mit DXA unterschied sich nicht signifikant von den Ergebnissen der Referenzanalyse ($17,8 \pm 6\%$). In dieser Untersuchung konnte auch für die Absolutwerte von Gesamtkörperfett eine hohe Korrelation für beide Untersuchungsmethoden ($r = 0,989$) ermittelt werden. Jedoch errechnete DXA bei fetten ($>20\%$ Fettgehalt) höhere und mageren Tieren ($<20\%$ Fettgehalt) niedrigere Messwerte für den Gesamtkörperfettgehalt. Außerdem wurde eine regionale Analyse der Vorder- und Hinterextremitäten durchgeführt, wobei für die Hinterextremitäten eine höhere Übereinstimmung mit der chemischen Analyse als

für die Vorderextremitäten beschrieben wird. Laut Mitchell et al. (1996) ist es generell schwierig, die von DXA ermittelten Werte für Magerweichgewebe mit denen der chemischen Analyse einer bestimmten Körperregion zu vergleichen. Außerdem sind noch weitere Studien zur Kalibrierung beim Schwein nötig, um Aussagen über den tatsächlichen Fett- und Magergewebeanteil des Schinkens oder der Schulterregion treffen zu können.

Svendsen et al. (1993) publizierten eine Studie zur Überprüfung der Richtigkeit von DXA mit einem Scanner des Herstellers Lunar bei der Messung der Körperzusammensetzung von 7 Schweinen in vivo (Gewicht: 35-95kg). Diese wurden post mortem homogenisiert und der chemischen Analyse unterzogen. Es wurde eine hohe Übereinstimmung zwischen den Messmethoden für Fett und Magergewebe erreicht ($r > 0,97$). Auch Veränderungen bei Fett und Magergewebe, simuliert an einem Modell mit 8,8kg Schweineschmalz, aufgebracht auf den menschlichen Körper konnte DXA für FAT und LEAN exakt erkennen. Allerdings wurde die Messgenauigkeit von BMC durch die aufgetragenen Schichten Schmalz signifikant verschlechtert ($P < 0,05$).

2.3.7. DXA beim Wiederkäuer

Clarke et al. (1999) verwendeten die DXA-Methode beim Schaf an 24 gefroren Körperhälften, die dann in Muskel-, Fett- und Knochenbestandteile zerlegt und der chemischen Analyse unterzogen wurden. Die Autoren konnten ein hohes Bestimmtheitsmaß für FATPC ($r^2 = 0,92$), FAT ($r^2 = 0,97$), LEAN ($r^2 = 0,98$) und das Gesamtgewicht ($r^2 = 0,99$) ermitteln. DXA unterschätzte auch in dieser Studie den Fettgehalt (19%). Bei der Ermittlung von LEAN konnte mit einer Differenz von 8% des Mittelwertes zur Summe aus Wasser und Protein aus der chemischen Analyse ein genaueres Ergebnis als beim Fettgehalt erzielt werden. Clarke et al. (1999) kamen zu dem Schluss, dass DXA für die Vorhersage der Körperzusammensetzung vor der Zerlegung beim Schaf geeignet ist und DXA bei einer genauen Kalibrierung in Zukunft auch das Potential zur Messung der Muskelmasse bietet. Hampe et al. (2005) untersuchten die Körperzusammensetzung und das Wachstum von 214 Kälbern (Alter: 6-50Tage) in vivo, um Unterschiede bedingt durch die genetische Herkunft aufzuzeigen. Deutsche Holstein Kälber waren hinsichtlich der

Knochenmineraldichte, des Knochenmineralgehalts, Knochenmineralanteils, Fettgewebeanteils und Masse den anderen Genotypen unterlegen. Beim Magerweichgewebe wurden umgekehrte Verhältnisse gemessen. Die Analyse wurde mit den Scanmodi „normal“ und „Pediatrie groß“ durchgeführt und es ergaben sich hohe Korrelationen ($r > 0,90$) zwischen den Scanmodi, außer bei den Werten für Magerweichgewebe ($r = 0,69$) und Fettgewebeanteil ($r = 0,70$). Die Autoren bewerten DXA als geeignetes Verfahren zur Ermittlung der Körperzusammensetzung und des Wachstums bei Kälbern. Nüske et al. (2005) untersuchten die Entwicklung der Klauen von 199 neugeborenen Kälbern und stellten in Abhängigkeit von der Position der Klaue, Rasse und Geschlecht signifikante Unterschiede bei der Knochenmineraldichte fest.

2.3.7. DXA beim Vogel

Die erste publizierte Studie zur Evaluierung von DXA zur Ermittlung der Körperzusammensetzung bei Hühnern wurde von Mitchell et al. (1997) durchgeführt. 130 Hühner im Gewichtsbereich von 400 bis 3290g wurden mit einem DXA-Gerät der Firma Lunar (DPX-L) gescannt, die Tiere anschließend eingefroren, die Federn entfernt und der chemischen Analyse unterzogen. Die Tiere wurden mit der „pediatric total body research software“ oder der „small animal total body research software“ (high resolution oder detail mode) untersucht. Das Gesamtkörpergewicht der Tiere wurde von DXA im „small animal program“ mit beiden Scanmodi gegenüber der elektrischen Waage überschätzt. Die größte Differenz ergab sich in der Gruppe von Tieren mit einem Körpergewicht unter 2000g. Die Richtigkeit der DXA-Messung des Gesamtkörperfetts war von Scanprogramm, Scan-Mode und dem Körpergewicht abhängig. Vögel mit einem Gewicht unter 2000g wurden im Fettgehalt im „pediatric-neonatal“ und „small animal - high resolution mode“ überschätzt. Im „small animal – detail mode“ wurden bei Tieren mit über 2000g Körpergewicht zu niedrige Werte für Fett gemessen. Für alle Gruppen wurde eine niedrige Übereinstimmung mit einem Bestimmtheitsmaß von 0.33-0.47 beim Fettgehalt in % mit DXA und der chemischen Analyse festgestellt. Beim Fettgehalt in g konnte eine mittlere Übereinstimmung ($R^2 = 0.62$) zwischen den beiden Verfahren erreicht werden. Die DXA Werte für LEAN stimmten sehr gut mit den chemisch ermittelten Werten für Gesamtprotein, bzw.

Gesamtwasser überein ($R^2= 0,90-0,97$ bzw. $R^2=0,90-0,99$). Jedoch konnte keine exakte Aussage über die Absolutwerte bei LEAN getroffen werden. Die Korrelation zwischen dem chemisch ermittelten Aschegehalt und dem Knochenmineralgehalt DXA war bei einem Bestimmtheitsmaß von 0.46 hingegen niedrig, wobei mit den verschiedenen Modi ebenfalls unterschiedliche Werte ermittelt wurden. Hester et al. (2004) nutzten DXA (pDexa X-ray bone densitometer der Firma Norland Medical Systems) zur Bestimmung von BMD an der linken Tibia, Fibula und dem Humerus von lebenden, nicht narkotisierten Hühnern. Den Tieren wurden verschiedene Konzentrationen von Kalzium mit dem Futter zugeführt. BMD gemessen mit DXA korrelierte positiv mit der Knochenstabilität ($r=0,65$) und dem Aschegehalt ($r=0,77$). Außerdem wurde mit DXA eine Langzeitstudie über die Knochenmineraldichte der Tibia bei „White Leghorn“ - Hühnern und weiblichen Broilern durchgeführt, um die Knochenmineraldichte und damit die Knochenstabilität bei Hühnern auf genetischer Grundlage zu verbessern. Laut Hester et al. (2004) ist DXA ein geeignetes quantitatives Messverfahren zur Bestimmung des Skelettstatus, mit dem auch frakturierte und im Heilungsprozess befindliche Knochen von intakten unterschieden werden können. Swennen et al. (2004) validierte DXA am lebenden Huhn. Der Versuch war in vier Stufen aufgebaut. In den ersten zwei Durchgängen wurde der Effekt des Scan-Modus (high resolution und detail slow), der Lagerungsposition (ventral oder dorsal), strahlungsabschwächender Materialien (2-mm PVC- oder 4mm PS Folie) auf die Präzision und die Messwerte untersucht. Die höchste Präzision wurde für das Gesamtgewicht und LEAN gefunden, gefolgt von BMC und BMD, die niedrigste für FAT und FATPC. Die Präzision wurde im Gegensatz zu den Messwerten selbst (außer Gesamtgewicht) nicht von Scan-Modus, Lage oder strahlungsabschwächenden Folien beeinflusst. Der „high resolution“ - Modus lieferte signifikant höhere Werte für FAT und BMC, aber signifikant niedrigere für LEAN und BMD im Vergleich zum „detail slow“ - Modus. Im dritten und vierten Versuchsabschnitt wurde die Richtigkeit von DXA mit der chemischen Analyse verglichen, wobei eine Regressionsgleichung einbezogen wurde. Hierbei konnten hohe Korrelationen zwischen beiden Messverfahren ($r>0,9$), außer für FATPC ($r=0,593$) erreicht werden. Im Gegensatz zu Mitchell et al. (1997) lagen hier die Ergebnisse für FAT nahe an denen der chemischen Analyse. Es wird bemerkt, dass die Regressionsgleichungen ausschließlich für das verwendete Gerät, die spezielle Software-Version und das jeweilige Messverfahren herangezogen werden dürfen.

Swennen et al. (2004) sehen in DXA ebenso wie Mitchell et al. (1997) eine präzise Methode zur Messung der Körperzusammensetzung von Hühnern (in vivo) und großes Potential für die Anwendung in Geflügelindustrie und Forschung im Rahmen von Fütterungs-, Management- und Zuchtversuchen.

Zotti et al. (2003) führten einen Versuch zur Bestimmung des Knochenmineralgehalts von Putenknochen (ex vivo) durch. Dazu wurde der rechte Humerus von 30 männlichen, 20 Wochen alten Puter für die DXA-Messung und der Bestimmung der Knochenbruchfestigkeit entfernt. Jeder Knochen wurde fünfmal mit verschiedenen Modellen zur Simulierung des Weichgewebes gescannt. Die Korrelation zwischen dem BMC der Humeri und deren Aschegehalt war hoch signifikant ($r=0.949-0.963$). Die Autoren sehen DXA als akkurate und präzise Methode zur Bestimmung des Knochenmineralgehalts und der Knochenstabilität von Putenknochen ex vivo.

Dirrigl et al. (2004) untersuchten Skeletteile (26 ROIs) der Vogelspezies *Meleagris gallopavo* (Truthuhn), *Bonasa umbellus* (Kragenhuhn) und *Colinus virginianus* (Virginiawachtel) mit GE Lunar DPX-L und der „small animal“ - Software. Laut Dirrigl et al. (2004) eröffnet dieses Messverfahren neue Möglichkeiten zur Untersuchung von Vögeln in Tiermedizin, Osteoporoseforschung, Biologie und ebenso Archäologie und Paläontologie.

Schöllhorn und Scholz (2007) untersuchten 130 Puten (1,3-24,1 kg) zweier Genotypen (Kelly Bronze und BUT BIG 6), unterschiedlichen Geschlechts und Alters (6, 12, 18 und 24 Wochen) mithilfe der DXA-Methode. Die Tiere stammten aus einem Fütterungsversuch zum Einsatz ökologisch erzeugter Proteinträger in der Putenmast (Schmidt et al., 2007). Die Ganzkörperzusammensetzung der Puten wurde post mortem (eingefroren) mit dem Pencilbeam-DXA-Scanner GE Lunar DPX IQ in Brustlage mit verschiedenen Scan-Modi ermittelt. Bis zur 18. Lebenswoche stiegen die Werte für BMD, Gewicht, FATPC und BMPC kontinuierlich bei beiden Genotypen an, während die Werte für LEANPC sanken. In der 22. Lebenswoche lag der Fettgehalt der BIG 6 signifikant unter dem der Kelly Bronze Puten, während sich die Knochenmineralgehalte nicht signifikant voneinander unterschieden. Bei allen anderen Parametern waren Big 6 den Kelly Bronze überlegen. Das Gewicht konnte durch DXA mit sehr hoher Genauigkeit ($R^2=0,996$) und sehr guter Wiederholbarkeit ($R^2=1$) festgelegt werden.

2.4. Ökologische Geflügelfütterung

In den einschlägigen wissenschaftlichen Arbeitsgruppen besteht eine weitgehende Übereinstimmung über die grundsätzlichen Fütterungsstrategien für Nutztiere in der Ökologischen Landwirtschaft. Die Grundpfeiler dieser Fütterungsstrategien bestehen nach Zollitsch et al. (2003) aus:

- einer ausreichenden Nährstoffversorgung des Tieres,
- Berücksichtigung der anatomischen Besonderheiten der jeweiligen Tierart,
- Ermöglichung des artspezifischen Futteraufnahme-Verhaltens durch entsprechende Futtermittel, Fütterungstechnik und Fressplatz-Gestaltung,
- Gewährleistung weitgehend intakter Nährstoff-Kreisläufe auf betrieblicher und regionaler Ebene und eines effizienten Einsatzes erneuerbarer Energieträger,
- Rücksichtnahme auf die ökonomischen Bedürfnisse der Tierhalter/Innen.

In Europa sind immer mehr Verbraucher bereit, für garantiert ökologisch produzierte Nahrungsmittel tierischen Ursprungs höhere Preise zu bezahlen (Bennet, 1996). Der Konsument wird zunehmend sensibilisiert gegenüber Tierschutzaspekten in der Landwirtschaft. Unter anderem hervorgerufen durch Fleischskandale wie die BSE-Krise nehmen die Vorbehalte in der Gesellschaft gegenüber der intensiven Tierhaltung zu. Auch die ökologische Geflügelmast und Legehennenhaltung konnte dadurch in den letzten Jahren aus ihrer Nische heraus an Bedeutung gewinnen. Der Anteil der ökologischen Geflügelmast lag 2007 lediglich bei 0,4%, was jedoch einen Zuwachs von 20,1% gegenüber 2006 ausmachte (ZMP, 2008). Für die Produzenten der ökologisch erzeugten Nahrungsmittel ergeben sich, auch durch gesetzliche Rahmenbedingungen wie die Verordnung(EWG) 2092/91 neue Problemstellungen bei der Auswahl der Futtermittel, genetischer Herkünfte und Haltungsbedingungen. So wird in der Ökologischen Geflügelhaltung bis zum Jahre 2011 ein schrittweise abnehmender Anteil konventioneller Futtermittel in der Ration gefordert, mit dem Ziel einer 100% Biofütterung. In der Geflügelhaltung gilt insbesondere die zuverlässige Versorgung mit essentiellen Aminosäuren aus heimischen Futterpflanzen als schwierig, da für die Rationsgestaltung hochwertige, konventionell erzeugte Eiweißträger wie Maiskleber, Kartoffeleiweiß und Biertreber wegfallen. Darunter fällt ebenso der Verzicht auf Futtermittel tierischer Herkunft (Ausnahme Milchprodukte), Extraktionsschrote und synthetische Aminosäuren. Die Vorgaben der EU-Öko-Verordnung erschweren insbesondere eine bedarfsgerechte Versorgung der Tiere

mit essentiellen Aminosäuren wie Methionin, Lysin und Cystein. Die Aminosäuren müssen zudem in einem bestimmten Verhältnis zueinander vorliegen, damit das Futterprotein optimal genutzt werden kann. Wird zur Abdeckung des Aminosäurenbedarfs der Rohproteingehalt erhöht, kommt es zu einer vermehrten N-Ausscheidung und damit zu höheren Emissionen. Wird eine Unterversorgung der Tiere in Kauf genommen, führt dies zu einer schlechteren Befiederung, einer erhöhten Neigung zum Kannibalismus, Stoffwechselproblemen (Methioninmangel) und zu Leistungseinbußen, wie einer mangelhaften Legeleistung bei der Legehenne (Schutte und Pack, 1994). Als Eiweißkomponenten werden im Ökologischen Landbau häufig Körnerleguminosen wie Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen eingesetzt, da Sojabohnen aus ökologischem Anbau in Deutschland nicht immer in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Im Vergleich zu Sojabohnen und Sojapresskuchen mit einer relativ hohen Eiweißqualität, ist bei den genannten Körnerleguminosen vor allem der Gehalt an schwefelhaltigen Aminosäuren niedrig. Zusätzlich müssen die veränderten Inhaltstoffe der ökologischen im Vergleich zu den konventionell erzeugten Futterkomponenten beachtet werden. Ökologisch produzierte Komponenten enthalten bis zu 40% geringere Rohproteingehalte, dafür erhöhte Anteile an Kohlehydraten, vor allem in Form von Nicht-Stärke-Polysacchariden (NSP) (Andersson, 2005).

Im einem von Schmidt et al. (2004) durchgeführten Fütterungsversuch sollte der Einfluss zweier Rationen mit unterschiedlichem Energiegehalt auf die Mast- und Schlachtleistung von ökologisch gehaltenen Hähnchen überprüft werden. Unter den Vorgaben der EU-Öko-Verordnung und den speziellen Richtlinien ökologischer Verbände in Deutschland, ergeben sich einige produktionstechnische Besonderheiten. In der ökologischen Geflügelmast sollen „langsam wachsende Herkünfte“ eingesetzt werden, für die bislang jedoch nur in sehr geringem Umfang Bedarfszahlen für Energie- und Nährstoffe vorliegen. Ziel dieses Versuches war es den hohen Nährstoff- und Energiebedarf der Tiere ohne die Verwendung von synthetischen Aminosäuren und tierischen Eiweißfuttermitteln zu gewährleisten und bedarfsdeckende ME-Gehalte im Mischfutter einzusetzen. Hierbei wollten Schmidt et al. (2004) die Eigenschaft des Geflügels nutzen, die Futteraufnahme bis zu einem gewissen Grad der aufgenommenen Energie anzupassen. Den Tieren wurden Rationen mit niedrigen Energiegehalten angeboten, um durch die Mehraufnahme von Futter den Bedarf an Rohprotein und essentiellen Aminosäuren besser

abdecken zu können. Es wurden zwei Fütterungsvarianten A und B mit jeweils ökokonformen Komponenten, aber unterschiedlichen Energiegehalten in Starter- (1.-14. Tag) und Mastphase (15.-54. Tag) eingesetzt. In der Aufzuchtphase enthielt Futter A mit 12,47 MJ ME/kg nur 0,18 MJ ME/kg mehr als Futter B. In der Mastphase wurde in Futter A 12,50 und B 12,15 MJ ME/kg eingesetzt. Die Gehalte an essentiellen Aminosäuren waren in beiden Mischungen im Vergleich zum konventionellen Alleinfuttermittel hoch (Lysin-Energie-Verhältnis Aufzucht konventionell: 0,95g/MJ; Versuch: 0,99 (Gruppe A) 0,97g/MJ (Gruppe B)). Aufgrund der relativ geringen ME-Gehalte konnten annähernd gleiche Lysin- bzw. Methionin-Energie-Verhältnisse wie im konventionellen Futter erreicht werden. Die Tiere der Gruppe B nahmen pro Tag signifikant mehr Futter auf als die in Gruppe A (79g/Tag und 77g/Tag, über die gesamte Versuchsperiode). Über die gesamte Versuchszeit gesehen, nahmen die Tiere der Gruppe B aufgrund der höheren Futteraufnahme die gleiche Menge an ME auf. Die Tiere der Gruppe B konnten durch die erhöhte Futteraufnahme bei besserer Methionin- und Lysin-Ausstattung mehr Aminosäuren (10% mehr Methionin und 4% mehr Lysin als Gruppe A) aufnehmen. Die Schlachtkörper der Gruppe B erreichten signifikant höhere Brustgewichte und höhere Proteingehalte im Schenkel bei reduziertem Fettgehalt und niedrigeren Gehalten an Abdominalfett. Begründet wurden diese Befunde durch die bessere Versorgung der Gruppe B mit den erstlimitierenden Aminosäuren.

Halle und Dänicke (2003) überprüften mit zwei Versuchsansätzen die Wirkung verschiedener Alleinfuttermittel auf die Futteraufnahme, das Wachstum und den Futteraufwand von Mastbroilern langsam wachsender Herkünfte (Hubbard ISA 257). Die Ergebnisse der ersten Versuchsanordnung mit einer Dauer von 56 Tagen weisen darauf hin, dass am Anfang der Wachstumsphase der Tiere eine Konzentration von 20% Rohprotein bei einem Energiegehalt von 12 MJ benötigt wird, während ab dem 35. Lebenstag eine Reduzierung der Proteinkonzentration auf 18% bei 12 MJ Energie zu einem optimalen Wachstum führt. Eine Aufteilung in zwei Wachstumsperioden erscheint daher den Autoren als sinnvoll. Die Leistung der Broiler entsprach denen einer konventionell gefütterten Kontrollgruppe, die allerdings einen besseren Futteraufwand (1,8kg/kg) als die Tiere mit der ökologischen Mastmischung (2,0kg/kg) aufwies. Bei der zweiten Versuchsanordnung wurden die Tiere 84 Tage gemästet und konnten annähernd gleiche Mastendmassen (>4kg) erreichen wie bei der Fütterung mit einer konventionellen Mastmischung. Um eine

bedarfsgerechte Methioninkonzentration zu gewährleisten, war im Starterfutter ein relativ hoher Proteinanteil von 23% und 21% im Nachfolgefutter nötig. Der tägliche Zuwachs der Broiler war nach 56 Tagen rückläufig, dadurch erhöhte sich der Futteraufwand auf 3,2kg/kg. In das ökologisch erzeugte Alleinfutter wurde zusätzlich 1% Bohnenkraut eingemischt, um die Bedeutung von Kräutern, die ätherische Öle mit einem hohen Anteil an Carvacrol enthalten, auf das Wachstum der Broiler zu untersuchen. Die Tiere wiesen, im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Bohnenkraut, ein höheres Mastendgewicht auf.

Ein weiterer Versuch mit ökologisch erzeugten Broilern wurde von Bellof und Schmidt (2005) publiziert. Die Aufzuchtphase wurde für den Zeitraum 1. bis 4. und die Mastphase 5. bis 8. Woche festgelegt. Die Tiere wurden nach 57 Tagen geschlachtet. Es wurden vier Versuchsgruppen gebildet und in der Aufzucht zwei (A1 und A2) und in der Mast vier (M1 bis M4) Futtermischungen eingesetzt. Die Ausstattung der Alleinfuttermittel im Bezug auf die wichtigsten essentiellen AS richtete sich nach den Empfehlungen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 1999). In den Mastmischungen M2 und M4 wurde die AS-ME-Relation auf 90% der GfE Empfehlungen abgesenkt. Gruppe 1 und 2 erhielten Futter M1 mit 12,00 ME (MJ/kg), bei 0,85 Lys/ME und 0,31 Met/ME (g/MJ). Gruppe 3 und 4 wurde Futter A2 mit 11,00 ME (MJ/kg) und den gleichen Verhältnissen an Lysin und Methionin bezogen auf ME vorgesetzt. Das Futter M1 (Gruppe 1) enthielt 12,40 ME (MJ/kg) bei 0,72 Lys/ME und 0,27 Met/ME (g/MJ), während Futter 3 bei gleichem AS-ME-Verhältnis nur 11,20 ME (MJ/kg) aufwies. Futter M2 wurde wie M1 mit 12,40 ME (MJ/kg) ausgestattet, bei einem Gehalt von 0,65 Lys/ME und 0,24 Met/ME (g/MJ). Futter M4 wurde mit dem gleichen AS-ME-Verhältnis gemischt wie M2, enthielt aber nur 11,20 ME (MJ/kg). Die Futteraufnahme betrug durchschnittlich 88,5g pro Tier und Tag und verlief umgekehrt proportional zum ME-Gehalt der Futtermischungen. Für Gruppe 1 mit durchgehend hoher ME-Ausstattung ergab sich am Ende die gleiche Aufnahme an Umsetzbarer Energie (62 MJ ME/Tier) wie für Gruppe 4 mit durchgehend niedriger ME-Ausstattung. Bei den erstlimitierenden Aminosäuren Lysin und Methionin wurde in Gruppe 4 im Vergleich zu Gruppe 1 ein Niveau von 93 bzw. 90% erreicht. Nach der Aufzuchtphase wurden in allen vier Gruppen nahezu gleiche Lebendmassen erzielt (Durchschnitt 802g pro Tier). Nach der Mastphase wies Gruppe 1 jedoch signifikant höhere Endgewichte auf als die drei Vergleichsgruppen. Die Gruppe 3 erreichte beim Endgewicht knapp 100g weniger als die Tiere der

Gruppe 1, die Gruppen 2 und 4 94% bzw. 93% des Gewichtsniveaus von Gruppe 1. In der Mehrzahl der Schlachtkörpermerkmale war die Gruppe 1 ebenfalls überlegen. Sie wiesen ein höheres Schlachtkörper- und Brustgewicht auf. Der Fleischanteil beim Teilstück Brust war bei Gruppe 1 um 2% höher als bei Gruppe 4, bei gleichzeitig 1% weniger Fett. Auch hier spiegelt sich die bessere Versorgung der Tiere in Gruppe 1 mit den essentiellen Aminosäuren Lysin und Methionin wieder.

Fölsch et al. (2004) untersuchten die Auswirkung von gekeimtem Getreide in der Bio-Geflügelfütterung auf die Proteinversorgung von Legehennen verschiedener Herkünfte. Eine 48-stündige Keimung des Weizens führte zu keiner Änderung der Gehalte an Rohnährstoffen, mit Ausnahme von Stärke und Zucker, und damit auch nicht zu einer Verbesserung der Proteinversorgung der Tiere. Die Tiere mit einer 100% Bio-Fütterung zeigten einen sehr guten Gesundheits- und Gefiederzustand bei guten Leistungen, jedoch wird auch hier ein höherer Futtermittelverbrauch angegeben. Rahmann et al. (2007) überprüften mehrere praxistaugliche Futtermittelrationen für eine 100% Bio-Fütterung mit betriebseigenen Futtermitteln bei Legehennen verschiedener Herkünfte. Unter anderem wurde der Einfluss von unbehandeltem und thermisch behandeltem Rapskuchen auf die Tiergesundheit und Leistungsparameter wie Legeleistung, Eiklassenverteilung und Eiqualität gemessen. Beim Einsatz von Körnerleguminosen wie der Ackerbohne muss der Gehalt an antinutritiven Inhaltsstoffen wie Vicin und Convicin, die zu Störungen des Fettstoffwechsels führen können, berücksichtigt werden. Es wurde nicht mehr als 18% Rapskuchen eingesetzt, da dies zu einem Rohfettgehalt über dem Grenzwert von 45% geführt hätte, was unter anderem Verdauungsprobleme mit dünnem Kot und einen hohen Anteil an XL- Eiern nach sich ziehen kann. Die eingesetzten Futterkomponenten wie thermisch behandelte Rapskuchen, Leinkuchen, Wicken oder Lupinen wurden auf den Gehalt an essentiellen Aminosäuren untersucht. Diese waren im Vergleich zu Bio-Soja oder konventionellen Proteinfuttermitteln eher niedrig. Durch den Einsatz energiereduzierter Rationen konnten die Tiere ebenfalls zu einer höheren Futteraufnahme angeregt werden. Trotzdem wurden die erstellten Rationen mit den genannten Futtermitteln nicht gerne gefressen oder es kam zu einem Abfall der Legeleistung. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass diese Futtermittel keine Alternative zu den konventionellen Eiweißfuttermitteln wie Maiskleber, Kartoffeleiweiß oder Bierhefe sind.

2.5. NSP-spaltende Enzyme

Getreide ist eine wichtige Komponente in der Geflügelernährung, jedoch enthalten verschiedene Getreidearten bestimmte Zellwandkohlenhydrate, die antinutritiv wirken und als NSP (Nicht-Stärke-Polysaccharide) bezeichnet werden. Diese bestehen aus Polymeren, die nicht verdaulich sind, weil Monogastrier die erforderlichen Enzyme zum Abbau dieser Gerüstsubstanzen nicht bilden können. Dadurch werden Verdauungs- und Resorptionsprozesse beeinträchtigt, die Futteraufnahme vermindert und die mikrobielle Besiedlung des Darms nimmt zu. Murray et al. (1977) stellten fest, dass die NSP-Fraktion in Futtermitteln die Darmviskosität erhöht und somit die Verdaulichkeit von Proteinen und Aminosäuren senkt. Die erhöhte Viskosität der Digesta wird laut Jeroch (1991) durch das hohe Quell- und Wasserbindungsvermögen der NSP-Verbindungen bedingt. Zu den NSP gehören unter anderem die β -D-Glucane sowie Pentosane, die insbesondere im Endosperm von Gerste, Roggen und Weizen vorhanden sind. Die β -glukosidisch verknüpften Glukosemoleküle der (1-3) und (1-4)- β -Glucane sind für die Wassereinlagerungen und damit für den antinutritiven Effekt verantwortlich. Insbesondere bei Küken haben Futterrationen mit hohem Getreideanteil einen negativen Effekt, was sich in Minderleistung, gesundheitlichen Störungen und klebrigen Exkrementen äußert (Jeroch, 1991). Choct und Annison (1992) berichten von einer signifikanten ($p < 0.001$) Verringerung der ME, der Leistung und der Futterverwertung nach Zugabe von 40g extrahierten Weizenpentosanen je kg Broilerdiät. Die NSP-Verbindungen verursachen durch den viskosen und klebrigen Darminhalt eine schlechte Durchmischung des Digestabreis mit körpereigenen Enzymen und verlangsamen die Diffusion von Substraten. NSP kapseln die Nährstoffe ein und bilden eine Barriere für die endogenen Enzyme (Käfigeffekt). Die Fettverdaulichkeit wird am stärksten beeinträchtigt, da die Fettmicellen in ihrer Beweglichkeit behindert werden. Außerdem kann es zu einer Verschiebung des Artenspektrums der Darmmikroben und zu einer Erhöhung der pathogenen Keimzahl im Verdauungstrakt kommen (Bedford und Morgan, 1996).

NSP-spaltende Enzyme sind komplexe, dreidimensionale Proteine, die bestimmte chemische Verbindungen in kleine absorbierbare Bruchstücke spalten können. Diese Enzyme sind glycosid-spaltende Hydrolasen, die je nach Art der zu spaltenden Substrate in β -Glukanasen und Xylanasen eingeteilt werden. Die Enzyme müssen

als Futterzusatzstoffe verschiedene Eigenschaften wie eine hohe Thermo- und pH-Stabilität aufweisen und dürfen keine Toxine enthalten (Simon, 1993). Sie werden meist aus Pilzen (*Aspergillus* ssp., *Trichoderma* ssp. etc.) und nur zum kleinen Teil aus Bakterien-Populationen (*Bacillus* ssp.) hergestellt. Die NSP-spaltenden Enzyme sollen die Digestivviskosität durch Abbau von Substraten wie löslichen β -Glukanen und Pentosanen reduzieren. Die NSP-Verbindungen werden gespalten und verlieren dadurch ihre Fähigkeit Wasser zwischen ihren Molekülen einzulagern. Neben der Senkung der Viskosität wird der Nahrungsbrei besser durchmischt und die Wirksamkeit körpereigener Enzyme steigt. Die Nährstoffverdaulichkeit und die Umsetzbarkeit der im Futter enthaltenen Energie nehmen damit zu (Choct, 1997). Der oben genannte Käfigeffekt wird aufgehoben, da die Zellwandstrukturen des Getreides aufgespaltet und Nährstoffe wie Stärke, Protein und Fett zur Verdauung und Absorption zur Verfügung stehen. Dazu werden Multi-Enzym-Präparate benötigt, da sie eine hohe Enzymaktivität aufweisen. In der Zellwand von Pflanzen sind außer NSP noch verschiedene Nährstoffe enthalten, die ebenfalls freigesetzt werden. Die Verdaulichkeit verschiedener Mengen- und Spurenelementen wie Ca, Mg und Zn wird verbessert. Nach Vahjen und Simon (1997) verringert der Zusatz der Enzympräparate bei Broilern das Wachstum von Bakterien im Darm. Insbesondere in den ersten Lebenswochen sinkt die Zahl pathogener Enterokokken. Zusammenfassend verbessert der Enzymzusatz laut Broz (1993) die Digestivviskosität, erhöht die Umsetzbarkeit der Energie und die Nährstoffretention, verbessert Futterverwertung, Wachstumsrate und Futteraufnahme und reduziert klebrige, wasserreiche Exkremate (sticky droppings). Unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus erhöht sich wie in Kapitel 2.4. beschrieben der Gehalt an NSP in der Ration und wird durch die geforderten Raufutternormen nochmals verstärkt. Dies kann das Problem der unzureichenden Protein- und Aminosäurenversorgung der ökologisch erzeugten Ration verstärken, da die Protein- und Fettverdaulichkeit reduziert wird. Dies führt, wie Untersuchungen mit den typischen Futtermischungen des ökologischen Landbaus zeigen, zu verringerten Magerfleischanteilen im Schlachtkörper, sowie zu erhöhtem intramuskulären Fettgehalt (Brunken, 2005). Schmidt et al. (2007) gelangten aufgrund eines Putenmastversuchs mit den Herkünften Big 6 und Kelly Bronze zu dem Fazit, dass bei dem Konzept einer energiereduzierten Fütterung ein Niveau von ca. 11,0 MJ ME/kg Alleinfutter nicht

unterschritten werden sollte. Die durchgeführten Versuche zeigten ebenfalls, dass die Verwendung von Rohstoffen mit geringem ME-Gehalt zu einem Anstieg der Gehalte an Nicht-Stärke-Polysacchariden (NSP) in den Futtermischungen führte, mit dem Resultat einer unbefriedigenden Kotkonsistenz. Daraus resultierte ein erhöhter Einstreubedarf, um eine Gefiederverschmutzung zu vermeiden. Aus der konventionellen Geflügelmast liegen zahlreiche Untersuchungsergebnisse vor, die zeigen, dass mit Hilfe von Kohlenhydrat spaltenden Enzymen (z. B. Xylanase) dieses Problem entschärft werden kann (Dusel et al., 1998).

In dem in Kapitel 4. beschriebenen Versuch sollte nun anhand eines weiteren Putenmastversuchs mit Hähnen der Herkunft BIG-6 der Einsatz eines Enzymkomplexes auf die Kotbeschaffenheit bei einer Ration mit ökologisch erzeugten Futtermitteln ermittelt werden.

In diesem Fütterungsversuch kam das NSP-spaltende Enzym Rovabio™ Excel der Firma Adisseo zum Einsatz. Rovabio™ Excel ist ein Multienzympräparat und enthält eine Kombination aus Endo-1,3(4)-beta-glucanasen (2000U/g) und Endo-1,4-beta-xylanase (1400U/g) mit Cellulasen, Pectinasen, Mannanasen und Proteasen. Neben Xylanase und β - Glucanase können 17 weitere Enzymaktivitäten nachgewiesen werden, davon 15 Kohlenhydrat spaltende Enzyme. Laut Hersteller wird es von einem GMO-freien Pilz (*Penicillium funiculosum*) gewonnen und soll den nutritiven Wert aller Getreidesorten und Ölsaaten erhöhen und so für bessere Zuwachsraten bei Schwein und Geflügel beitragen.

2.6. Bentonit

Bentonit-Montmorillonit ist ein natürliches Tonmineral, zu denen auch Kaolinit, Illit und Sepiolith gehören. Bentonit ist ein dreischichtiges Aluminiumsilikat mit Natrium oder Kalzium als Kation. Der Einsatz von Bentonit in Futtermischungen erfolgte in der Vergangenheit unter rein technologischen Gesichtspunkten als Pelletier- und Fließhilfsmittel. Die Haftmechanismen der Futterpartikel in den Pellets werden verbessert, da Bentonit an der Partikeloberfläche haftet und die Kontaktfläche für stabile Festkörperbrücken schafft. Es verfügt zudem über eine hohe Wasseraufnahmekapazität, wodurch ebenfalls die Bindungskräfte und damit die Pelletfestigkeit verbessert werden. Zudem werden dem Tonmineral eine Reihe von

physiologischen Effekten zugeschrieben, die bereits Gegenstand zahlreicher Untersuchungen waren. An die meisten im Nahrungsbrei enthaltenen Stoffe erfolgt lediglich eine physisorptive, also rein mechanische, temporäre und lockere Bindung. Eine chemische Bindung gehen die klassischen Futterbentonite nur mit wenigen Kationen mit kleinem Ionenradius wie z.B. H, NH₄, Cs, Ca und mit wenigen organischen Verbindungen wie z.B. Pilzgift Aflatoxin und Ergotamin ein. In einer Reihe von Studien konnte gezeigt werden, dass die Supplementierung von diätetischen Tonzusatzstoffen in einer Konzentration von 1-5% der Trockensubstanz, zu einer besseren Futtermittelverwertung und einer verlangsamten Darmpassage beim Geflügel führt (Kurnick and Reed, 1960; Quisenberry and Bradley, 1964; Quisenberry, 1966; Almquist, 1967). Rotermeil et al. (1964) konnten eine Zunahme im Brustumfang und Fettgehalt der Schlachtkörper beim Mastschwein nach Zugabe von 1% Bentonit zur Ration feststellen und führten dies auf eine bessere Energieretention zurück. Jordan (1953) berichtete über höhere Gewichtszunahmen und eine bessere Futtermittelverwertung bei Lämmern deren Ration Bentonit enthielt. Quisenberry (1968) zeigte in Versuchen, dass mit dem Zusatz von Tonmineralien bei Legehennen deutliche Zunahmen im Körpergewicht, der Eigrösse und der Lebenserwartung gegenüber einer Kontrollgruppe einhergehen, obwohl die kalorische Gesamtaufnahme bei der Kontrollgruppe höher war. Als Gründe hierfür werden von einigen Autoren das hohe Wasserabsorptionsvermögen der Zusatzstoffe und damit verbunden eine Erhöhung des Darminhaltsvolumens angegeben. Daraus wiederum folgen eine längere Verweildauer der Digesta im Magen-Darm-Trakt und eine Verbesserung der enzymatischen Verdauungsvorgänge. Somit fördern die Tonmineralien die Energie- und Nährstoffretention aus dem Darm. Chung et al. (1990) evaluierten in drei Experimentphasen den Effekt von „Hydriertem Natrium Kalzium Aluminiumsilikat“ (HSCAS) auf die Zn-, Mn-, Vitamin A- und Riboflavin-Versorgung von jungen Masthähnchen. HSCAS wurde in Konzentrationen von 1% und 5% in die Ration (Getreide-Soja) eingemischt. In beiden Konzentrationen hatte HSCAS keinen Einfluss auf die Versorgung mit Mn, Vitamin A und Riboflavin. Der Zn-Gehalt, gemessen im Tibia-Knochen, reduzierte sich im Versuchsverlauf jedoch kontinuierlich. Southern et al. (1994) verglichen den Einfluss von Natrium Bentonit (NaB) und HSCAS (beide jeweils in einer Konzentration von 5%) auf das Wachstum und den Mineralgehalt der Tibia bei Broilern (5 bis 19 Tage alt), die mit verschiedenen Mangelrationen (C = ausgeglichene Ration; -MM = Mengenelemente -

Mangelration; -TMV = Mangel an Spurenelementen und Vitaminen; -CP = Mangel an Rohprotein) gefüttert wurden. NaB führte zu einer erhöhten Futtermittelaufnahme ($P < 0.01$) und damit verbunden einem erhöhten Körpergewicht ($P < 0.09$) der Tiere im Vergleich zur Kontrollgruppe bei allen Mangelrationen. Weder NaB noch HSCAS konnten den Gehalt an Asche, Ca und P in der Tibia verändern.

Eine weitere Eigenschaft von Tonmineralien als Futterzusatzstoff ist die Adsorption und Deaktivierung von Mykotoxinen, insbesondere Aflatoxin B1 und Schadstoffen wie Ammonium- und Schwefelverbindungen. Die signifikante Reduktion einer Aflatoxikose durch den Einsatz von Tonmineralien wurde unter anderem von Schell et al. (1993) und Lindemann et al. (1993) bei Ferkeln, Santurio et al. (1999) und Pasha et al. (2007) bei Broilern publiziert.

In dem in Kapitel 4. beschriebenen Fütterungsversuch mit Mastputen wurde Bentonit als Prophylaxe gegen Diarrhoe in zwei Konzentrationen (1% und 2%) in die Ration eingemischt. In dem vorhergehenden Versuch mit Mastputen von Schmidt et al. (2007) wurde bei den Tieren während des Mastverlaufs immer wieder dünnflüssiger Kot beobachtet, was zu einer Durchnässung der Einstreu führte. Durch das hohe Quell- und Wasseraufnahmevermögen soll Bentonit die Kotfeuchte signifikant verringern. Quisenberry (1968) konnte den Feuchtigkeitsgehalt des Kots bei Käfighennen durch den Einsatz von 2,5% und 5% Bentonit in der Sommer- und Winterfütterung signifikant ($P < 0.05$) senken und beobachtete zusätzlich eine schnellere Trocknung des Kots an der Luft. Olver (1989) konnte mit verschiedenen Konzentrationen von Bentonit bei Legehennen eine signifikante ($P < 0.01$) Reduzierung des Feuchtigkeitsgehalts der Faeces erzielen. Da ein Teil der im Verdauungstrakt gelösten Spurenelemente, Vitamine und anderen organischen Verbindungen zunächst an die Tonmineraloberfläche gebunden und erst später durch ein Konzentrationsgefälle nach Resorption der Nährstoffe im Darm wieder freigesetzt wird, liegt die Vermutung nahe, dass sich der Zusatzstoff auch negativ auf die Versorgung der Tiere mit Spurenelementen und Vitaminen auswirken könnte. Laughland et al. (1956) konnte keine negative Beeinflussung der Leistung durch den Zusatz von Bentonit bei einer praxisüblichen Ration bei Broilern feststellen. Ebenso konnte Weiß (1990) beim Schwein keine Auswirkungen auf die Spurenelement- und Vitaminversorgung ausmachen. Day et al. (1970) bemerkten bei einer 5%-igen Bentonit-Supplementierung einen tendenziell negativen und bei 10%-iger Gabe einen signifikant leistungsdepressiven Effekt bei Broilern. Bentonit ist in der EU heute

in einer Höchstmenge von 2% bezogen auf die Trockenmasse für alle Tierarten zugelassen.

3. Versuch 1 (Putenversuch 2005): DXA und chemische Analyse

3.1. Einleitung

Im Jahr 2005 wurde von Bellof und Schmidt an der FH Weihenstephan ein Fütterungsversuch zum Einsatz ökologisch erzeugter Proteinträger in der Putenmast durchgeführt. Eine besondere Problematik in der Putenfütterung stellt die Deckung des Aminosäurebedarfs dar. In der ökologischen Putenmast sind durch die zur Verfügung stehenden Proteinquellen und Richtlinien (Verordnung (EWG) 2092/91) für die Rationsgestaltung enge Grenzen gesetzt. Zusätzlich dürfen laut der genannten Verordnung mit Ablauf des Jahres 2011 in der ökologischen Putenmast keine Futtermittel eingesetzt werden, die aus konventionellem Anbau stammen. In diesem Versuch sollte geklärt werden, wie bestehende Fütterungsempfehlungen aus der konventionellen Mast für die ökologische Putenmast adaptiert werden können. Zusätzlich wurden Futtermischungen mit deutlich abgesenktem Energiegehalt sowie erniedrigtem Aminosäuregehalt eingesetzt. Das Tiermaterial setzte sich aus langsam wachsenden und konventionellen, schnell wachsenden Masthybriden zusammen. Die unterschiedliche Reaktion der beiden Genotypen auf die veränderten Energiegehalte und deren Leistungsunterschiede waren ebenfalls Gegenstand dieser Studie. Nach jedem Mastabschnitt wurde eine bestimmte Anzahl an Tieren selektiert, getötet und eingefroren. Schöllhorn und Scholz vom Lehr- und Versuchsgut der Tierärztlichen Fakultät der LMU in Oberschleißheim untersuchten diese Puten verschiedener Altersgruppen, Gewichtsklassen, Fütterungsgruppen, Geschlechter und Genotypen anschließend mittels der DXA Methode. Ziel dieser Messung war die Ermittlung der Körperzusammensetzung zur Evaluierung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bei der Pute. Eine derartige Untersuchung war zu diesem Zeitpunkt aus der Literatur für diese Tierart nicht bekannt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung wurden von Schöllhorn und Scholz 2007 im Archiv für Geflügelkunde publiziert. Nach dem DXA Scan wurde ein Teil der Puten wieder aufgetaut und anschließend einer chemischen Analyse unterzogen. Die Ergebnisse dieser chemischen Ganzkörperanalyse und deren Korrelation mit den Werten aus der DXA-Messung sind Gegenstand des folgenden Kapitels.

3.2. Material und Methoden

Zu Versuchsbeginn wurden 480 geschlechtssortierte Eintagsküken eingestallt. Jeweils 120 männliche und 120 weibliche Tiere der Herkünfte BUT BIG 6 (British United Turkey) und Kelly Bronze (Kelly Turkey Farms) wurden einbezogen. Für die Haltung wurden die Vorgaben der Verordnung (EWG) 2092/91 herangezogen, jedoch stand den Tieren, abweichend von dieser Verordnung, aufgrund der Versuchsanordnung (Exaktversuch mit Erfassung der vollständigen Futtermitteldaten) kein Auslauf zur Verfügung. Der Geflügelstall war in 24 Abteile (ca. 6 m²) unterteilt und in jedes Abteil wurden 20 Tiere (getrennt nach Genotyp und Geschlecht) eingestallt. Als Einstreu wurden zunächst Hobelspäne, später Stroh verwendet. Die Küken wurden bei ihrer Einstallung in Kükenringe eingesetzt, die nach einer Woche entfernt wurden, so dass den Tieren dann die gesamte Fläche zur Verfügung stand. Über den Kükenringen waren Wärmestrahler angebracht. Die Temperatur wurde zusätzlich durch eine mit Thermostat gesteuerte Ölkönne geregelt. Aufzucht und Mast wurden in vier Phasen unterteilt: 1.-6. Woche, 7.-12. Woche, 13.-18. Woche und 19.-22. Woche. Nach jeder Phase wurden drei Tiere pro Abteil ausgestallt (selektiert nach dem Durchschnittsgewicht der Bucht) und getötet, um den Haltungsrichtlinien der Verordnung zu entsprechen. Die Schlachtung der verbliebenen weiblichen Tiere fand mit 18 Wochen, die der männlichen im Alter von 22 Wochen statt.

Die Futtermischungen wurden in einem Bioland-Mischfutterwerk hergestellt und in pelletierter Form (Aufzuchtmischung mit 2mm-Pellets, Mastmischung mit 3mm-Pellets) ad libitum vorgelegt. Die Tiere wurden im Abstand von 14 Tagen gewogen. Gleichzeitig erfolgte eine Erfassung des Futtermitteldaten.

Für die Futterrationen wurden die Intensitätsstufen „Medium“ (M in Futter A) und „High“ (H in Futter B) gebildet, die sich hinsichtlich der Gehalte an Umsetzbarer Energie (ME) und den wichtigsten essentiellen Aminosäuren (EAS) unterscheiden. Das Alleinfuttermittel mit Energiestufe H orientiert sich in der ME-Ausstattung an konventionellen Mischungen, ist aber gegenüber den Empfehlungen der BUT (2002) für BIG 6 Genotypen im Aminosäuregehalt (g EAS/MJ ME) in der Aufzuchtphase um 10% und der Mastphase um 5% gesenkt. Die Relationen für die wichtigsten Aminosäuren Lysin, Methionin, Tryptophan und Threonin richten sich nach den Empfehlungen. Für das Alleinfuttermittel M erfolgte der Einsatz von

Futtermischungen mit abgesenkten Gehalten an ME und essentiellen Aminosäuren (ME 5-8% niedriger als bei Futter H).

3.3. Ablauf der DXA-Untersuchung in Versuch 1

Insgesamt wurden 130 Puten (1,3-24,1kg) im Zeitraum von Juli 2005 bis Oktober 2005 einer Untersuchung mit dem DXA-Scanner unterzogen. Die Messung wurde mit einem Pencilbeam-DXA-Scanner der Firma Lunar, Madison, WI, USA (DPX-IQ) am Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim durchgeführt.

Im Alter von 6 und 12 Wochen wurden jeweils 2 Tiere pro Bucht und im Alter von 18 Wochen je 1 Tier pro Bucht selektiert. Mit 22 Wochen sind pro Genotyp 5 Puter aus je 5 Abteilen für die Untersuchung mit DXA ausgewählt worden.

Nach der Selektion wurden die Tiere betäubt und durch Blutentzug (mindestens einer Halsschlagader) getötet. Das Blut wurde in einem Kunststoffbeutel aufgefangen und mit dem genauso verpackten Tierkörper zusammen bei -18 C° eingefroren. Für die Messung blieb das Tier im Kunststoffbeutel verpackt und in Brustlage auf dem Untersuchungstisch positioniert. Jede Pute wurde zweimal pro Scan-Modus unter identischen Bedingungen analysiert, um Aussagen zur Wiederholbarkeit treffen zu können. Nach dem Ganzkörperscan lieferte DXA die Werte für FAT in g, LEAN in g, BMD in g/cm² und BMC in g. FATPC in %, BMPC in %, LEANPC in % und DXWT in g konnten anschließend aus den ermittelten Werten berechnet werden. Als Referenzmodus wurde der Pediatrie-Small-Modus (PS) der Softwareversion 4.7e festgelegt. Um intermodale Unterschiede aufzuzeigen, wurde zusätzlich bei 48 leichteren Tieren der Small-Animal-Medium- (SAM) und der Small-Animal-Slow-Modus (SAS) sowie bei 10 schweren Tieren der Pediatrie-Medium- (PM) bzw. Pediatrie-Large-Modus (PL) verwendet.

Auf dem Ergebnisbild eines DXA-Scans sind die Bildpunkte in Abhängigkeit von der Körperzusammensetzung in unterschiedlichen Graustufen dargestellt. Für die Auswertung der vorliegenden Studie wurde keine regionale sondern nur eine Ganzkörperanalyse durchgeführt.

3.4. Untersuchungsablauf und –methode der chemischen Analyse

Nachdem die DXA Untersuchung abgeschlossen war, wurden die Tiere an die FH Weihenstephan transportiert und aufgetaut. Je nach Gewicht der Puten dauerte der Auftauvorgang ein bis vier Tage. Jeweils drei Tieren einer Altersgruppe wurde der Verdauungstrakt entnommen, entleert und getrennt vom restlichen Tierkörper der Analyse unterzogen, um die Auswirkungen des Darminhaltes auf das Ergebnis ableiten zu können. Für die Analyse wurde ein Laborautoklav Typ 5075 ELV (Vertikaler Standautoklav mit 160 Ltr. Volumen) verwendet. Die aufgetauten Tiere wurden gewogen, in einen Autoklavierbeutel und in einen Blecheimer mit Deckel gegeben. Die Eimer waren so konzipiert, dass der Wasserdampf in den Beutel eindringen, sich jedoch kein Kondenswasser darin bilden konnte. Die Eimer waren mit kleinen Löchern versehen, um den Druckausgleich zu gewährleisten. Die Eimer dienten zudem als zusätzliche Schutzhülle, falls ein Beutel beschädigt werden würde, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen und den Autoklav nicht zu beschmutzen. Vor dem Autoklaviervorgang erhielt jedes Tier eine neue hitzebeständige Identifikationsnummer. Je nach Größe der Tiere wurden pro Durchgang drei bis sieben Puten bei 121 °C und einem bar Überdruck 180 Minuten lang autoklaviert. Anschließend wurden die Tiere erneut gewogen und in einem Cutter zerkleinert. Es wurde davon ausgegangen, dass durch die rotierenden Bewegungen des Cutters ein ausreichender Homogenisierungsgrad erreicht wurde. Von der Masse im Cutter wurde eine bestimmte Menge entnommen und in einer Knochenmühle vermahlen, um den gewünschten Feinheitsgrad zu erreichen. Nach jedem Tier wurden alle Geräte und Werkzeuge gereinigt und getrocknet. Die Identifikationsnummer, die das Tier durch Autoklav und neben Cutter und Knochenmühle begleitete, wurde in den Probenbeutel gelegt. Die überschüssigen Reste der Masse aus Cutter und Mühle wurden verworfen und von der Firma Berndt entsorgt. Die fertigen Proben wurden bis zur Analyse eingefroren.

Die Weender Analyse der Proben wurde vom Zentralinstitut für Ernährung- und Lebensmittelforschung (ZIEL) - Abteilung Bioanalytik Freising-Weihenstephan der Technischen Universität München durchgeführt. Die Weender Analyse wurde 1864 von Henneberg und Stohmann begründet und stellt als Konventionsanalyse ein summarisches Verfahren dar.

Es wurden 122 Putenganzkörper (P) und 12 Verdauungstraktinhaltsproben (K) auf ihren Anteil an Rohprotein (P in %), Feuchtigkeit (W in %), Rohasche (A in %) und Rohfett (R in %) analysiert. Die Weender Analyse wird nach festgelegten Laborvorschriften durchgeführt. Für jeden Parameter wurde eine Doppelbestimmung vorgenommen, mit Ausnahme der Analyse von Rohprotein.

Für die Bestimmung von Rohprotein wird das Kjeldahlverfahren angewendet. Die Probe (ca. 2g) wurde mit 14 ml konzentrierter Schwefelsäure und zwei Kupfersulfattabletten als Katalysator in einen Aufschlussblock gegeben und eine Stunde bei 420 °C aufgeschlossen. Der in der Probe enthaltene organische Stickstoff oxidiert in die Ammoniumform. Nach Zugabe von Natronlauge wird Ammoniak freigesetzt, in vorgelegte Salzsäure überdestilliert und titrimetrisch erfasst.

Rohprotein wird mithilfe der Gleichung $R_{pr} = N \cdot 6,25$ (N=Stickstoff) berechnet, da Protein im Mittel 16% Stickstoff enthält.

Rohfett ist eine heterogene Gruppe von Stoffen, die sich in Petroläther (Siedepunkt 40-60 °C) lösen. Diese analytisch als Ätherextrakt definierte Stoffgruppe enthält neben den eigentlichen Fetten (Neutralfette) auch Lipide und andere ätherlösliche Stoffe. Hier wurden ca. 5g der Probe mit 100ml Salzsäure (10%ig) eine Stunde gekocht, mit einem Löffel Kieselgur versetzt und anschließend über einem Fettfilter filtriert. Dieser wurde so lange mit Wasser nachgespült bis er säurefrei war. Danach wurde der Filter zwei Stunden in den Trockenschrank gelegt, anschließend in den Soxhletapparat eingebracht und mindestens 8 Stunden mit Petroläther extrahiert. Nach dem Abdestillieren des Lösemittels wurde das im zuvor leer gewogenen Kölbchen verbleibende Fett im Vakuumschrank 2 Stunden bei 80°C und 200 Torr getrocknet, im Exsiccator abgekühlt und zurückgewogen.

Die Rohasche enthält Mineralstoffe (Mengen- und Spurenelemente) und andere anorganische Substanzen. Die Rohasche wurde gravimetrisch bestimmt. Eine Porzellanschale wurde gewogen und mit Sand gefüllt. Dazu wurden ca. 5g der Probe gegeben, vermischt und die Probe in der Schale drei Stunden bei 550 °C im Muffelofen verascht. Die als Rückstand verbleibende anorganische Komponente wurde samt Schale zurückgewogen.

Rohwasser umfasst sämtliche bei 103 °C flüchtigen Bestandteile der Probe. Dazu zählen neben Wasser auch flüchtige Bestandteile, wie zum Beispiel Fettsäuren, Aromastoffe und Alkohole. Eine Porzellanschale mit Seesand wurde abgewogen und dieser mit 10g der Proben vermischt. Die Schale wurde in einen

Trockenvakuumschrank verbracht und bei 103 °C sechs Stunden erhitzt, anschließend zurückgewogen.

3.5. Vergleich der Ergebnisse von DXA mit denen der chemischen Analyse

Für den Vergleich der Ergebnisse von DXA und Weender Analyse wurden nicht alle Tiere, bei denen die Weender Analyse durchgeführt wurde, einbezogen. Die Tiere, bei denen der Verdauungstraktinhalt getrennt vom Ganzkörper analysiert wurde (n=12), wurden vom Vergleich ausgeschlossen. Außerdem wurden Tiere, bei denen während des Autoklavierens Fehler oder Unsicherheiten auftraten, nicht berücksichtigt. Bei einigen Tieren wurde beispielsweise der Kunststoffbeutel beim Autoklavieren beschädigt oder es drang Kondenswasser in den Behälter ein. Die Altersgruppe 1 mit Tieren, die nach Phase 1 (1.-6. Woche) getötet wurden, besteht somit aus 45 Tieren mit einem durchschnittlichen Gewicht von 1,878kg. In die Altersgruppe 2 mit Tieren, die nach Phase 2 (7.-12. Woche) getötet wurden, sind 40 Tiere mit einem Durchschnittsgewicht von 6,93kg einbezogen. In Altersgruppe 3 (nach der 18. Woche getötet) sind es 11 Tiere mit durchschnittlich 12,56kg und in Altersgruppe 4 (nach der 22. Woche getötet) 4 Tiere mit durchschnittlich 19,68kg. Die erhobenen Daten wurden mittels der Software SAS (Version 8.2) unter der Verwendung eines generalisierten linearen Modells (Regressionsanalyse) einer statistischen Auswertung unterzogen.

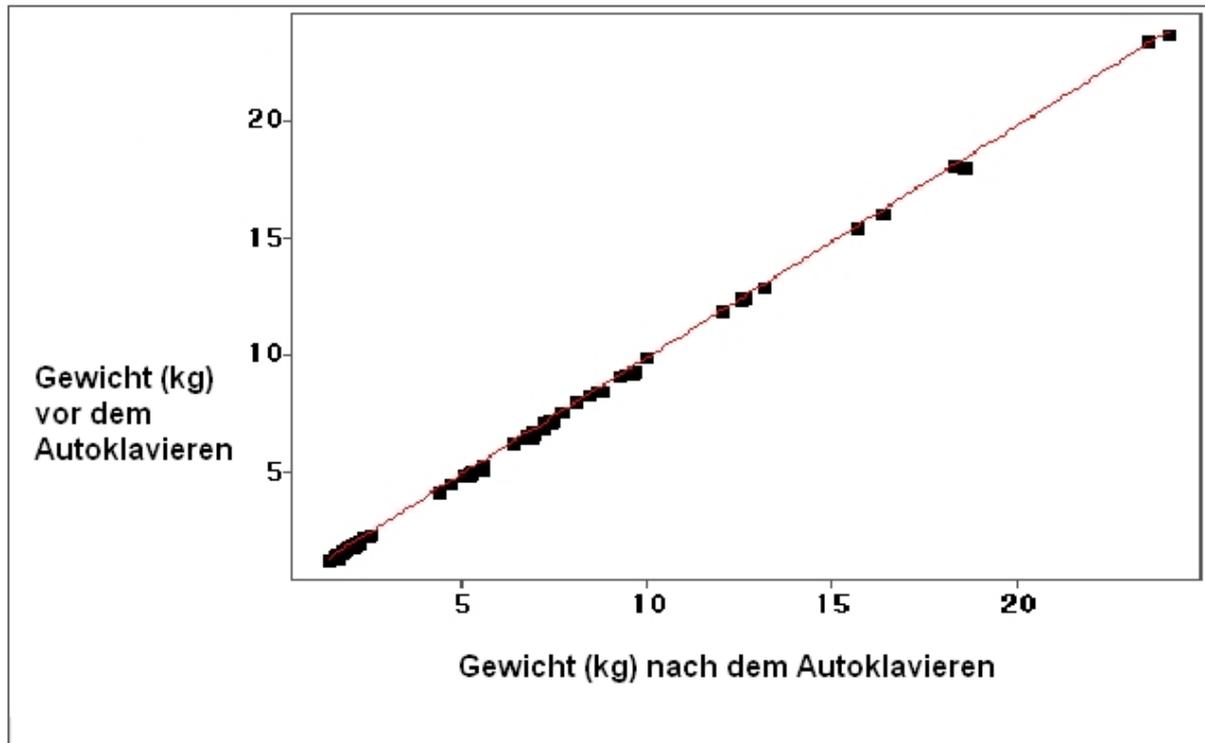


Abb. 3.5.1. Beziehung zwischen dem Gewicht der Puten vor und nach dem Autoklavieren, gemessen mit einer elektronischen Waage
 $y = - 0,00501 + 0,9886 x$; $R^2 = 0,99$; $RMSE = 0,0054$ kg

Die Ergebnisse der Messung des Körpergewichts der Puten mit der elektronischen Waage vor und nach dem Autoklavieren stimmen sehr genau überein. Das Körpergewicht der Tiere, die in die Auswertung einbezogen wurden, wurde durch den Autoklaviervorgang nahezu nicht verfälscht.

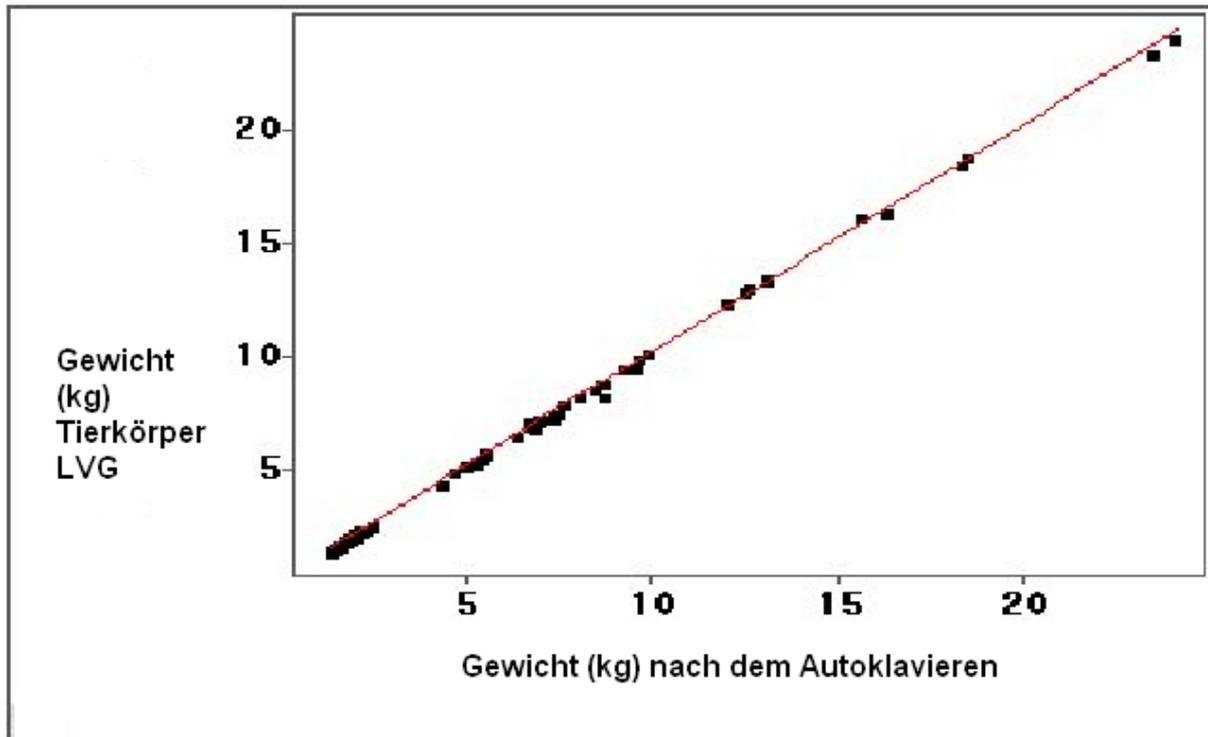


Abb. 3.5.2. Beziehung zwischen dem Gewicht der Tierkörper gemessen am LVG Oberschleißheim mit einer Zugwaage und dem Gewicht der Tierkörper nach dem Autoklavieren ermittelt mit einer elektronischen Waage
 $y = 0,0214 + 1,0057 x$; $R^2 = 0,99$; $RMSE = 0,1311\text{kg}$

Die Abbildung zeigt, dass das Gewicht der Tiere gemessen mit der Zugwaage am LVG im gefrorenen Zustand sehr gut mit dem Gewicht nach dem Autoklavieren übereinstimmt. Das Körpergewicht der Puten veränderte sich durch den Auftauvorgang und das Autoklavieren praktisch nicht.

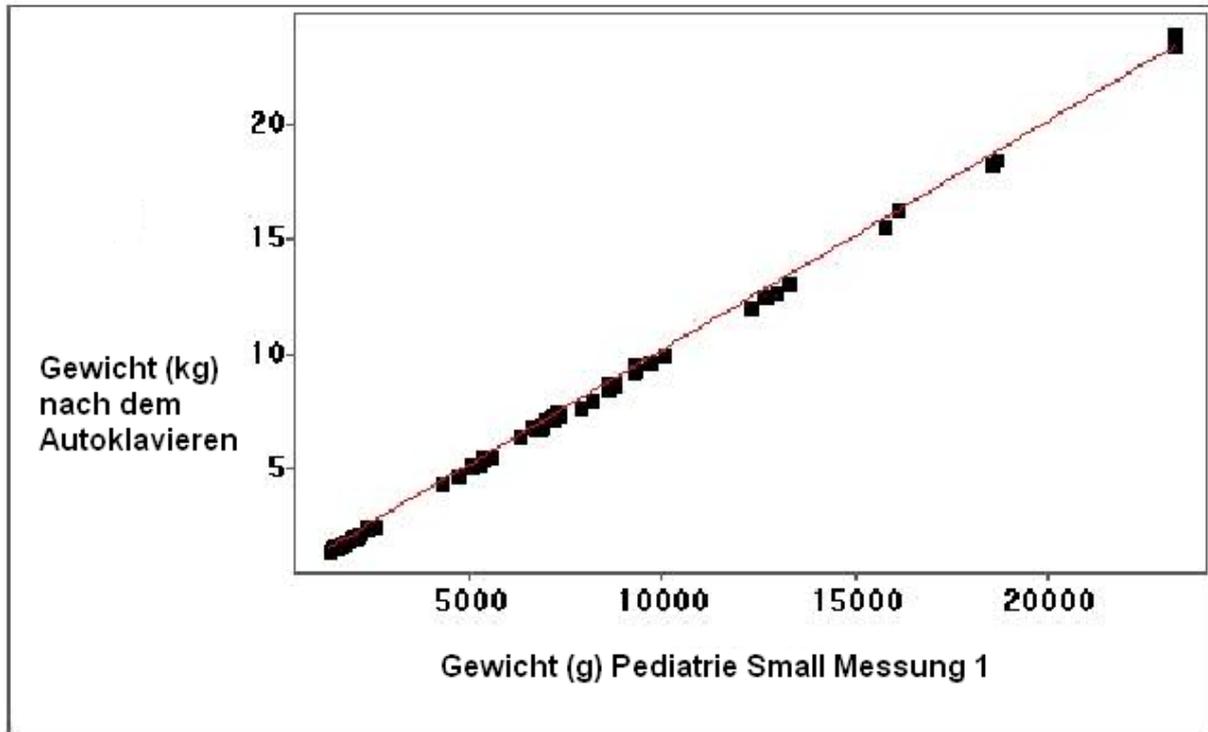


Abb. 3.5.3. Beziehung zwischen dem Gewicht der Puten nach dem Autoklavieren ermittelt mit einer elektronischen Waage und dem Gewicht ermittelt mit DXA (PS-Messung1)

$$y = 0,0789 + 0,0010 x; R^2 = 0,99; RMSE = 0,1361\text{kg}$$

DXA ist in der Lage, das Gewicht der Tiere mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,99$ übereinstimmend mit den nach dem Autoklavieren elektronisch gemessenen Werten sehr genau zu erkennen. In dieser Abbildung sind die Tiere aller Altersgruppen einbezogen. Über den gesamten Gewichtsbereich sind keine deutlichen Abweichungen zwischen den beiden Messmethoden erkennbar.

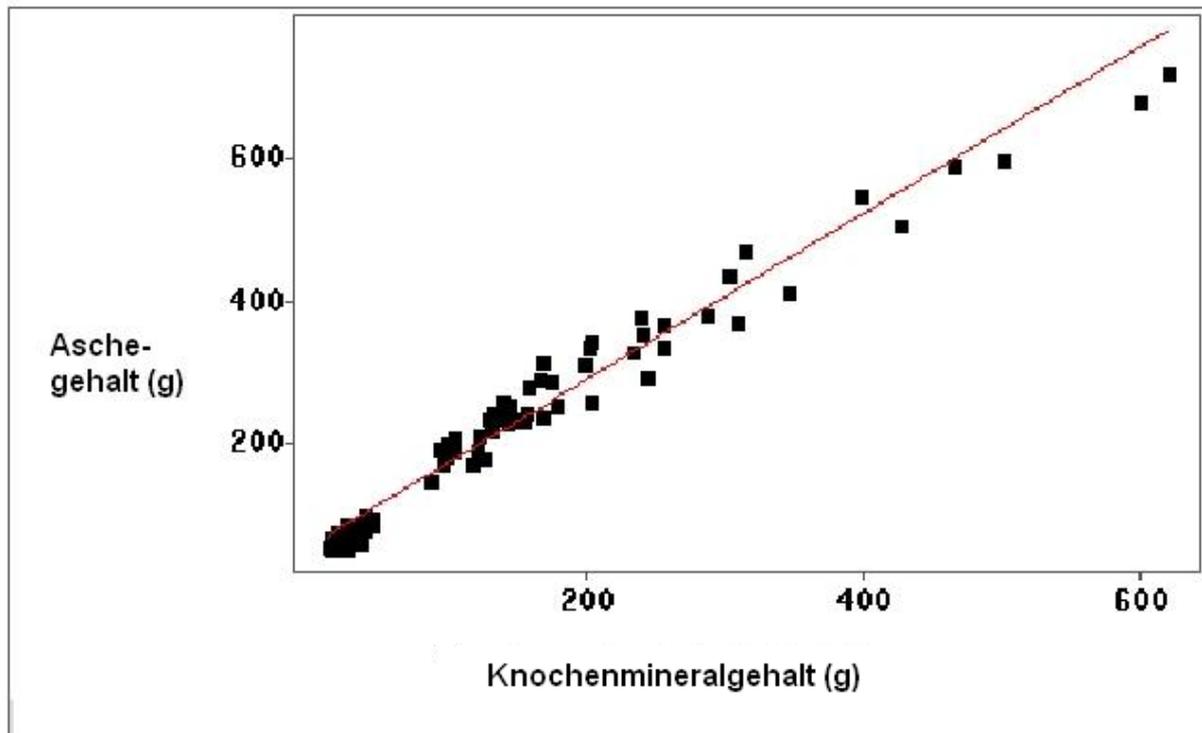


Abb. 3.5.4. Beziehung zwischen Aschegehalt ermittelt mit der Weender Analyse und Knochenmineralgehalt ermittelt mit DXA (PS-Messung 1)

$$y = 52,23 + 1,1719 x; R^2 = 0,97; RMSE = 27,10g$$

Der Knochenmineralgehalt (g) der Tiere aller Altersgruppen ermittelt mittels DXA zeigt mit $R^2=0,97$ eine hohe Übereinstimmung mit dem Aschegehalt (g) aus der Weender Analyse. In einem höheren Gewichtsbereich sind die Abweichungen zwischen den beiden Messmethoden geringfügig größer als bei den leichteren Tieren mit einem geringeren Knochenmineralgehalt bzw. Aschegehalt.

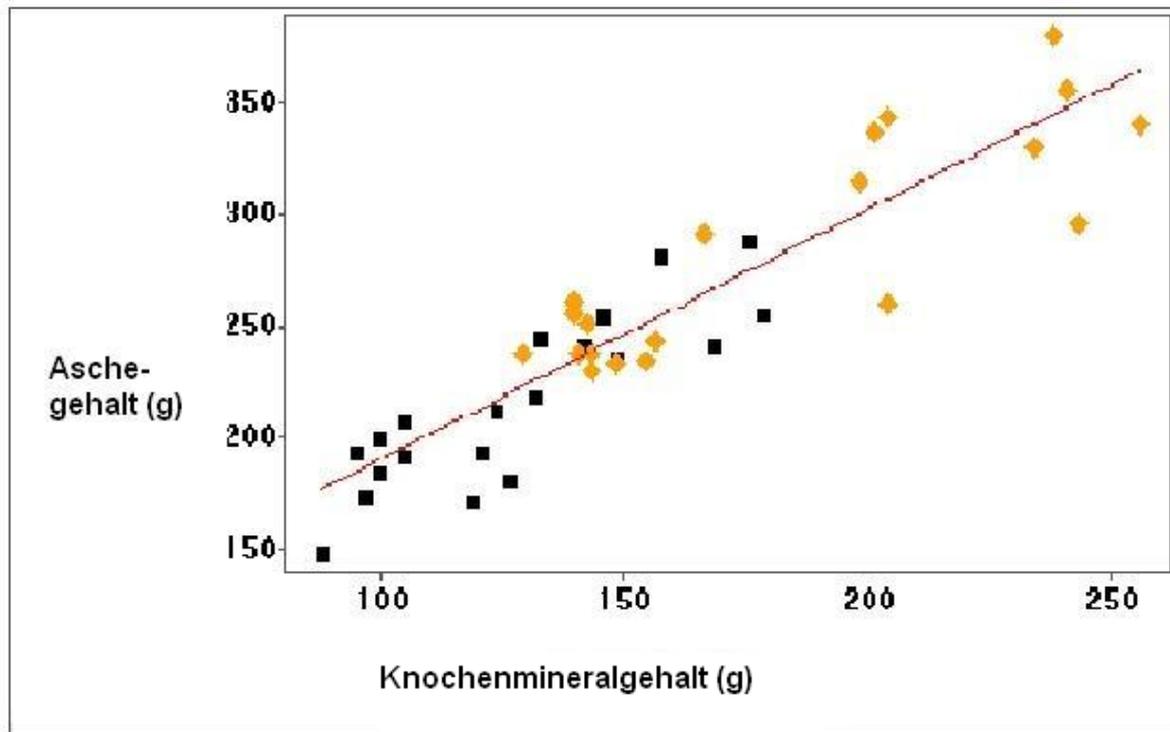


Abb. 3.5.5. Beziehung zwischen Aschegehalt ermittelt mit der Weender Analyse und Knochenmineralgehalt ermittelt mit DXA (PS-Messung 1), Altersgruppe 2, mit Unterscheidung der Genotypen:
Schwarz = Genotyp Kelly Bronze; Orange = Genotyp BIG 6
 $y = 77,3473 + 1,177 x$; $R^2 = 0,83$; $RMSE = 23,1449g$

Die Abbildung 3.5.5. zeigt bei den Tieren der Altersgruppe 2 mit einem niedrigeren Asche- bzw. Knochenmineralgehalt eine größere Übereinstimmung zwischen den beiden Messmethoden. Die farbliche Unterscheidung der Genotypen verdeutlicht, dass die Tiere des Genotyps BIG 6 bereits in dieser Altersgruppe teilweise deutlich höhere Gehalte an Asche bzw. Knochenmineral aufweisen.

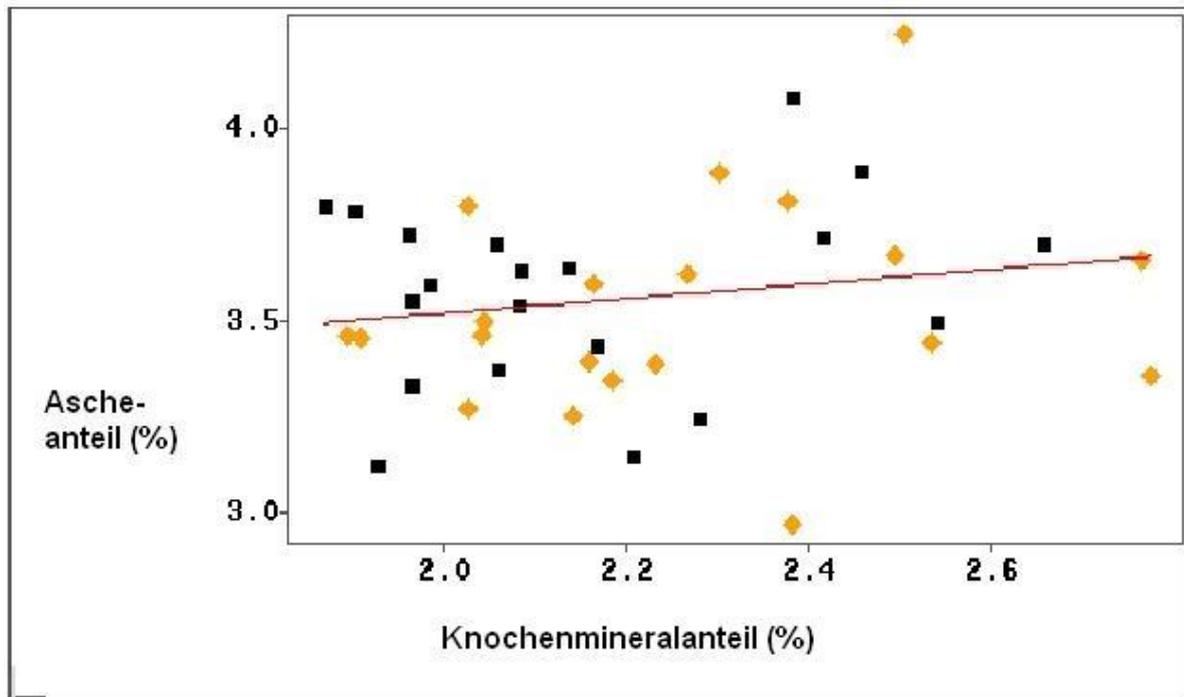


Abb. 3.5.6. Beziehung zwischen dem Ascheanteil ermittelt mit der Weender Analyse und dem Knochenmineralanteil ermittelt mit DXA (PS-Messung 1), Altersgruppe 2, mit Unterscheidung der Genotypen:
Schwarz = Genotyp Kelly Bronze; Orange = Genotyp BIG 6
 $y = 3,1389 + 0,1902 x$; $R^2 = 0,03$; $RMSE = 0,26\%$

In der Altersgruppe 2 kann beim Knochenmineralanteil bzw. Ascheanteil der Tierkörper mit $R^2 = 0,03$ keine Übereinstimmung zwischen der DXA-Messung im Modus „pediatrie small“ und der chemischen Analyse gefunden werden. Dabei zeigen sich keine Unterschiede zwischen den beiden farblich unterschiedlich unterlegten Genotypen.

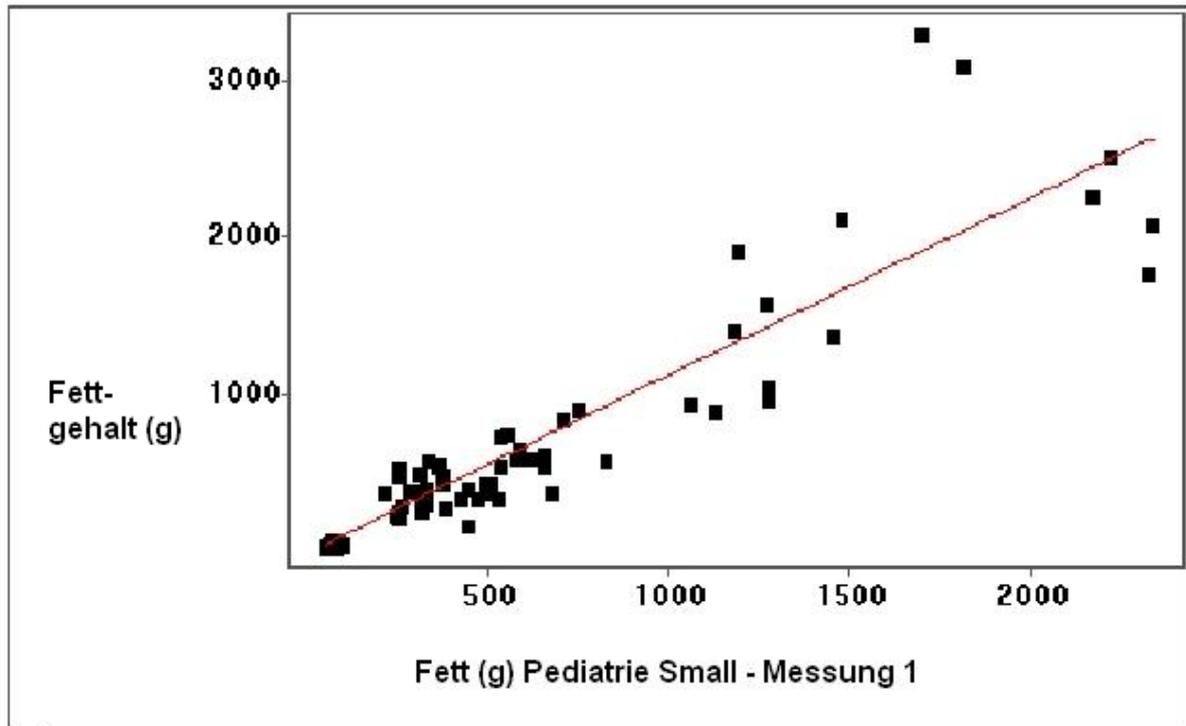


Abb. 3.5.7. Beziehung zwischen Fettgehalt ermittelt mit der Weender Analyse und Fettgehalt ermittelt mit DXA (PS-Messung 1)

$$y = - 20,8232 + 1,1315 x; R^2 = 0,86; RMSE = 254,23g$$

Mit $R^2=0,86$ besteht eine Beziehung zwischen dem von DXA und der Weender Analyse ermittelten Fettgehalt. Es wurden alle Altersgruppen einbezogen. Bei den Tieren mit einem höheren Fettgehalt im Körper weichen die Werte weiter voneinander ab.

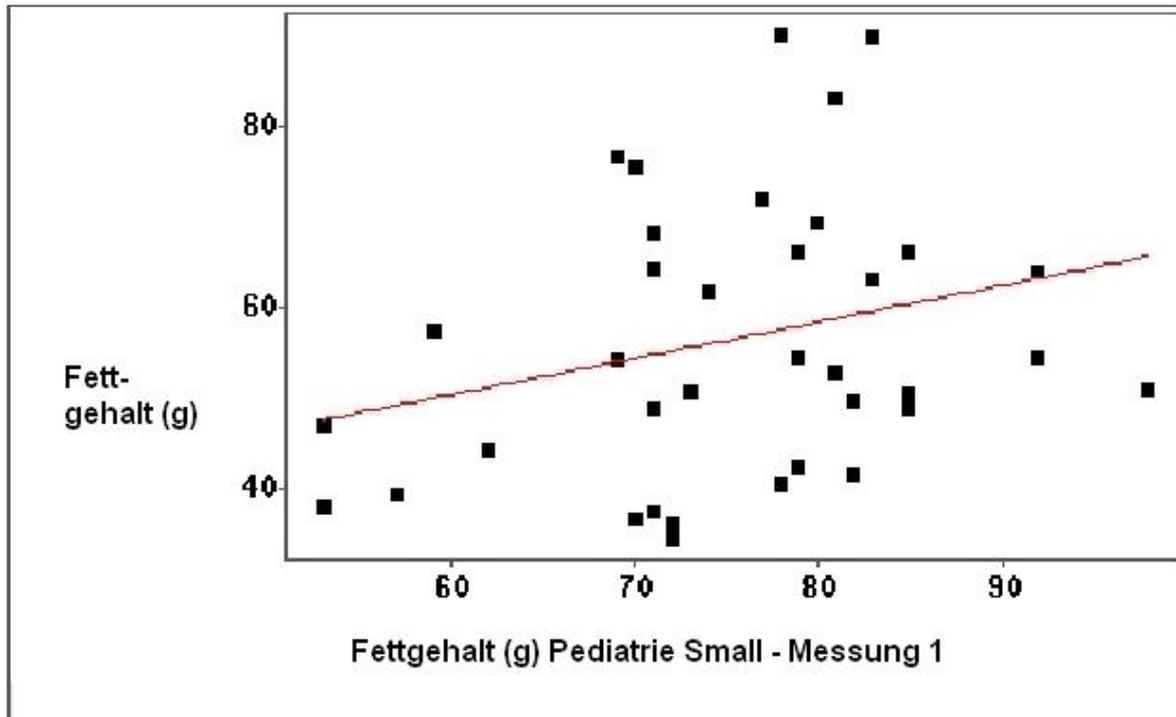


Abb. 3.5.8. Beziehung zwischen Fettgehalt ermittelt mit der Weender Analyse und Fettgehalt ermittelt mit DXA (PS-Messung 1), Altersgruppe 1
 $y = 26,1680 + 0,40123 x$; $R^2 = 0,07$; $RMSE = 14,97g$

In Abbildung 3.5.8. kann keine Übereinstimmung beim Parameter Fettgehalt in g bei den Tieren der Altersgruppe 1 gefunden werden. Der Fettgehalt wird von DXA im Modus „pediatrie small“ gleichmäßig unter- und überschätzt.

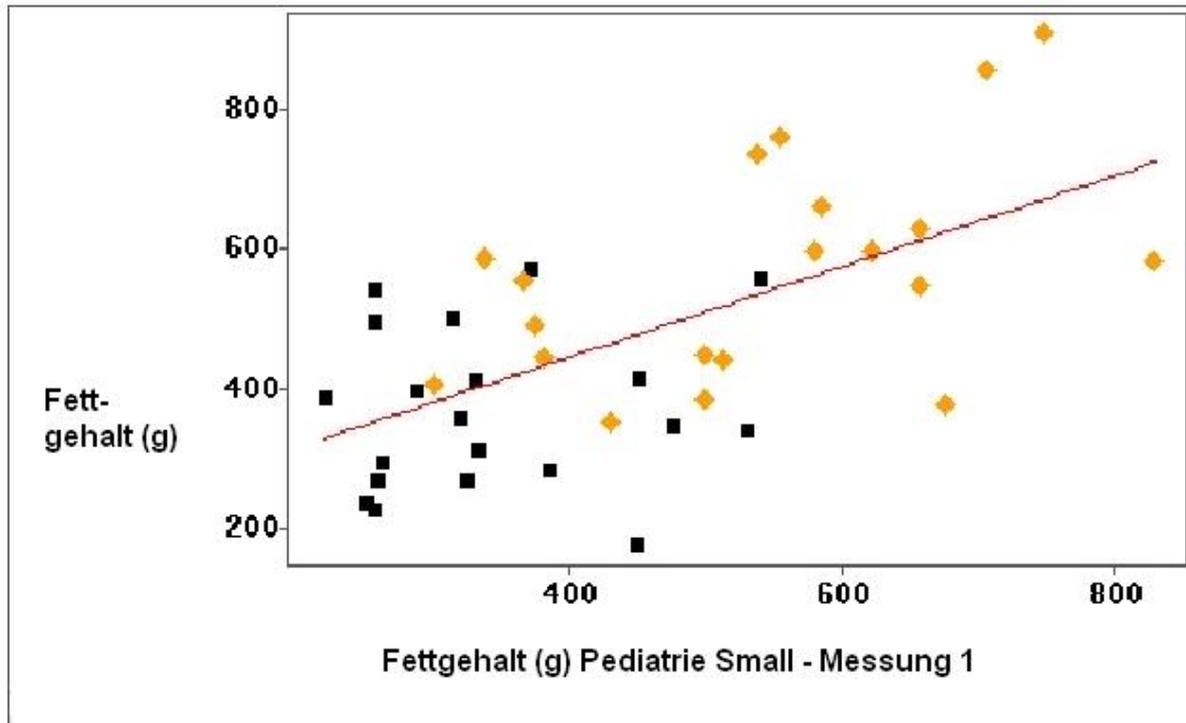


Abb. 3.5.9. Beziehung zwischen Fettgehalt ermittelt mit der Weender Analyse und Fettgehalt ermittelt mit DXA (PS-Messung1), Altersgruppe 2, mit Unterscheidung der Genotypen: Schwarz = Genotyp Kelly Bronze; Orange = Genotyp BIG 6
 $y = 182,467 + 0,6512 x$; $R^2 = 0,37$; $RMSE = 137,53g$

Eine höhere Übereinstimmung, mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,37$, besteht beim Fettgehalt gemessen mit DXA und der chemischen Analyse in der Altersgruppe 2. Die Tiere des Genotyps BIG 6 haben in dieser Altersgruppe einen durchschnittlich höheren Fettgehalt als Kelly Bronze. Auch in dieser Altersgruppe wird der Fettgehalt von DXA gleichmäßig unter- und überschätzt.

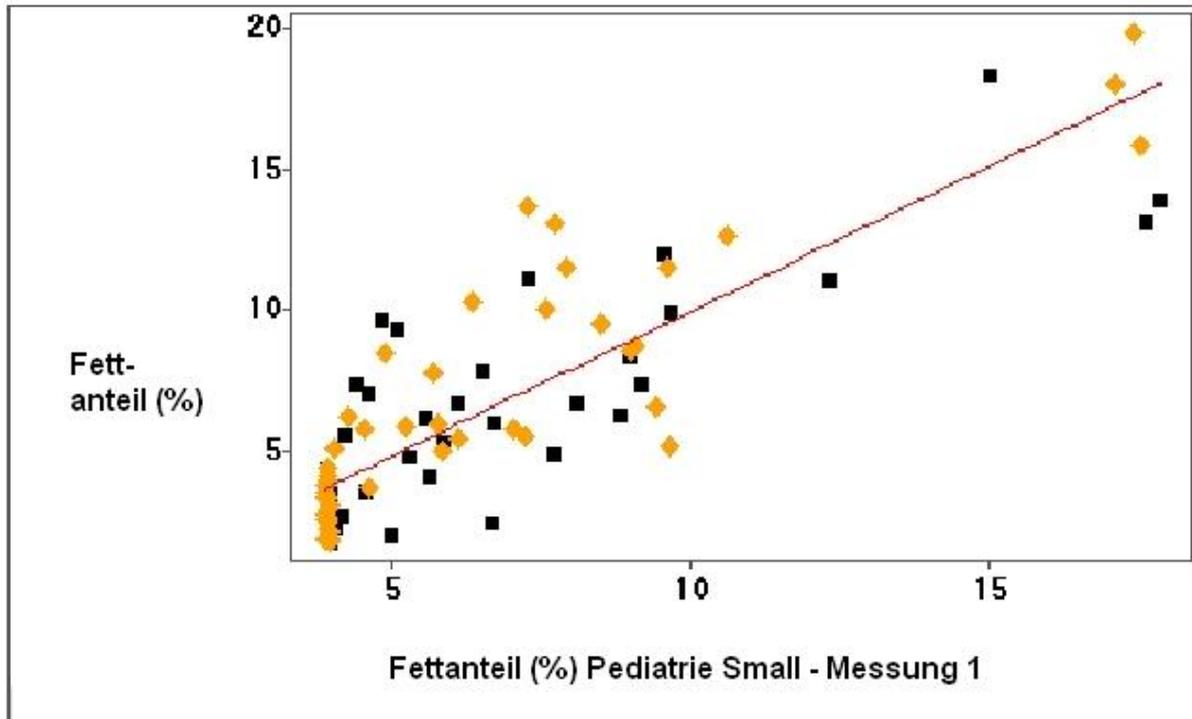


Abb. 3.6.0. Beziehung zwischen Fettanteil ermittelt mit der Weender Analyse und Fettanteil ermittelt mit DXA, mit Unterscheidung der Genotypen:
Schwarz = Genotyp Kelly Bronze; Orange = Genotyp BIG 6
 $y = -0,3586 + 1,0260 x$; $R^2 = 0,74$; $RMSE = 2,11\%$

Abbildung 3.6.0. zeigt eine Übereinstimmung beim Parameter Fettanteil in % zwischen DXA und der Weender Analyse bei den Tieren aller Altersgruppen. Es besteht eine gleichmäßige Verteilung der Werte für den Fettanteil bei den beiden Genotypen.

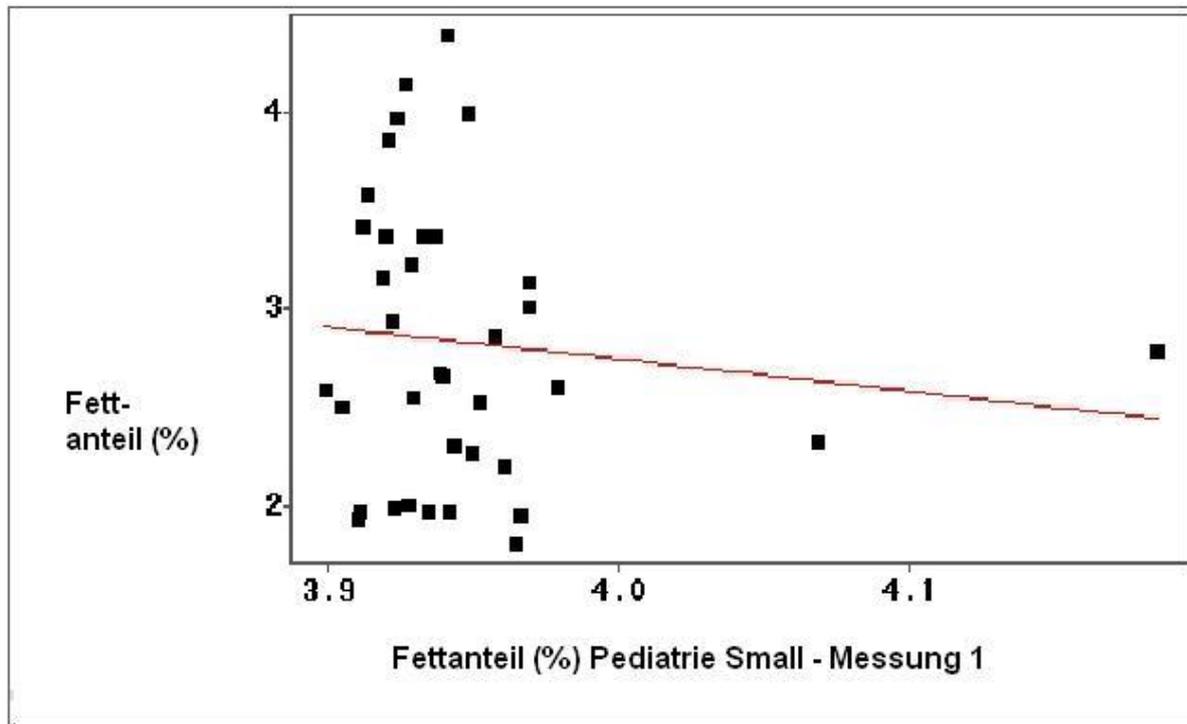


Abb. 3.6.1. Beziehung zwischen Fettanteil ermittelt mit der Weender Analyse und Fettanteil ermittelt mit DXA, Altersgruppe 1
 $y = 9,2843 - 1,6328 x$; $R^2 = 0,01$; $RMSE = 0,73\%$

Beim Fettanteil in % in der Altersgruppe 1, gemessen mit DXA und der Weender Analyse, kann kein Zusammenhang gefunden werden.

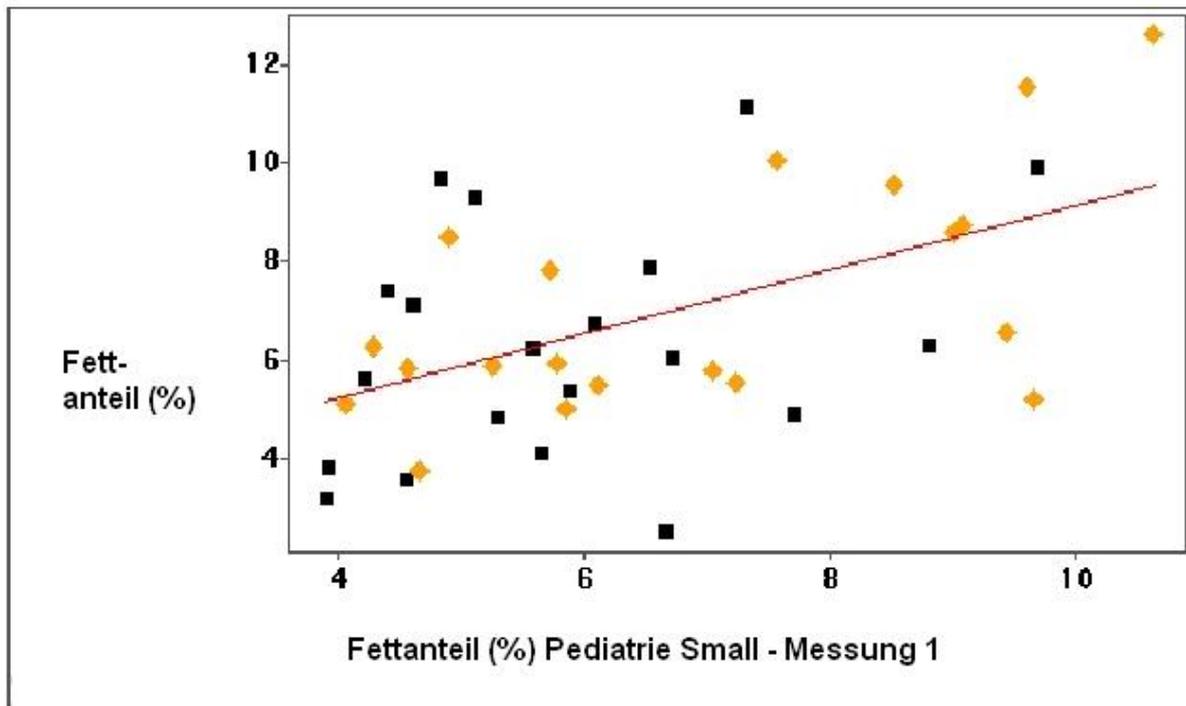


Abb. 3.6.2. Beziehung zwischen Fettanteil ermittelt mit der Weender Analyse und Fettanteil ermittelt mit DXA, Altersgruppe 2, mit Unterscheidung der Genotypen:
Schwarz = Genotyp Kelly Bronze; Orange = Genotyp BIG 6
 $y = 2,6539 + 0,6485 x$; $R^2 = 0,27$; $RMSE = 2,09\%$

DXA kann im Modus „pediatrie small“ nur eine geringe Übereinstimmung beim Fettanteil der Puten der Altersgruppe 2 mit $R^2=0,27$ mit der Weender Analyse erreichen. Der Fettanteil wird von DXA sowohl unter- als auch überschätzt. Es besteht kein Unterschied bei der Ermittlung des Fettanteils zwischen den beiden Genotypen.

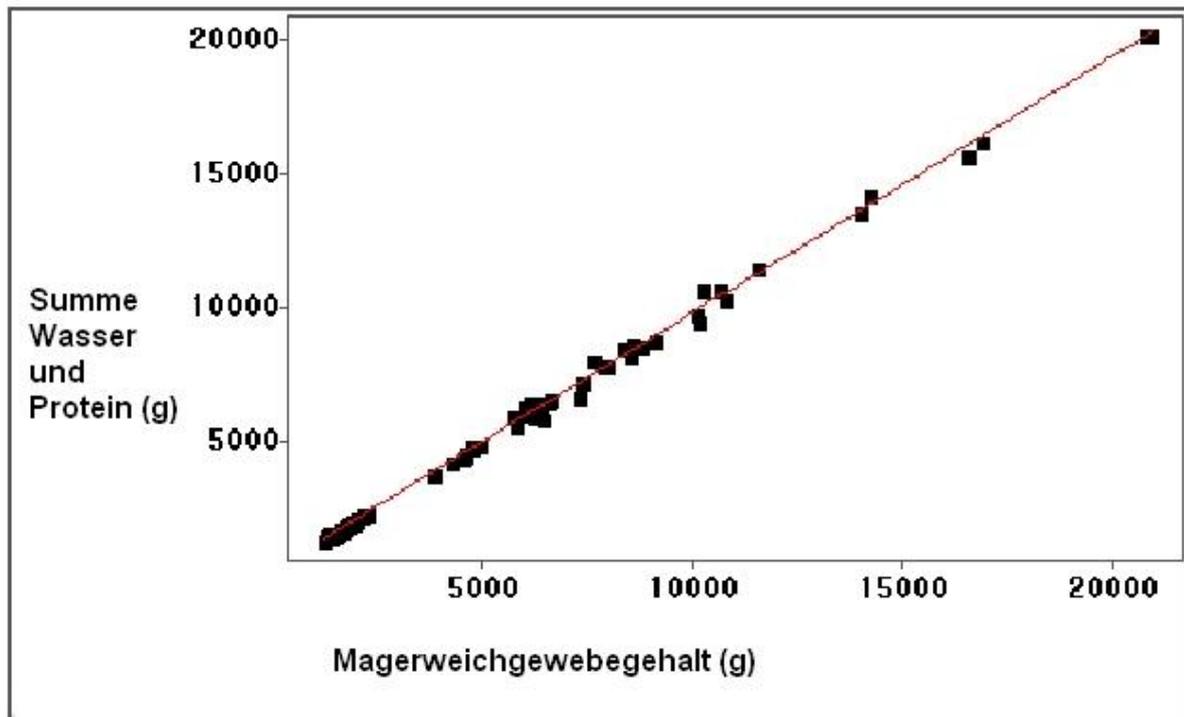


Abb. 3.6.3. Beziehung zwischen der Summe aus Wasser- und Proteingehalt ermittelt mit der Weender Analyse und dem Magerweichgewebebegehalt ermittelt mit DXA (Pediatrie Small – Messung 1)

$$y = 122,966 + 0,9614 x; R^2 = 0,99; RMSE = 178,40g$$

Zwischen den von DXA und den mit der chemischen Analyse ermittelten Werten für den Magerweichgewebe- bzw. Wasser- und Proteingehalt für alle Altersgruppen besteht ein sehr genauer Zusammenhang. DXA kann den Magerweichgewebebegehalt über den gesamten Gewichtsbereich verteilt sehr genau bestimmen.

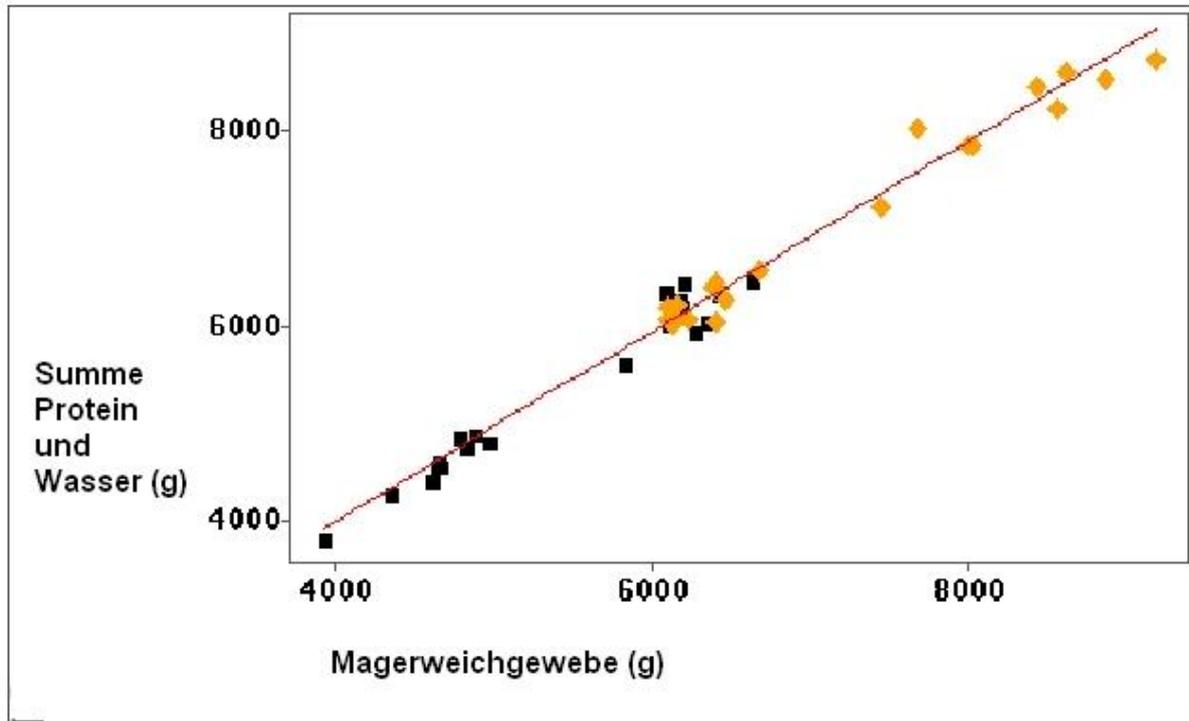


Abb. 3.6.4. Beziehung zwischen der Summe aus Wasser- und Proteingehalt ermittelt mit der Weender Analyse und dem Magerweichgewebegehalt ermittelt mit DXA (Pediatry Small – Messung 1), Altersgruppe 2, mit Unterscheidung der Genotypen:
Schwarz = Genotyp Kelly Bronze; Orange = Genotyp BIG
 $y = 82,2322 + 0,9741 x$; $R^2 = 0,98$; $RMSE = 169,46g$

Betrachtet man die Ergebnisse für die Messung von Summe aus Wasser- und Proteingehalt und Magerweichgewebegehalt in der Altersgruppe 2, wird ebenfalls eine sehr genaue Übereinstimmung mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,98 erreicht. Die Tiere des Genotyps BIG 6 haben in dieser Altersgruppe einen höheren Anteil an Magerweichgewebe als Kelly Bronze.

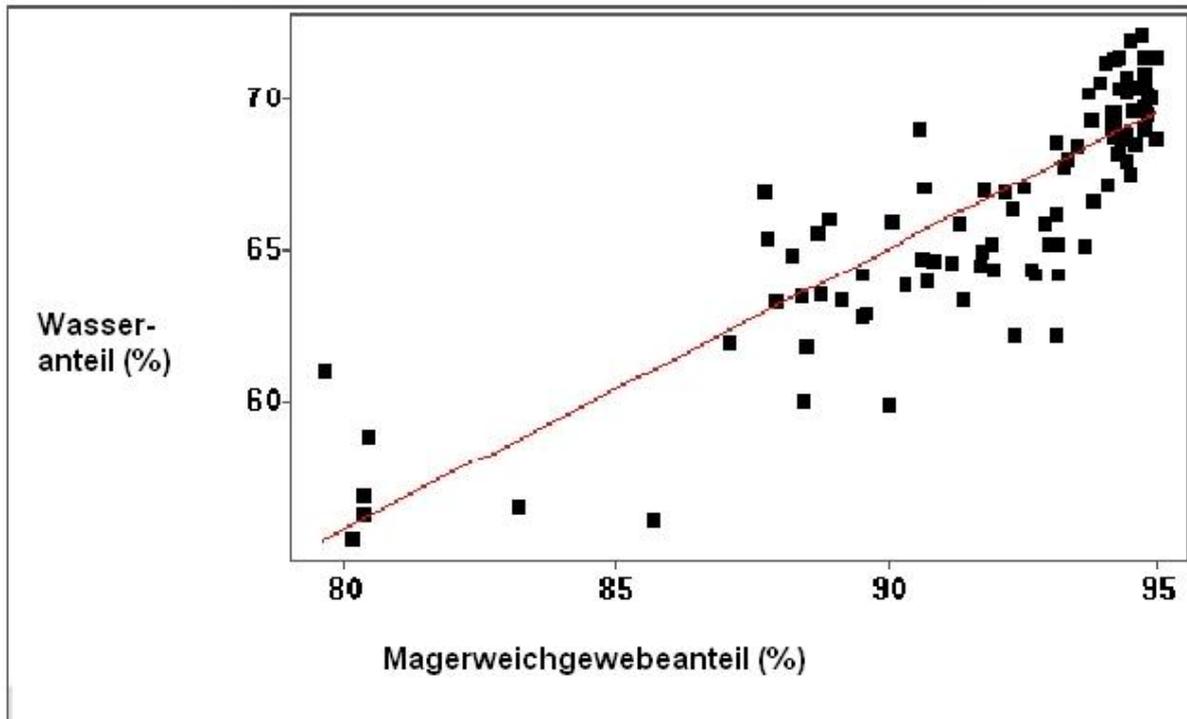


Abb. 3.6.5. Beziehung zwischen dem Anteil an Wasser ermittelt mit der Weender Analyse und dem Magerweichgewebeanteil ermittelt mit DXA (Pediatrie Small – Messung 1)

$$y = - 17,8346 + 0,9202 x; R^2 = 0,73; RMSE = 2,06\%$$

Die Übereinstimmung zwischen Wasseranteil und Magerweichgewebeanteil und Magerweichgewebe ist mit $R^2=0,73$ geringer als die zwischen der Summe aus Wasser und Protein und Magerweichgewebe. In diese Abbildung sind alle Altersgruppen einbezogen.

4. Versuch 2 (Putenversuch 2006): Untersuchung des Wachstumsverlaufs ökologisch erzeugter Puten mit der DXA-Methode

4.1. Einleitung

Die sachgerechte Erzeugung von Putenfleisch unter den speziellen Bedingungen des ökologischen Landbaus und den Vorgaben der EU-Öko-Verordnung gestaltet sich nach wie vor schwierig. Die Forderung nach einer ausschließlichen Versorgung der Tiere mit ökologisch erzeugten Futtermitteln und einer damit einhergehenden möglichen Unterversorgung mit essentiellen Aminosäuren kann zu einer erheblichen Wachstumsdepression der Mastputen führen. Die Forschungsvorhaben zielen derzeit darauf ab, mit richtlinienkonformen Futtermitteln klare Fütterungskonzepte zu erstellen.

In einer Untersuchung an der FH Weihenstephan 2005 (Schmidt et al., 2007) (siehe Kapitel 3.) konnte gezeigt werden, dass mit abnehmendem Gehalt an umsetzbarer Energie (ME) in einem Alleinfuttermittel die freiwillige Futterraufnahme der Puten steigt. Hierbei wurde eine Futtermischung auf der Basis pflanzlicher Proteinträger mit deutlich abgesenktem Energiegehalt ($<12\text{MJ ME/kg}$) und erniedrigten Gehalten an essentiellen Aminosäuren (EAS), mit einem konstanten Verhältnis von EAS zu ME eingesetzt. Die Endgewichte der mit den verschiedenen Fütterungsintensitäten gemästeten Tiere unterschieden sich nur geringfügig voneinander und die Mast- und Schlachtleistungsergebnisse lagen für ökologische Erzeugungsbedingungen auf einem hohen Niveau.

Von April bis Oktober 2006 wurde von Schmidt und Bellof ein weiterer Putenmastversuch durchgeführt. Auf der Grundlage des Versuchs von 2005 sollten die Energiegehalte nochmals abgesenkt ($\leq 11\text{ MJ/ME}$) und erniedrigte Gehalte an essentiellen Aminosäuren, ebenfalls bei einem konstanten Verhältnis EAS:ME eingesetzt werden. Außerdem wurden bei diesen Futtergruppen die Zusatzstoffe Bentonit (FENA-MIN) und Rovabio™ Excel in jeweils zwei unterschiedlichen Konzentrationen eingemischt, um deren Einfluss auf die Gesundheit und das Wachstum der Tiere zu untersuchen. Die Tiere aus diesem Fütterungsversuch wurden in verschiedenen Alters- und Gewichtsklassen post mortem mit der DXA-

Methode untersucht. Damit sollte die Fragestellung geklärt werden, mit welcher Präzision DXA die Körperzusammensetzung und den Wachstumsverlauf der Tiere nachvollziehen kann und inwieweit sich die abgestuften Fütterungskonzepte auf das allometrische Wachstum der schnell wachsenden Putenherkünfte, vor allem hinsichtlich der Knochenmineralisation, auswirken.

4.2. Material und Methoden

Der Versuch wurde im Geflügelstall des Versuchsgutes Zurnhausen (nördlich von Freising) der Fachhochschule Weihenstephan durchgeführt. In einem Durchgang wurden 480 männliche Eintagsküken der Herkunft BIG 6 (Zuchtunternehmen British United Turkeys (BUT)) eingestallt. Die Tiere wurden nach den Vorgaben der Verordnung (EWG) 2092/91 gehalten. Da es sich um einen Exaktversuch mit einer genauen Erfassung der Futterverzehrdaten handelte, stand den Tieren kein Auslauf zur Verfügung. Der Geflügelstall wurde in 24 Abteilungen mit jeweils ca. 6m² unterteilt und 20 Tiere in jedem Abteil untergebracht. Die Einstreu bestand aus einer ca. 10 cm hohen Schicht aus Hobelspänen, worauf später Stroh eingestreut wurde. In der ersten Woche waren die Küken in Kükenringen untergebracht, die mit Wärmelampen, einer Stülptränke und niedrigen Futtergefäßen (Eierkartons) ausgestattet waren. Der Stall wurde mit einem ölbetriebenen Wärmestrahler beheizt, der durch mehrere in den Boxen verteilte Thermostate gesteuert werden konnte. Nach der Ankunft im Stall wurden die Eintagsküken gewogen und nach Gewicht sortiert. Aufgrund der sich daraus ergebenden Normalverteilung wurden die Küken nach Gewicht in die Boxen eingesetzt. Die Aufzucht und Mast wurde in 4 Phasen unterteilt: 1.-6. Woche (Phase 1), 7.-12. Woche (Phase 2), 13.-18. Woche (Phase 3) und 19.-22. Woche (Phase 4).

In 14-tägigem Abstand fanden eine Einzeltierwiegung und die Erfassung des Futterverzehrs für jede Box statt. Nach der ersten Wiegung wurden den Vögeln Flügelmarken mit verschiedenen Farb- und Zahlenkombinationen eingezogen, um deren Identität während des Versuchs und für die nachfolgenden Untersuchungen sicherstellen zu können. Am Ende jeder Phase wurden nach der Einzeltierwiegung die Durchschnittsgewichte jeder Box ermittelt und die am meisten von diesen Werten abweichenden Tiere selektiert.

Am Ende von Phase 1 wurden, abzüglich der bis dahin eingetretenen Verluste, acht Tiere aus jeder Box getötet, um den verbliebenen Tieren den in der genannten Verordnung vorgeschriebenen Platz zur Verfügung zu stellen und den Wachstumsverlauf der Tiere ermitteln zu können. Am Ende von Phase 2 wurden jeweils fünf und am Ende von Phase 3 jeweils drei Puten getötet. Somit verblieben in Phase 4 in jeder Box vier Tiere. Die Tiere wurden betäubt und durch Genickbruch ohne Blutentzug getötet. Nach der Tötung wurden die Hintergliedmaßen im Tarsalgelenk durchtrennt, mit dem Tierkörper in einen Kunststoffbeutel gelegt und der Kopf unter dem rechten Flügel positioniert. Die Tierkörper wurden bei -18°C eingefroren und an das Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim der tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München transportiert, um jedes Tier mittels DXA zu untersuchen.

Die Futtermischungen für diesen Versuch wurden in einem Bioland-Mischfutterwerk (Firma Meika Tierernährung GmbH, Großaitingen) hergestellt und in der Aufzucht in Form von 2mm- und in der Mast als 3mm-Pellets vorgelegt. In beiden Phasen konnten die Tiere das Futter ad libitum aufnehmen. Während die Wasserversorgung über ein Schlauchsystem mit Hochbehälter automatisch sichergestellt war, musste täglich eine bestimmte Futtermenge manuell eingewogen und in die Futterbehälter gefüllt werden. Die Waage für das Futter war mit dem Stallcomputer verbunden und der Futterverbrauch so registriert. In 14-tägigem Abstand wurde nach der Einzeltierwiegung die im Futterbehälter verbliebene Restmenge zurückgewogen. Es wurden 6 verschiedene Alleinfuttermittel hergestellt und in jeweils 4 Abteilungen im Stall verfüttert. Die Alleinfuttermittel waren in zwei Intensitätsstufen (A und Z) unterteilt, die sich hinsichtlich ihres Gehalts an umsetzbarer Energie und essentiellen Aminosäuren unterschieden (siehe Tabellen 4.4.1.1.). Für einen Dosis-Response-Versuch wurden der niedrigeren Energiestufe Z außerdem die Zusatzstoffe Bentonit (FENA-MIN) und Rovabio™ Excel der Firma Adisseo in jeweils zwei unterschiedlichen Mengen zugesetzt. Die unterschiedlichen Futtergruppen wurden mit den Abkürzungen A, Z-0, Z-B1, Z-B2, Z-R1 und Z-R2 versehen. Das Futter A sollte gegenüber konventionellen Alleinfuttermitteln im Energiegehalt um 5-8% auf 11,05 MJ ME/kg in der Aufzucht und ca. 11,5 MJ ME/kg in der Mast gesenkt werden. In den Futtergruppen mit der Energiestufe Z sind ca. 10,5 MJ ME/kg in der Aufzuchtphase und ca. 11 MJ ME/kg in der Mastphase vorgesehen. Dem

Alleinfutter von Gruppe Z-B1 wurde ein Anteil von 1% Bentonit und dem Alleinfuttermittel von Gruppe Z-B2 2% Bentonit zugesetzt.

Dafür wurde das Natrium-Bentonit FENA-MIN, ein Bentonit-Montmorillonithaltiger Futterzusatzstoff des Herstellers Süd-Chemie in Moosburg (Lieferant: Forstmaier-Agrar Bentonit-Handel in Jsen/Obb), verwendet.

Folgende Inhaltstoffe ergab laut Lieferant die chemische Durchschnittsanalyse von FENA-MIN:

Tab. 4.2. Inhaltstoffe FENA-MIN

Kieselsäure	58,0%	Magnesiumoxid	3,5%
Eisenoxid	6,0%	Natriumoxid	2,0%
Aluminiumoxid	20,0%	Kaliumoxid	1,0%
Calciumoxid	2,5%	Glühverlust	7,5%

Dem Futter der Gruppe Z-R1 wurde 0,5% Rovabio™ Excel und dem Futter der Gruppe Z-R2 1% Rovabio™ Excel zugegeben. Die Angaben beziehen sich auf Aufzucht- und Mastperiode. Der Enzymcocktail wurde über eine Vormischung (Weizennachmehl) in die Versuchsmischung eingebracht und die Enzymaktivität in der Futtermischung von der Firma Adisseo untersucht. Ziel sind 1210 „visco units“/kg in Futtermischung Z-R1 und 2420 „visco units“/kg in Futtermischung Z-R2 in jeweils allen vier Phasen.

In den Rationen aller Futtergruppen ist sowohl in der Aufzucht als auch in der Mast Sojakuchen, Leinkuchen (nicht bei Futtergruppe A), Sonnenblumenkuchen, Erbsen (nicht in Altersgruppe 4), Mais, Mineralfutter, Kohlensaurer Futterkalk (nicht in der Aufzucht) enthalten. Sojabohnen und Weizen wurden nur bei Intensitätsstufe A eingesetzt, Hirse nur bei Intensitätsstufe Z in Altersgruppe 3 und 4. Gerste war in der Aufzucht ration der Futtergruppe A und bei den Futtergruppen Z- in Altersgruppe 3 und 4 enthalten. Apfeltrester wurde während des gesamten Versuchs bei der Intensitätsstufe Z in verschiedenen Konzentrationen eingesetzt. Bei der Mineralstoffversorgung der Tiere wurde ein Ca:P-Verhältnis von 1,2:1, angelehnt an die Empfehlungen der konventionellen Mast, angestrebt. Das durchschnittliche Verhältnis lag laut Futtermittelanalyse bei 1,08:1. Bei allen Futtergruppen wurde der absolute Bedarf an Kalzium und Phosphor hoch abgedeckt.

Es erfolgte eine tägliche Erfassung des Gesundheitszustands und der Tierverluste. Von den in der letzten Phase des Versuchs noch verbliebenen 4 Puten in jeder Box wurden jeweils 2 Tiere im Stall getötet und mittels DXA untersucht.

4.3. Untersuchungsablauf DXA

Im Zeitraum von Mai bis Oktober 2006 wurden 420 Puter mit einem Gewicht von 1125 bis 22717g mittels DXA untersucht. Die Messung wurde mit dem Pencilbeam-DXA-Scanner der Firma Lunar, Madison, WI, USA (DPX-IQ) am Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim durchgeführt. Die eingefrorenen Tierkörper wurden in einem Kunststoffbeutel auf dem Scanner-Tisch in der Medianen positioniert. Die Flügelmarke aus Kunststoff wurde am Tier belassen.



Abb. 4.3. Gefrorener Putenkörper auf dem Scannertisch während des Scanvorgangs

Der Scanvorgang dauerte je nach Größe des Tieres 5 bis 24 Minuten.

Alle Puten wurden im Modus Ganzkörper und unter Verwendung des Softwaremodus „pediatric small“ gescannt. Mit DXA wurde das Gewicht, der prozentuale Fettgehalt, der prozentuale und absolute Anteil an Magerweichgewebe, die Knochenmineraldichte (in g/cm²) und der Knochenmineralgehalt (in %) der gefrorenen Tierkörper ermittelt. Die so erhobenen Daten wurden mittels der Software SAS (Version 8.2) unter der Verwendung eines Mischmodells einer Varianzanalyse unterzogen. Als fixe Einflussfaktoren wurden die Alters- und Futtergruppen verwendet, während die Boxnummer als zufälliger Effekt in das Modell aufgenommen wurde.

4.4. Ergebnisse des Putenmastversuchs

4.4.1. Futtermittelanalyse

Die Untersuchung der Einzelfuttermittel und Futtermischungen wurde nach den konventionellen Analysen (Bassler, 1988 und 1997) auf den Nährstoffgehalt und die wichtigsten essentiellen Aminosäuren untersucht. Die energetische Bewertung erfolgte nach den Schätzgleichungen der WPSA.

Kurzbeschreibung der eingesetzten Alleinfutter:

Futter A: energiereduziert gegenüber Standardfutter

Futter Z-0: energiereduziert gegenüber Futter A

Futter Z-B1: energiereduziert gegenüber Futter A, mit 1% Bentonit

Futter Z-B2: energiereduziert gegenüber Futter A, mit 2% Bentonit

Futter Z-R1: energiereduziert gegenüber Futter A, mit 0,5% Rovabio™ Excel

Futter Z-R2: energiereduziert gegenüber Futter A, mit 1% Rovabio™ Excel

Tabellen 4.4.1.1. Ergebnisse der Futtermittelanalyse für die einzelnen Futtergruppen

Futter A

Inhaltsstoff		Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
		Einzelwert	Einzelwert	Einzelwert	Einzelwert
Trockenmasse	g/kg	908	892	906	895
Rohfett	g/kg	72	70	76	76
Rohfaser	g/kg	70	71	57	6,7
NfE	g/kg	382	430	474	517
Stärke	g/kg	230	287	315	346
Zucker	g/kg	44	47	56	56
Rohprotein	g/kg	301	260	247	183
Lysin	g/kg	13,9	11,0	8,9	7,4
Methionin	g/kg	5,5	4,6	4,5	3,1
Cystin	g/kg	4,6	4,4	4,6	3,5
Threonin	g/kg	12,3	9,9	9,1	6,8
Tryptophan	g/kg	2,9	2,3	2,2	2,0
Rohasche	g/kg	83,0	61,0	52,0	52,0
Calcium	g/kg	18,0	10,0	8,8	9,0
Phosphor	g/kg	12,0	9,7	7,9	7,1
ME	MJ/kg	11,55	11,84	12,42	11,95
Lysin/ME	g/MJ	1,20	0,93	0,72	0,62
Methionin/ME	g/MJ	0,48	0,39	0,36	0,26

Futter Z-0

Inhaltsstoff		Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
		Einzelwert	Einzelwert	Einzelwert	Einzelwert
Trockenmasse	g/kg	915	897	902	904
Rohfett	g/kg	69	62	54	69
Rohfaser	g/kg	86	83	54	88
NfE	g/kg	373	426	517	530
Stärke	g/kg	216	270	324	344
Zucker	g/kg	47	48	50	46
Rohprotein	g/kg	314	263	223	171
Lysin	g/kg	14,2	11,3	8,5	6,2
Methionin	g/kg	5,5	4,6	3,7	3,4
Cystin	g/kg	4,6	4,2	4,1	3,4
Threonin	g/kg	12,6	10	8,1	6,5
Tryptophan	g/kg	3	2,4	1,7	1,9
Rohasche	g/kg	73	63	54	46
Calcium	g/kg	13	10	9,7	6,5
Phosphor	g/kg	12	9,7	8	6,3
ME	MJ/kg	11,45	11,34	11,37	11,36
Lysin/ME	g/MJ	1,24	1,00	0,75	0,55
Methionin/ME	g/MJ	0,48	0,41	0,33	0,30

Futter Z-B1

Inhaltsstoff		Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
		Einzelwert	Einzelwert	Einzelwert	Einzelwert
Trockenmasse	g/kg	923	894	909	907
Rohfett	g/kg	67	66	65	68
Rohfaser	g/kg	86	74	74	90
NfE	g/kg	372	422	488	536
Stärke	g/kg	213	258	303	351
Zucker	g/kg	52	46	46	46
Rohprotein	g/kg	322	264	222	163
Lysin	g/kg	14,4	10,9	8,6	6,6
Methionin	g/kg	5,9	4,6	4	3
Cystin	g/kg	5	4	3,7	2,9
Threonin	g/kg	12,9	9,9	8	6,1
Tryptophan	g/kg	3	2,2	1,7	1,9
Rohasche	g/kg	76	68	60	50
Calcium	g/kg	12	11	9,4	6,6
Phosphor	g/kg	12	10	8,2	6,3

ME	MJ/kg	11,52	11,26	11,33	11,32
Lysin/ME	g/MJ	1,25	0,97	0,76	0,58
Methionin/ME	g/MJ	0,51	0,41	0,35	0,27

Futter Z-B2

Inhaltsstoff		Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
		Einzelwert	Einzelwert	Einzelwert	Einzelwert
Trockenmasse	g/kg	920	896	911	906
Rohfett	g/kg	68	61	64	67
Rohfaser	g/kg	82	70	76	87
NfE	g/kg	382	405	473	532
Stärke	g/kg	215	253	294	346
Zucker	g/kg	48	46	48	45
Rohprotein	g/kg	309	273	233	163
Lysin	g/kg	13,7	11,1	8,5	6,2
Methionin	g/kg	5,6	4,6	4	3
Cystin	g/kg	4,8	4,2	4	3
Threonin	g/kg	12,3	10	8,3	6
Tryptophan	g/kg	3	2,5	2,1	1,8
Rohasche	g/kg	79	87	65	57
Calcium	g/kg	12	12	9	7,2
Phosphor	g/kg	11	11	8,1	6,4
ME	MJ/kg	11,34	11,15	11,34	11,19
Lysin/ME	g/MJ	1,21	1,00	0,75	0,55
Methionin/ME	g/MJ	0,49	0,41	0,35	0,27

Futter Z-R1

Inhaltsstoff		Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
		Einzelwert	Einzelwert	Einzelwert	Einzelwert
Trockenmasse	g/kg	920	897	909	907
Rohfett	g/kg	67	61	64	68
Rohfaser	g/kg	85	70	86	88
NfE	g/kg	395	430	471	536
Stärke	g/kg	217	241	292	342
Zucker	g/kg	47	48	50	52
Rohprotein	g/kg	303	266	231	164
Lysin	g/kg	13,8	11,2	8,8	6,3
Methionin	g/kg	5,3	4,6	4,1	2,9
Cystin	g/kg	4,6	4,1	3,9	3
Threonin	g/kg	12	10	8,3	6,1
Tryptophan	g/kg	2,8	2,3	1,9	1,8
Rohasche	g/kg	70	70	57	51
Calcium	g/kg	10	12	8,7	7,2
Phosphor	g/kg	11	11	8,1	6,4

ME	MJ/kg	11,23	10,87	11,30	11,26
Lysin/ME	g/MJ	1,23	1,03	0,78	0,56
Methionin/ME	g/MJ	0,47	0,42	0,36	0,26

Futter Z-R2

Inhaltsstoff		Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
		Einzelwert	Einzelwert	Einzelwert	Einzelwert
Trockenmasse	g/kg	922	895	909	914
Rohfett	g/kg	67	63	66	65
Rohfaser	g/kg	90	73	84	90
NfE	g/kg	385	424	479	544
Stärke	g/kg	211	260	292	346
Zucker	g/kg	50	53	56	39
Rohprotein	g/kg	311	270	220	167
Lysin	g/kg	14,1	11,1	8,2	6,9
Methionin	g/kg	5,6	4,5	3,9	3,2
Cystin	g/kg	4,8	4,1	3,7	3,1
Threonin	g/kg	12,4	9,9	8,1	6,5
Tryptophan	g/kg	2,7	2,2	2	1,9
Rohasche	g/kg	69	65	60	48
Calcium	g/kg	10	10	9,9	7,1
Phosphor	g/kg	11	10	9,3	6,7
ME	MJ/kg	11,29	11,38	11,28	11,10
Lysin/ME	g/MJ	1,25	0,98	0,73	0,62
Methionin/ME	g/MJ	0,50	0,40	0,35	0,29

Die Analyse der Enzymaktivität in den Futtermischungen Z-R1 und Z-R2 wurde von der Firma Adisseo durchgeführt.

Tab. 4.4.1.2. Enzymaktivität (visco units/kg) in den Futtergruppen Z-R1 und Z-R2 in den 4 Versuchsphasen

<i>Phase</i>	<i>Futter Z-R1</i>	<i>Futter Z-R2</i>
1	964	1612
2	1082	2275
3	1057	2477
4	955	2019

4.4.2. Tierverluste

Der Versuch verlief mit insgesamt 3,69% Tierverlusten störungsfrei.

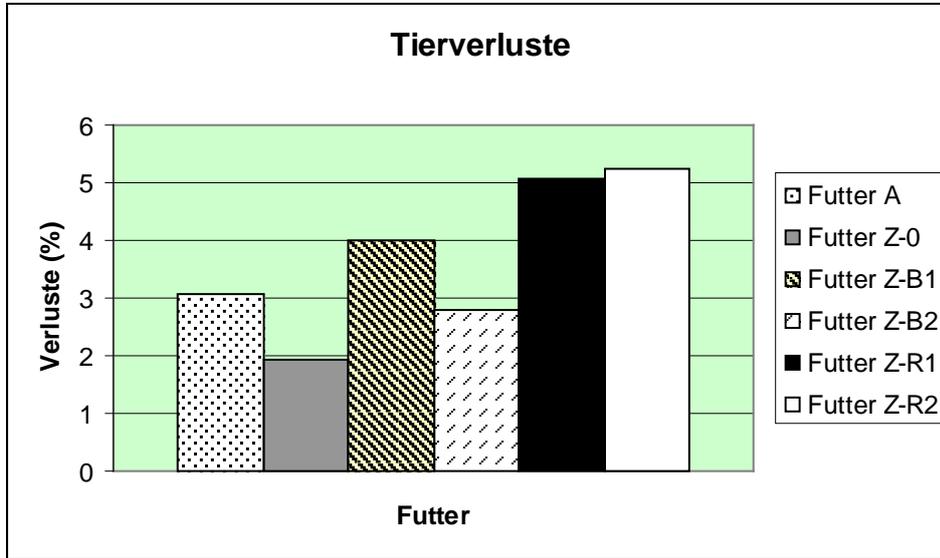


Abb. 4.4.2. Tierverluste in den einzelnen Futtergruppen in %, Mittelwerte aus allen vier Altersgruppen

4.4.3. Futteraufnahme

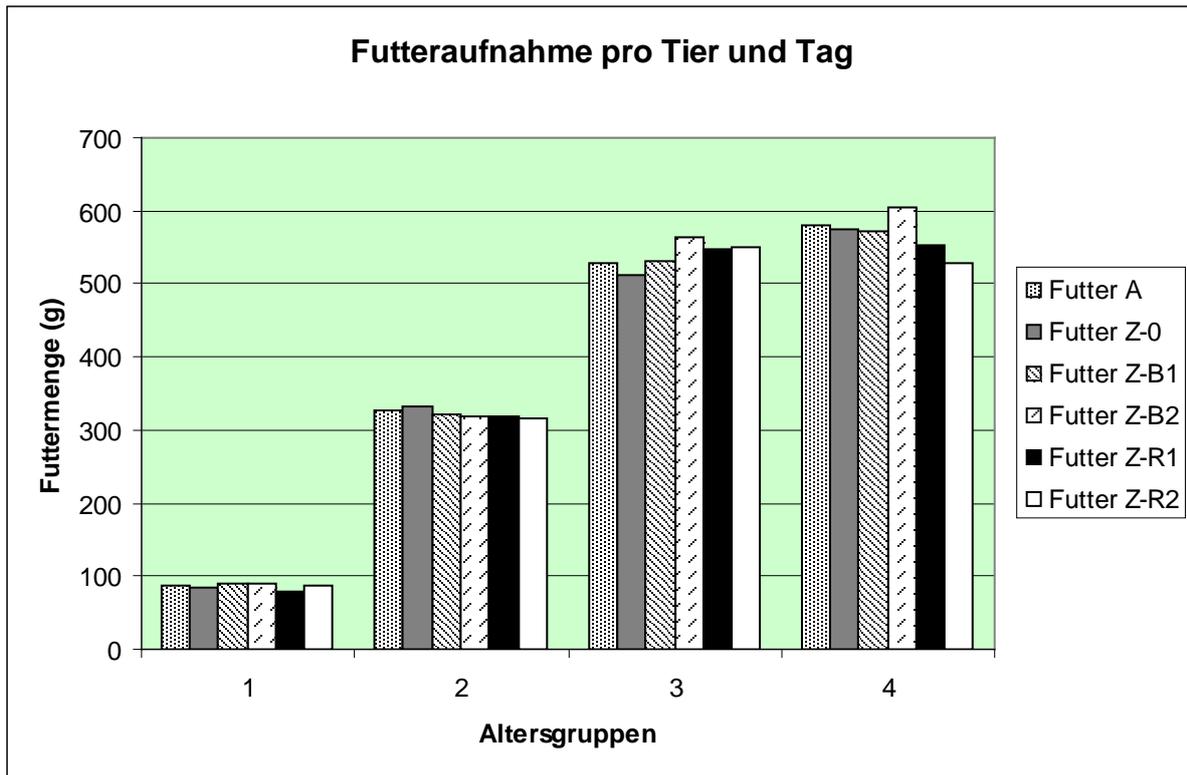


Abb. 4.4.3. Durchschnittliche Futteraufnahme pro Tier und Tag

Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) bestehen lediglich in Altersgruppe 3 zwischen Futtergruppe Z-0 und Z-B2. Annähernd signifikante Unterschiede bestehen in Altersgruppe 2 zwischen den Futtergruppen Z-0 und Z-R2 ($p = 0,062$) und in Altersgruppe 4 zwischen den Futtergruppen Z-B2 und Z-R2 ($p = 0,069$).

Tab. 4.4.3. Durchschnittliche Futteraufnahme der einzelnen Futtergruppen pro Tier und Tag über alle 4 Altersgruppen in g

<i>Futter A</i>	359,11 ($\pm 6,77$)
<i>Futter Z-0</i>	354,64 ($\pm 6,77$)
<i>Futter Z-B1</i>	359,43 ($\pm 6,77$)
<i>Futter Z-B2</i>	372,73 ($\pm 6,77$)
<i>Futter Z-R1</i>	356,37 ($\pm 6,77$)
<i>Futter Z-R2</i>	354,05 ($\pm 6,77$)

4.4.4. Durchschnittliche ME Aufnahme



Abb. 4.4.4. Gesamte durchschnittlich aufgenommene ME der einzelnen Futtergruppen pro Altersgruppe

Tab. 4.4.4. Durchschnittlich aufgenommene ME der einzelnen Futtergruppen pro Altersgruppe

	A	Z-0	Z-B1	Z-B2	Z-R1	Z-R2
1	42,36 ±2,16	40,36 ±2,16	44,14 ±2,16	43,32 ±2,16	37,79 ±2,16	41,14 ±2,16
2	162,39 ^a ±2,56	157,94 ^{a^c} ±2,56	152,55 ^{b^c} ±2,56	149,55 ^b ±2,56	145,87 ^b ±2,56	151,35 ^{b^c} ±2,56
3	275,05 ^a ±6,89	244,73 ^b ±6,89	253,34 ^{b^c} ±6,89	268,89 ^{a^c} ±6,89	260,09 ^{a^b} ±6,89	261,00 ^{a^b} ±6,89
4	179,92 ^a ±8,26	169,59 ^{a^b} ±8,26	168,59 ^{a^b} ±8,26	175,8 ^{a^b} ±8,26	161,76 ^{a^b} ±8,26	152,43 ^b ±8,26

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Annähernd signifikante Unterschiede bestehen in Altersgruppe 1 zwischen den Futtergruppen Z-B1 und Z-R1 ($p = 0,052$) und in Altersgruppe 4 zwischen Z-B2 und Z-R2 ($p = 0,06$).

4.4.5. ME pro kg metabolisches Körpergewicht

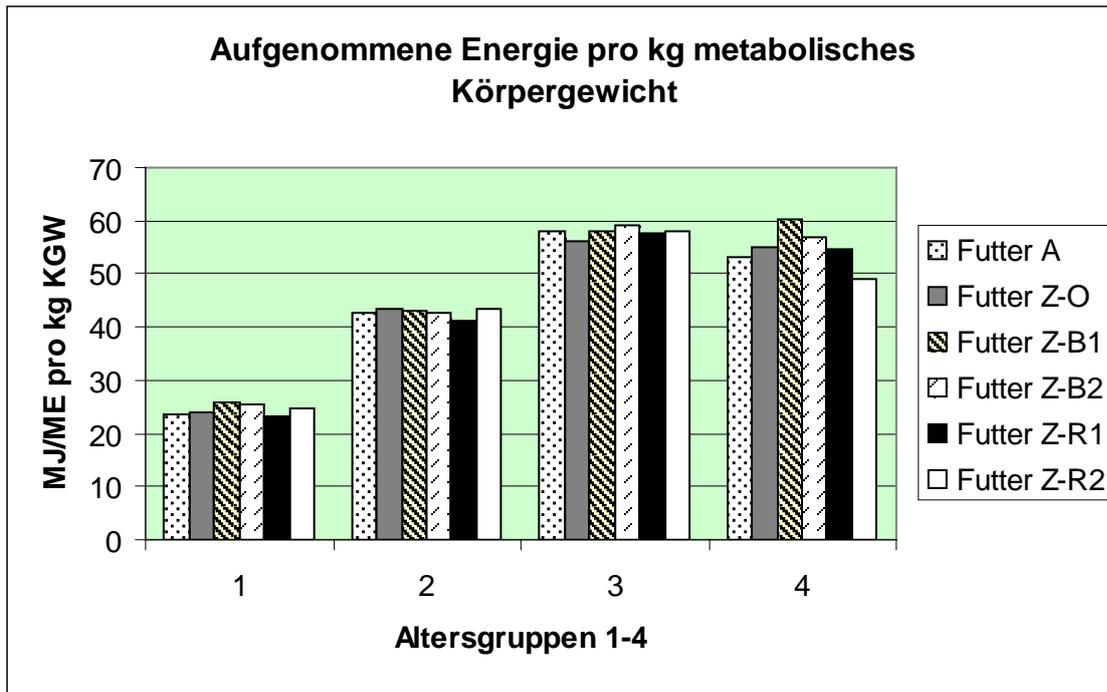


Abb. 4.4.5. Aufgenommene Energie (MJ/ME) pro kg metabolisches Körpergewicht

Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) bestehen nur in Altersgruppe 2 zwischen den Futtergruppen Z-O und Z-R1, Z-B1 und Z-R1 sowie Z-R1 und Z-R2.

4.4.6. Futterverwertung

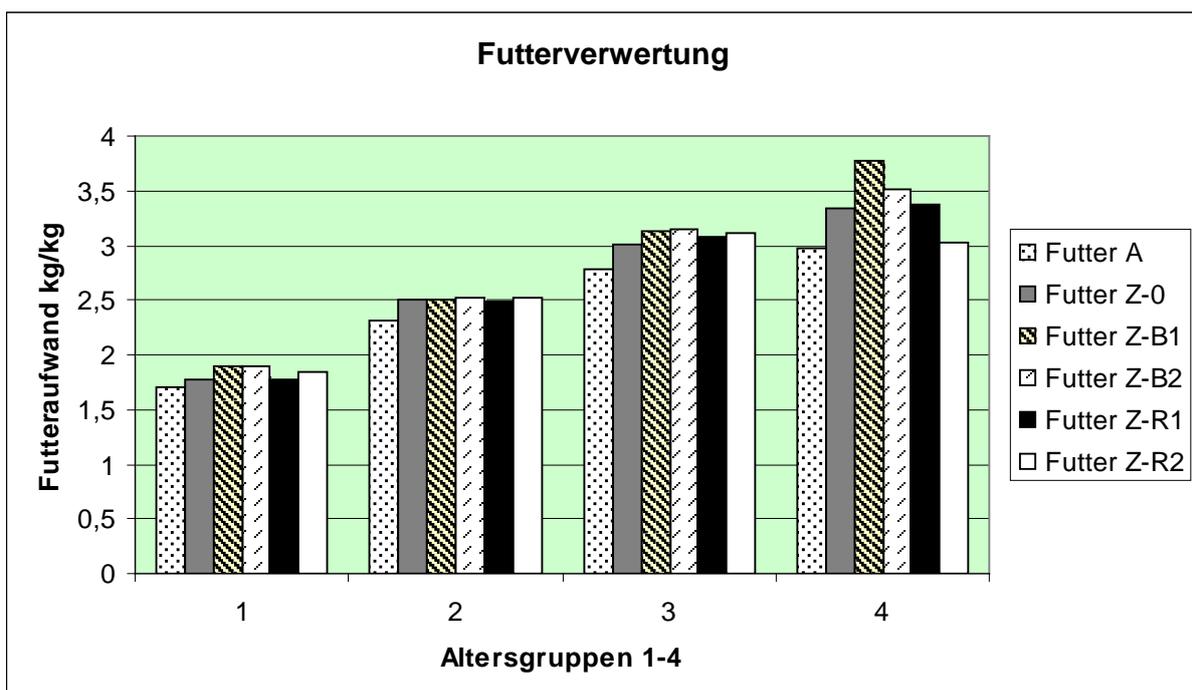


Abb. 4.4.6. Futterverwertung (kg Futter pro kg Zuwachs) der einzelnen Futtergruppen in Altersgruppe 1-4

Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) bestehen in Altersgruppe 2 zwischen Futtergruppen A und Z-0, Z-B1, Z-B2, Z-R1, Z-R2. In Altersgruppe 3 zwischen Futtergruppen A und Z-B1, Z-B2, Z-R2 und annähernd signifikant mit Z-R1 ($p = 0,055$). Keine signifikanten Unterschiede bestehen in der Altersgruppe 1. In Altersgruppe 4 findet sich eine Tendenz zu einem signifikanten Unterschied zwischen den Futtergruppen A und Z-B1 ($p = 0,07$). Der Futteraufwand pro kg Zuwachs steigt mit zunehmendem Alter.

4.4.7. Kotviskositätsanalyse

Die Kotproben für die Viskositätsanalyse wurden am Ende jeder der vier Versuchsphasen gezogen. Dazu wurde der Kot, den die Tiere einzeln in einer großen Kunststoffwanne abgesetzt hatten, gesammelt. In jeder Box wurden fünf Tiere bzw. in der letzten Phase 3 Tiere beprobt. Die Kotproben der Tiere einer Box wurden anschließend gemischt und bei -18°C tiefgekühlt. Für jede Futtergruppe wurden so pro Phase vier Sammelkotproben analysiert und daraus der Mittelwert errechnet, der in Abb. 4.5.4. dargestellt ist. Die Kotproben wurden gewogen, in einen Trockenschrank verbracht und anschließend durch Zurückwiegen die Trockenmasse bestimmt, danach in einer Fallzahlmühle fein gemahlen und zur weiteren Analyse in das Labor der FH Bingen verbracht. Die Analyse wurde nach den Vorschriften von Dusel et al. (1997) durchgeführt. Zu einem Gramm pulverisiertem Kot wurden zwei Milliliter destilliertes Wasser gegeben und danach auf den Rüttler gestellt bis eine homogene Mischung vorlag. Dann wurde die Probe unter kontinuierlichem Schwenken 30 Minuten in einem auf 38°C temperierten Wasserbad inkubiert. Die Probe wurde bei 3000 Umdrehungen pro Minute 10 Minuten lang zentrifugiert und dann vom Überstand 0,5ml abpipettiert. Von dieser Flüssigkeit wurde im

Viskosimeter ein Messwert erstellt. Von jeder Probe wurden zwei Messwerte herangezogen und daraus der Mittelwert errechnet.

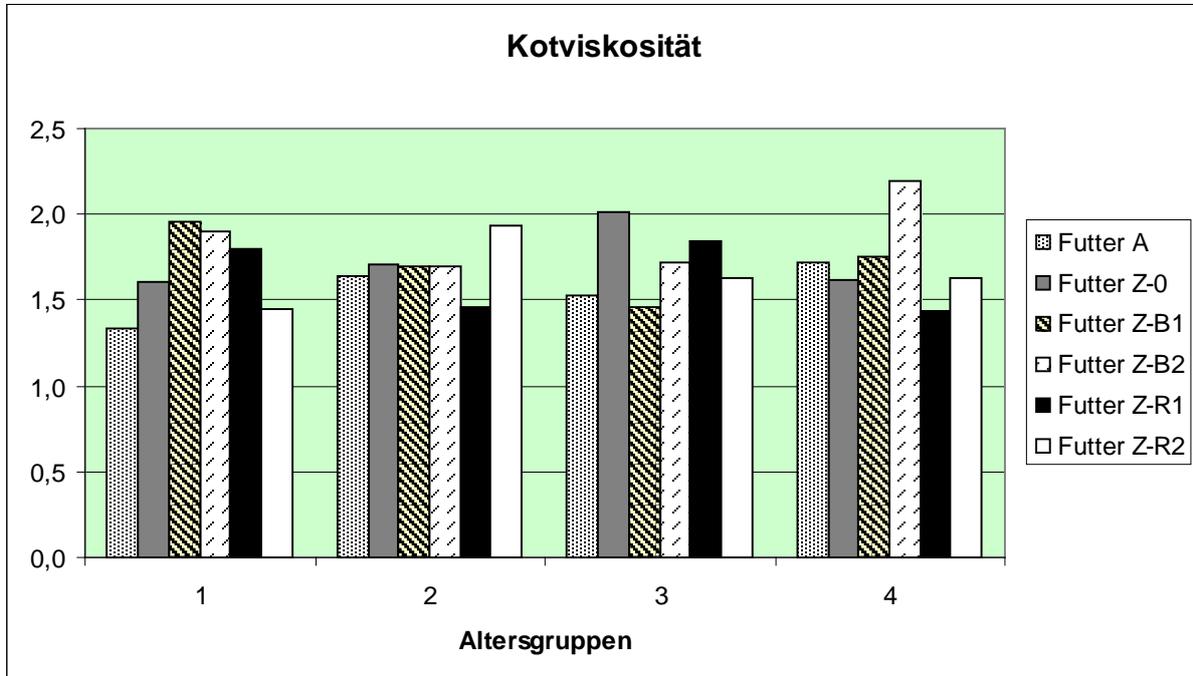


Abb. 4.4.7.1. Kotviskosität (visco units/kg) bei einer einmaligen Untersuchung in jeder Altersgruppe

Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) bestehen in Altersgruppe 1 zwischen den Futtergruppen A und Z-B1 sowie A und Z-B2. Annähernd signifikant unterscheiden sich Z-B1 und Z-R2 ($p = 0,06$). In Altersgruppe 3 bestehen Signifikanzen zwischen Z-0 und Z-B1 und in Altersgruppe 4 zwischen Z-0 und Z-B2, Z-B2 und Z-R1 sowie Z-B2 und Z-R2.

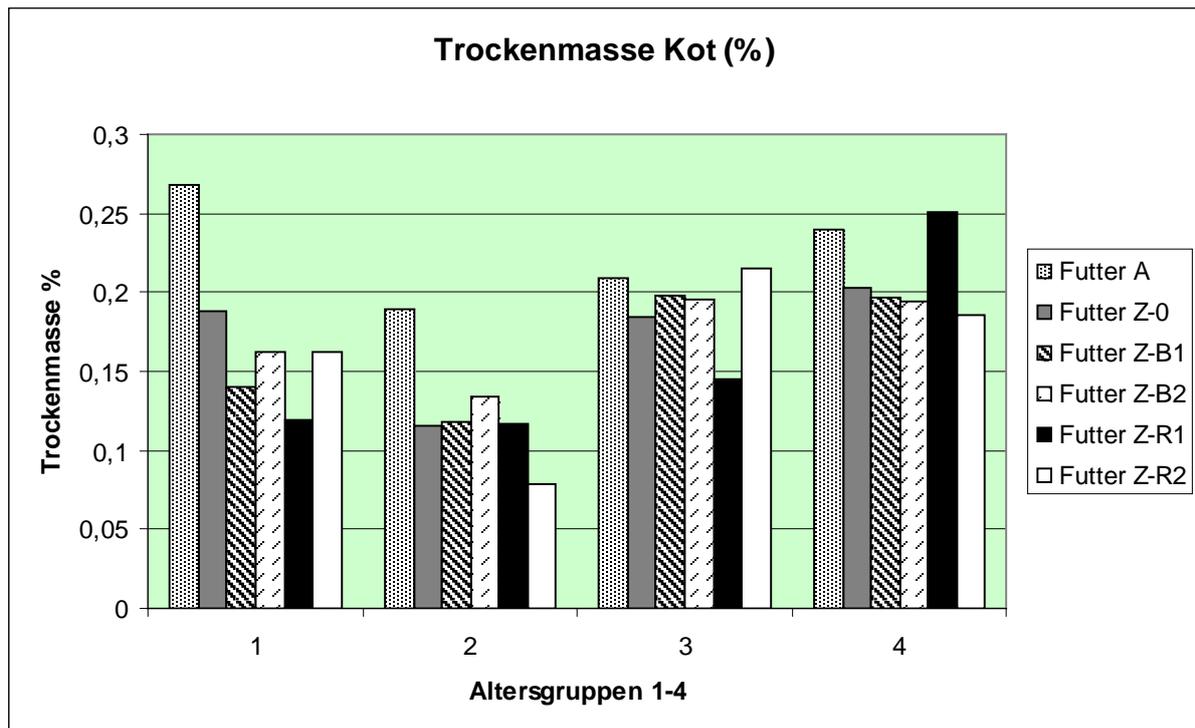


Abb. 4.4.7.2. Trockenmasse Kot (%) bei einer einmaligen Untersuchung in jeder Altersgruppe

Tab. 4.4.7.2. Trockenmasse Kot %

	A	Z-0	Z-B1	Z-B2	Z-R1	Z-R2
1	26,8 ^a ±0,020	18,8 ^b ±0,020	14,0 ^{bc} ±0,020	16,3 ^{bc} ±0,020	11,9 ^c ±0,020	16,2 ^{bc} ±0,020
2	18,9 ^a ±0,020	11,5 ^b ±0,020	11,9 ^b ±0,020	13,4 ^a ±0,020	11,6 ^b ±0,020	7,8 ^b ±0,020
3	20,9 ^a ±0,020	18,5 ^{ab} ±0,020	19,8 ^{ab} ±0,020	19,5 ^{ab} ±0,020	14,5 ^b ±0,020	21,5 ^a ±0,210
4	23,9 ^{ab} ±0,020	20,2 ^{ab} ±0,020	19,7 ^{ab} ±0,020	19,4 ^a ±0,020	25,1 ^b ±0,020	18,5 ^a ±0,020

Unterschiedliche Superskripts innerhalb einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0.05).

Signifikante Unterschiede (p<0,05) werden in Altersgruppe 1 zwischen der Futtergruppe A und den Futtergruppen Z-0, Z-B1, Z-B2, Z-R1 und Z-R2 deutlich. In

dieser Altersgruppe unterscheiden sich die Futtergruppen Z-0 und Z-R1 ebenfalls signifikant. In Altersgruppe 2 weist die Futtergruppe A immer noch den höchsten Anteil an Trockenmasse im Kot auf, ein signifikanter Unterschied besteht zu Z-0, Z-B1, Z-R1 und Z-R2 und ein annähernd signifikanter Unterschied zu Z-B2 ($p=0,054$) und außerdem zwischen den Futtergruppen Z-B2 und Z-R2 ($p=0,056$). In Altersgruppe 3 unterscheiden sich Futtergruppe A und Z-R1 sowie Z-R1 und Z-R2 signifikant. Die Futtergruppen Z-R1 und Z-R2 zeigen diese Signifikanz auch in Altersgruppe 4. Die Tiere mit dem Futtermittel Z-R1 haben in dieser Gruppe den höchsten Anteil an Trockenmasse im Kot und unterscheiden sich auch von Futtergruppe Z-B2 signifikant und von Futtergruppe Z-ZB1 annähernd signifikant ($p=0,06$). Annähernd signifikant unterscheiden sich in Altersgruppe 4 die Futtergruppen A und Z-R2 ($0,062$). Tendenz zu einem Anstieg der Kot-Trockenmasse (%) mit zunehmendem Alter zeigen die Futtergruppen Z-B1 und Z-R1.

4.5. Ergebnisse der DXA-Untersuchung

4.5.1. Gewichtsentwicklung (DXWT)

Das durchschnittliche Gewicht der Eintagsküken bei der Einstallung betrug 61,5 g. Um die Anforderungen der Verordnung(EWG) 2092/91 zu erfüllen, wurde am Ende jeder sechswöchigen Phase aufgrund des begrenzten Platzangebotes im Stall ein Teil der Tiere selektiert. Die Selektion erfolgte am Durchschnittsgewicht der Box orientiert, so dass die schwersten und leichtesten Tiere jeder Box aussortiert wurden. Die anschließend an die Tötung eingefrorenen Tiere wurden mittels DXA analysiert. Die Ergebnisse in Bezug auf die Gewichtsentwicklung können Abbildung 4.5.1. und Tabelle 4.5.1. entnommen werden. Innerhalb von Phase 1 unterschieden sich die erreichten Durchschnittsgewichte der einzelnen Gruppen nicht signifikant. Nach Phase 2 wurde bei den Puten der Futtergruppe A mit 7959.95 g das höchste Gewicht gemessen. Damit unterschied sich Gruppe A signifikant von allen anderen Futtergruppen außer Z-0. Nach Phase 3 bzw. Phase 4 hatten die Tiere der Gruppe A ein durchschnittliches Gewicht von 15.83 kg bzw. 20.82 kg erreicht und unterschieden sich somit signifikant von allen anderen Gruppen. Die Puter der

restlichen Futtergruppen lagen mit durchschnittlichen Endgewichten von 18.18 (Z-B1), 18.93 (Z-B2), 18.58 (Z-R1), 18.99 (Z-R2) und 18.58 (Z-0) kg deutlich darunter.

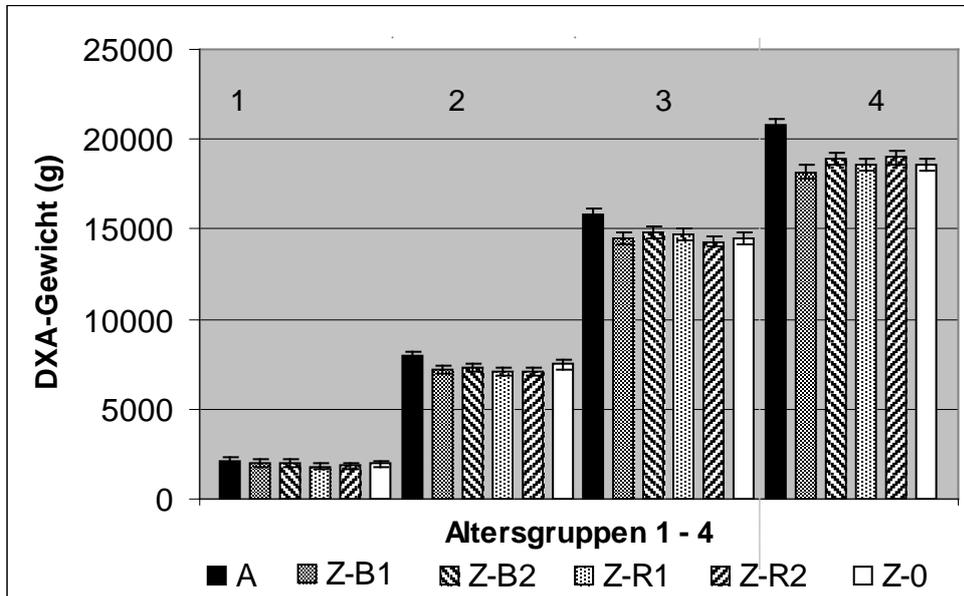


Abb. 4.5.1. Gewichtsentwicklung der 6 Futtergruppen nach jeder der 4 Phasen gemessen mit DXA

Tab. 4.5.1. DXA-Gewicht (kg)

	A	Z-B1	Z-B2	Z-R1	Z-R2	Z-0
1	2.10 ± 0.178	1.99 ± 0.178	1.98 ± 0.181	1.81 ± 0.184	1.86 ± 0.184	1.94 ± 0.172
2	7.96 ^a ± 0.227	7.17 ^{bc} ± 0.240	7.33 ^{bc} ± 0.227	7.12 ^{bc} ± 0.233	7.12 ^{bc} ± 0.233	7.47 ^{ac} ± 0.233
3	15.83 ^a ± 0.313	14.47 ^b ± 0.312	14.84 ^b ± 0.298	14.75 ^b ± 0.330	14.31 ^b ± 0.313	14.46 ^b ± 0.313
4	20.82 ^a ± 0.350	18.18 ^b ± 0.350	18.93 ^b ± 0.350	18.58 ^b ± 0.350	18.99 ^b ± 0.374	18.58 ^b ± 0.350

Unterschiedliche Superskripts innerhalb einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0.05$).

4.5.2. Fettgehalt (FATPC)

Wie anhand von Abbildung 4.5.2. und Tabelle 4.5.2. dargestellt, unterschieden sich die Fettgehalte der Tierkörper nach Phase 1 und 2 nicht signifikant voneinander. Nach Phase 1 betrug der durchschnittliche Fettgehalt zwischen 3.94 und 4.01 % und nach Phase 2 wurden 4.00 bis 4.31 % Fettgehalt erreicht. Erst nach Phase 3 konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden. Wobei die Gruppe A sowohl in Phase 3 mit durchschnittlich 8.3 %, als auch in Phase 4 mit durchschnittlich 9.2% den höchsten Fettgehalt aufweist. Bemerkenswert ist, dass die Tiere der Gruppen Z-B2 und Z-R2 in Phase 3 mit durchschnittlich 6.97 % bzw. 7.64 % deutlich höhere Fettgehalte als in Phase 4 mit 6.17 % bzw. 6.79 % zeigen.

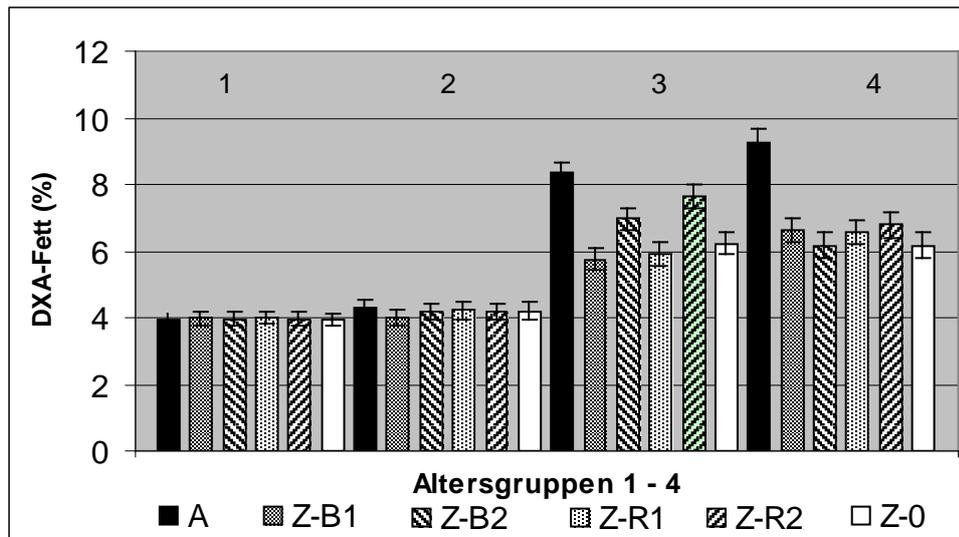


Abb. 4.5.2. Fettgehalt der Tierkörper in %, gemessen mit DXA

Tab. 4.5.2. DXA Fett (%)

	A	Z-B1	Z-B2	Z-R1	Z-R2	Z
1	3.95 ± 0.190	3.97 ± 0.190	3.96 ± 0.192	4.01 ± 0.196	3.96 ± 0.196	3.95 ± 0.184
2	4.31 ± 0.242	4.01 ± 0.256	4.16 ± 0.242	4.22 ± 0.249	4.17 ± 0.249	4.20 ± 0.249
3	8.34 ^a ± 0.334	5.75 ^b ± 0.334	6.97 ^{ce} ± 0.319	5.93 ^{bd} ± 0.352	7.64 ^{ac} ± 0.334	6.22 ^{be} ± 0.334
4	9.28 ^a ± 0.374	6.62 ^b ± 0.373	6.17 ^b ± 0.373	6.57 ^b ± 0.373	6.79 ^b ± 0.399	6.17 ^b ± 0.374

Unterschiedliche Superskripts innerhalb einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0.05$).

4.5.3. Magerweichgewebeanteil (LEANPC)

Der Magerweichgewebeanteil korreliert mit dem Fettgehalt im Tierkörper.

Nach Phase 1 und 2 konnten jeweils keine signifikanten Abweichungen des Magerweichgewebeanteils der Tierkörper festgestellt werden. Es zeigte sich lediglich ein Trend zu niedrigerem Magerweichgewebeanteil bei den Tieren der Gruppe A.

Nach der ersten Phase bewegen sich die Werte im Bereich zwischen durchschnittlich 94.58 und 95.02% und nach der zweiten Phase zwischen 93.19 und 93.47%. Wie in Abbildung 4.5.6. und Tabelle 4.5.6. dargestellt, konnten erst nach Phase 3 signifikante Unterschiede festgestellt werden. Die Tierkörper der Gruppe A enthielten mit 88.92% (Phase 3) und 87.94% (Phase 4) den geringsten Magerweichgewebeanteil. Die Werte der Gruppen Z-B1 (91.55%), Z-R1 (91.40%) und Z-0 (91.09%) befanden sich nach der Phase 3 auf einem ähnlichen Niveau, während die Tiere mit Futter Z-B2 und Z-R2 mit 90.34 % bzw. 89.67 % etwas weniger Magerweichgewebeanteil aufwiesen. Nach Phase 4 näherten sich die Werte der Gruppen Z-0, Z-B1, Z-B2, Z-R1 und Z-R2 wieder aneinander an, so dass nur zu Gruppe A ein signifikanter Unterschied bestand.

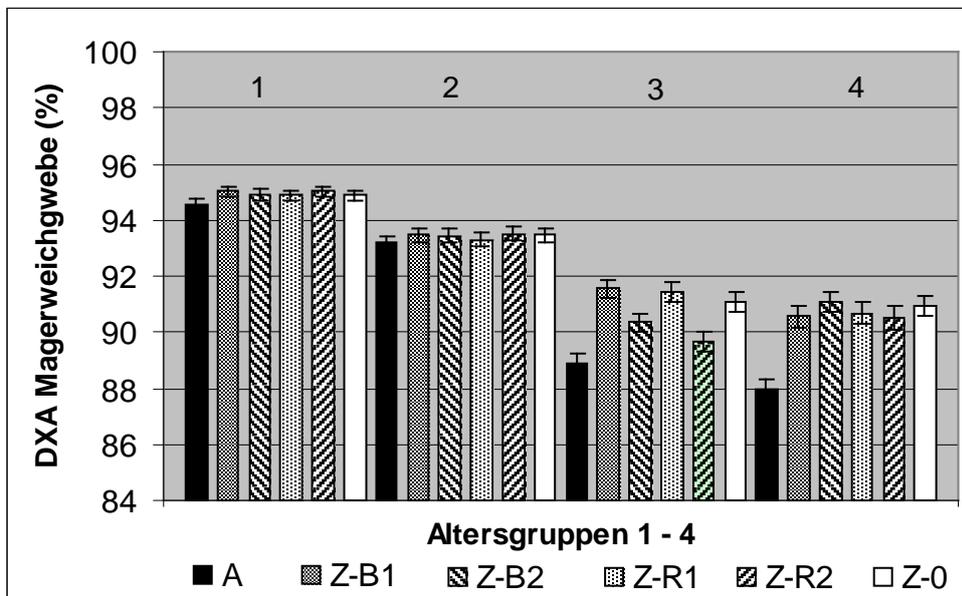


Abb. 4.5.3. Magerweichgewebeanteil in %, gemessen mit DXA

Tab. 4.5.3. DXA-Magerweichgewebeanteil (%)

	A	Z-B1	Z-B2	Z-R1	Z-R2	Z
1	94.58 ± 0.193	95.01 ± 0.192	94.91 ± 0.195	94.87 ± 0.200	95.02 ± 0.198	94.87 ± 0.188
2	93.19 ± 0.245	93.47 ± 0.258	93.44 ± 0.244	93.29 ± 0.252	93.50 ± 0.250	93.46 ± 0.252
3	88.91 ^a ± 0.336	91.55 ^b ± 0.335	90.34 ^{ce} ± 0.319	91.40 ^{bd} ± 0.352	89.67 ^{ae} ± 0.335	91.09 ^{bc} ± 0.336
4	87.94 ^a ± 0.375	90.57 ^b ± 0.373	91.07 ^b ± 0.374	90.69 ^b ± 0.375	90.51 ^b ± 0.399	90.95 ^b ± 0.374

Unterschiedliche Superskripts innerhalb einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0.05$).

4.5.4. Knochenmineralanteil (BMC)

In Diagramm 4.5.4. und Tabelle 4.5.4. wird der Knochenmineralanteil aufgeführt. In Phase 1 ist der Knochenmineralanteil der Gruppe A mit 1.49 % signifikant höher als in den übrigen Gruppen. Die Gruppen Z-B2, Z-R1 und Z-0 weisen mit 1.14 %, 1.13 % und 1.19 % deutlich niedrigere Werte auf. Am wenigsten Knochenmineralanteil beinhalten die Knochen der Puten in Futtergruppe Z-B1 und Z-R2. In Phase 2 verändern sich die Verhältnisse. Die Tiere der Gruppen Z-B1 und Z-R1 haben mit 2.54 % und 2.50 % nun ähnliche Werte wie die Tiere der Gruppe A mit 2.51 % Knochenmineralanteil. In Phase 3 und 4 gibt es keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Knochenmineralanteils zwischen den Gruppen.

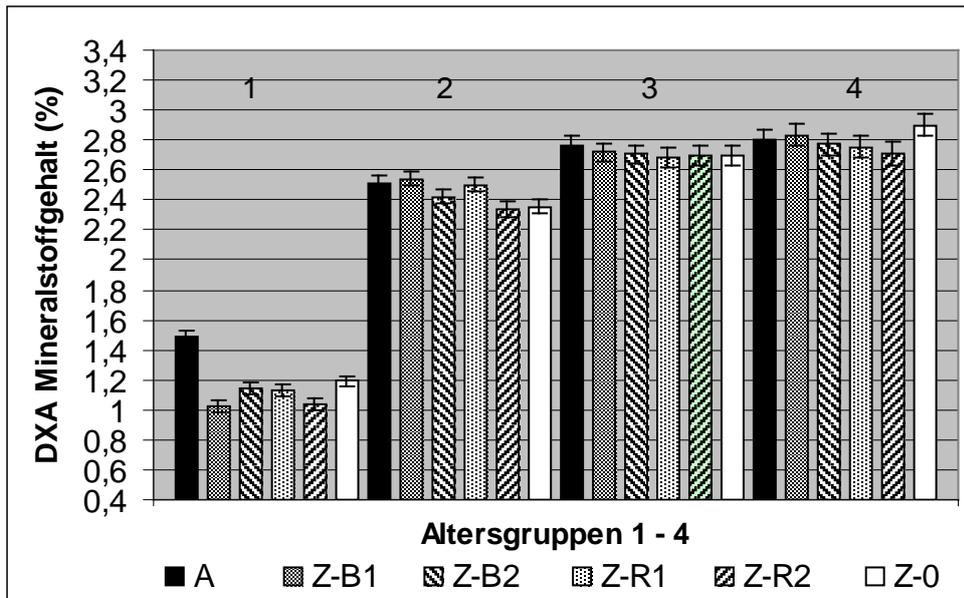


Abb. 4.5.4. Knochenmineralanteil in %, gemessen mit DXA

Tab. 4.5.4. DXA Knochenmineralanteil (%)

	A	Z-B1	Z-B2	Z-R1	Z-R2	Z
1	1.49 ^a ± 0.037	1.03 ^{be} ± 0.037	1.15 ^{cdf} ± 0.038	1.13 ^{dfg} ± 0.039	1.04 ^{eg} ± 0.039	1.19 ^f ± 0.036
2	2.51 ^a ± 0.048	2.54 ^a ± 0.050	2.42 ^{ac} ± 0.048	2.50 ^a ± 0.049	2.34 ^{bc} ± 0.049	2.35 ^{bc} ± 0.049
3	2.76 ± 0.066	2.72 ± 0.066	2.71 ± 0.063	2.68 ± 0.069	2.70 ± 0.066	2.70 ± 0.066
4	2.80 ± 0.074	2.83 ± 0.074	2.77 ± 0.074	2.76 ± 0.074	2.71 ± 0.079	2.90 ± 0.074

Unterschiedliche Superskripts innerhalb einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0.05).

4.5.5. Knochenmineraldichte (BMD)

Wie in Abbildung 4.5.5. und Tabelle 4.5.5. aufgeführt, fand sich in Phase1 ein signifikanter Unterschied in der Knochenmineraldichte zwischen den Futtergruppen A und Z-0. Nach Phase 2 erreichten die Puten der Gruppe A mit 0.62 g/cm² die

signifikant höchste durchschnittliche Knochenmineraldichte. Gruppe Z-R2 wies mit 0.57 g/cm² eine signifikant niedrigere Knochenmineraldichte auf als die Gruppen A, Z-B1 und Z-R1. Die Puten der Futtergruppe A erreichten nach Phase 3 und 4 mit 0.78 und 0.85 g/cm² die jeweils signifikant höchste Knochenmineraldichte. Nur nach Phase 4 bestand kein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe A und Gruppe Z-0. Bei Gruppe Z-R1 wurde nach Phase 4 mit 0.79 g/cm² die niedrigste Knochenmineraldichte gemessen. Die Tiere denen das Alleinfuttermittel A angeboten wurde, hatten nach allen vier Phasen die jeweils höchste Knochenmineraldichte erreicht. Während nach Phase 1 das Futter Z-0 die niedrigste Knochenmineraldichte bei den Puten zur Folge hatte, verbessern sich die Werte in Relation zu den anderen Gruppen kontinuierlich und nach der letzten Phase wies die Gruppe Z-0 nach Gruppe A die höchste Knochenmineraldichte auf.

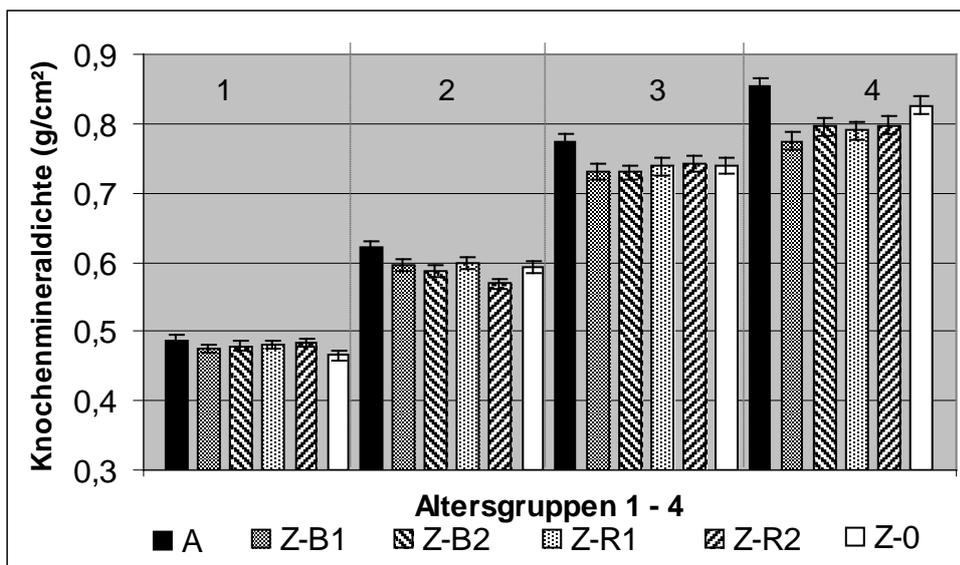


Abb. 4.5.5. Knochenmineraldichte in g/cm², gemessen mit DXA

Tab. 4.5.5. DXA Knochenmineraldichte (g/cm²)

	A	Z-B1	Z-B2	Z-R1	Z-R2	Z
1	0.4877 ^a ± 0.006	0.4758 ^{ac} ± 0.006	0.4790 ^{ac} ± 0.007	0.4806 ^{ac} ± 0.007	0.4834 ^{ac} ± 0.007	0.4655 ^{bc} ± 0.006
2	0.6221 ^a ± 0.008	0.5949 ^b ± 0.009	0.5874 ^{bc} ± 0.008	0.5986 ^{bd} ± 0.008	0.5685 ^{cef} ± 0.008	0.5919 ^{bf} ± 0.008
3	0.7750 ^a ± 0.011	0.7298 ^b ± 0.011	0.7298 ^b ± 0.011	0.7381 ^b ± 0.011	0.7423 ^b ± 0.011	0.7386 ^b ± 0.011
4	0.8539 ^a ± 0.013	0.7749 ^b ± 0.013	0.7960 ^{bc} ± 0.013	0.7904 ^b ± 0.013	0.7980 ^{bc} ± 0.014	0.8258 ^{ac} ± 0.013

Unterschiedliche Superskripts innerhalb einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0.05).

5. Diskussion

5.1. Versuch 1

5.1.1. Allgemeines zur DXA-Methode

Die chemische Analyse gilt als Goldstandard der invasiven Methoden zur Ermittlung der Körperzusammensetzung post mortem. Die chemische Analyse wurde bei verschiedenen Tierarten zur Evaluierung von DXA herangezogen, insbesondere bei Labortieren wie Mäusen und Ratten (Brommage, 2003; Bertin et al., 1998; Nagy und Clair, 2000; Jebb et al., 1996) und bei Schweinen (Pintauro et al., 1996; Brunton et al., 1993; Picaud et al., 1996; Ellis et al., 1994; Svendsen et al., 1993; Mitchell et al., 1996; Fusch et al., 1999). Für das Geflügel liegen bisher nur zwei Studien von Swennen et al. (2004) und Mitchell et al. (1997) an Hühnern vor.

Obwohl die chemische Analyse als die Standardlabormethode zur in vitro Ermittlung der Körperzusammensetzung gilt, müssen drei Punkte berücksichtigt werden: Vor der chemischen Analyse wird der zu untersuchende Ganzkörper oder die Karkasse zerkleinert und homogenisiert. Gerade bei größeren Tieren liegt die Schwierigkeit in einem ausreichenden Grad der Homogenisierung und dem Ziehen einer repräsentativen Probe (Ellis et al., 1994; Svendsen et al., 1993).

Die Asche, die bei der chemischen Analyse des homogenisierten Materials ermittelt wird, enthält Knochen- und Nicht-Knochen Mineral (Ellis et al., 1994; Svendsen et al., 1993). Von DXA wird Knochen hingegen nur erkannt, wenn es in zusammenhängenden Knochenpixel vorkommt.

Die Karkasse enthält auch Fett des Knochenmarks, das beim Homogenisieren frei wird und bei der chemischen Analyse dem Körperfett zugerechnet wird, während DXA es durch die Überdeckung von Knochen, vor allem von großen, kompakten nicht als solches erkennt (Elowsson et al., 1998). Bei kleineren Probanden kann der Fettgehalt des Knochens jedoch ermittelt werden, da diese von den Photonen durchdrungen werden können. Bei größeren Probanden ist eine Unterschätzung des Fettgehaltes die Folge (Scholz, 2002). DXA liefert ein zweidimensionales Bild der Körperzusammensetzung. In Bereichen, in denen DXA Knochen findet, geht die Software von der Annahme aus, dass die Magergewebe- und Fettverteilung hinter

dem Knochen die gleiche Zusammensetzung aufweist wie das zuvor gemessene, benachbarte Gewebe (Speakman et al., 2001).

Ein kritischer Punkt bei der chemischen Analyse ist der Autoklaviervorgang.

Wie in Abb. 3.5.1. dargestellt, besteht bei den Puten, die letztendlich zur Auswertung herangezogen wurden, mit $R^2=0,99$ eine sehr gute Beziehung zwischen dem Gewicht vor und nach dem Autoklavieren. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass es durch den Prozess des Autoklavierens bei diesen Tieren nicht zu Veränderungen in der Körpermasse kam, also weder zum Verlust von Material durch Platzen des Kunststoffbeutels, noch zu einer Ansammlung von Kondenswasser im Kunststoffbeutel.

5.1.2. Hydratation des Gewebes

Die DXA-Analyse basiert auf der Annahme eines konstanten Wasseranteils des Magerweichgewebes von 73% (Heymsfield und Waki, 1991; Pietrobelli et al., 1996).

Bei jungen und sehr alten sowie kranken Individuen kann es jedoch zu Schwankungen des Wassergehalts kommen (Roubenoff et al., 1993), was wiederum zu einer schlechten Übereinstimmung bei den mit DXA ermittelten Parametern (Fett, Magergewebe und Knochenmineral) und den Ergebnissen der chemischen Analyse führen kann (Speakman et al., 2001; Pietrobelli et al., 1998). In Studien über den Wassergehalt der fettfreien Masse von menschlichen Kadavern mit unterschiedlicher Todesursache konnte eine Spanne von 70,2 bis 80,8% (Wang et al., 1999) aufgezeigt werden.

Der Wassergehalt der fettfreien Masse variiert zudem bei den unterschiedlichen Tierarten.

Tab. 5.1.1. Wassergehalt der fettfreien Körpermasse, modifiziert nach Wang et al. (1999)

Tierart (Anzahl Tiere)	Wassergehalt (%)	Referenzen, Jahr
Maus (27)	71,5	Holleman u. Dieterich, 1975
Ratte (32)	75,8	Tisavipat et al., 1974
Meerschweinchen (50)	72,4	Pace u. Rathbun, 1945
Schaf (9)	75,1	Panaretto, 1963
Schwein (8)	77,0	Doornenbal, 1975
Rind, adult (7)	76,5	Moulton, 1920
Rind, juvenil (6)	73,4	Buckley et al., 1990

Zu beachten gilt es laut Wang et al. (1999), ob der Wassergehalt des Ganzkörpers oder der Karkasse ermittelt wurde. Umso mehr Eingeweide aus der Karkasse entfernt wurden, desto höher die Differenz des Wassergehalts zum Ganzkörper, da die entnommenen visceralen Organe hohe Hydrationsgrade aufweisen.

Beim Geflügel kann der Wassergehalt des Körpergewebes abhängig von Alter, Geschlecht und Ration variieren (Gray et al., 1983). Pesti und Bakalli (1997) konnten nach Fütterung von Rationen mit unterschiedlichen Energie- und Proteingehalten einen Wasseranteil von 52-64% in Broiler-Karkassen messen. Diese Schwankungen lassen sich mit großer Wahrscheinlichkeit auch auf die Hydratation der fettfreien Körpermasse übertragen. Bei der Untersuchung von Mitchel et al. (1997) wurden Hühner in unterschiedlichen Entwicklungsstadien untersucht. DXA unterschätzte die Werte der chemischen Analyse je nach Scan-Modus in unterschiedlichem Maße. Auch bei den hier vorliegenden Untersuchungen wurden die Messergebnisse von DXA und der chemischen Analyse von Puten verschiedener Altersgruppen und Fütterungsintensitäten verglichen. Vor allem beim Fettgehalt wurde eine niedrige Korrelation festgestellt.

Zahlreiche in vitro und in vivo Studien wurden durchgeführt, um die Auswirkungen einer Änderung der Hydratation des Gewebes auf die Messung der Körperzusammensetzung, insbesondere des Fettgehaltes zu überprüfen.

Speakman et al. (2001) untersuchten, ob DXA in der Lage ist, den Fettgehalt von Rinderhack korrekt zu messen, wenn diesem Wasser und Schmalz beigemischt wird. DXA konnte die Änderung des Fettgehalts der Masse nach Zugabe von Schmalz

exakt wiedergeben. Bei Zugabe von Wasser kam es hingegen zu einer systematischen Überschätzung des Fettgehaltes durch DXA. Dies stimmt mit den Ergebnissen von Fusch et al. (1999) überein, die mit einem Anstieg der Körpermasse von Ferkeln einen Rückgang des Wassergehaltes im Tierkörper, verbunden mit einer steigenden Unterschätzung des Fettgehaltes feststellten.

Auch Pietrobelli et al. (1998) kamen zu dem Ergebnis, dass mit der Änderung der Hydratation des Magerweichgewebes Fehler bei der Bestimmung des Fettgehaltes einhergehen. Bei Addition einer Flüssigkeit mit hohem R-Wert, wie z.B. Kochsalzlösung, steigt der R-Wert des Magergewebes, bei Flüssigkeiten mit niedrigem R-Wert wie Wasser oder Ethanol sinkt er. Jede Veränderung des angenommenen konstanten R-Wertes des Magerweichgewebes geht mit einer fehlerhaften Bestimmung der Weichgewebezusammensetzung einher. Fehler bei der Bestimmung des Fettgehaltes resultieren aus dem R-Wert der hinzugefügten Flüssigkeit, also deren elementaren Zusammensetzung, der Flüssigkeitsmenge und der Zusammensetzung des Weichgewebes. Wird jedoch eine Flüssigkeit mit dem gleichen R-Wert wie der des Magergewebes addiert, resultiert daraus kein Fehler bei der Bestimmung des Fettgehaltes, unabhängig davon, wie groß die Flüssigkeitsmenge ist. Auch wenn es zu einem Fehler bei der Bestimmung des Fettgehaltes nach Änderung der Weichgewebe-Hydratation kommt, ist dessen Größenordnung als gering anzusehen, da die physiologische Spanne bei der Änderung des Hydrationsgrades zur Einhaltung einer Elektrolytbalance klein ist. Nur in sehr schweren Fällen einer Hyperhydratation von 20-25% der Gesamtweichgewebsmasse sind Fehler bei der Fett-Bestimmung im Bereich von mehreren Prozent möglich. Dieser Grad der Wasseransammlung kommt klinisch gesehen jedoch nur lokal bei Erkrankungen wie Ascites oder Ödemen vor.

Stenver et al. (1995) führten die DXA-Untersuchung vor und nach der Haemodialyse bei Patienten mit Niereninsuffizienz im Endstadium durch. Hier konnte DXA sowohl das Gewicht vor und nach der Dialyse mit einer hochsignifikant positiven Korrelation zur konventionellen Gewichtsmessung wiedergeben, als auch die positive Korrelation zwischen dem Verlust an Flüssigkeit nach der Dialyse und der daraus folgenden Reduktion der fettfreien Masse wiedergeben. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass DXA auch bei dieser Patientengruppe Veränderungen der Kompartimente genau wiedergeben kann.

Horber et al. (1992) nutzten für ihre Studie an Dialysepatienten und gesunden Probanden Geräte von zwei Herstellern: Lunar DPX und Hologic QDR. Bei den Dialysepatienten wurde nach der Entfernung von 0,9-4,4kg salzhaltiger Flüssigkeit ein Rückgang des Magerweichgewebebehalts in allen Körpersegmenten festgestellt, während der Knochenmineral- und Fettgehalt unverändert blieb. Eine Messung von acht gesunden Probanden am gleichen Tag mit den zwei Geräten zeigte gleiche Ergebnisse für Magerweichgewebe und Fettgewebe, jedoch wurde der Knochenmineralgehalt von Lunar DPX um 17% höher eingeschätzt. Verlaufsuntersuchungen am Patienten sollten demnach mit dem Gerät des gleichen Herstellers durchgeführt werden. Bei wiederholten Messungen des Magerweichgewebeanteils eines Patienten muss der Hydrationsstatus und die Einnahme der letzten Mahlzeit bzw. Flüssigkeit berücksichtigt werden.

5.1.3. Gesamtgewicht

Das Gewicht der Tiere gemessen mit DXA im Scan-Modus „pediatrie small“ und ermittelt mit der elektronischen Waage zeigt mit $R^2=0,99$ eine sehr gute Übereinstimmung (Abb. 3.5.3.). Die geringfügigen Abweichungen der Messwerte von der Regressionsgeraden waren in allen Gewichtsbereichen relativ gleichmäßig verteilt. Nur im oberen Gewichtsbereich ($> 20\text{kg}$) war eine etwas größere Abweichung festzustellen. Jedoch muss beachtet werden, dass in diesem Gewichtsbereich nur vier Tiere zur Auswertung herangezogen wurden. „Pediatrie small“ liefert laut Schöllhorn (2007) die genauesten Ergebnisse ($R^2=0,99$) zur Vorhersage für das Gesamtkörpergewicht mit der Waage aus der DXA-Gesamtgewebsmasse (DXA-Gewicht) bei der Pute. Bei einer Untersuchung mit unterschiedlichen Software und Scan-Modi von Lunar™ DPX-L stellten Mitchell et al. (1997) bei Hühnern unter 2000g die größten Differenzen fest. Vor allem der „neonatal-medium“-Modus überschätzte das Gewicht der Tiere geringfügig. Mitchell et al. (1997) lagen mit durchschnittlich 2,3% weit unter den Ergebnissen von Swennen et al. (2004), bei denen DXA mit durchschnittlich 11,6% das Gewicht deutlich überschätzte. Die Autorengruppe sah die Hauptursache in einer Überschätzung der Magerweichgewebsmasse durch DXA. In geringerem Ausmaß

als bei Mitchell et al. (1997) konnten auch Swennen et al. (2004) eine höhere Differenz in den niedrigeren Gewichtsbereichen der Hühner feststellen.

5.1.4. Knochenmineral

Der Knochenmineralgehalt (g) ermittelt mit DXA zeigt mit $R^2=0,97$ eine hohe Übereinstimmung mit dem Aschegehalt (g) aus der Weender Analyse (Abb. 3.5.4.). Der Knochenmineralgehalt wurde von DXA bei den Tieren mit einem niedrigen und hohen Knochenmineralgehalt bzw. bei den Tieren der ersten und der letzten Altersgruppe leicht unterschätzt. In den mittleren Altersgruppen wurde der Knochenmineralgehalt sowohl unter- als auch überschätzt. Die größte Bedeutung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie in der Humanmedizin liegt bisher in der Ermittlung des Knochenminerals. In diesem Bereich liefert schon die DPA sehr genaue Ergebnisse (Peppler und Mazess, 1981; Gotfredsen et al., 1984). In der Literatur sind zahlreiche Publikationen zu finden, in denen die Richtigkeit von DXA-Messungen anschließend mittels chemischer Analyse von homogenisierten Kadavern oder Kadaverteilen überprüft wird. Ein Unterschied bei dem durch DXA ermittelten Knochenmineralgehalt von Tierkörpern und der durch die chemische Analyse gelieferten Werte für den Aschegehalt der homogenisierten Masse liegt im Nicht-Knochenmineral. In der Asche sind sowohl Knochen- als auch Nicht-Knochenmineral enthalten (Ellis et al., 1994; Svendsen et al., 1993). DXA erfasst kein isoliert auftretendes Mineral sondern geht von der Annahme aus, dass Knochenpixel immer in zusammenhängenden Gruppen auftreten. Durch den von der chemischen Analyse jedoch nicht von DXA berücksichtigten Anteil an Nicht-Knochenmineral kann es zu deutlichen Diskrepanzen kommen. Der Anteil von Nicht-Knochen-Mineral beträgt etwa bei Hund und Katze 15% des gesamten anorganischen Aschegehalts (Speakman et al., 2001). Swennen et al. (2004) konnten bei Hühnern mit einer durchschnittlichen Differenz von 45,4% einen signifikanten Unterschied zwischen DXA-BMC und chemisch analysiertem Aschegehalt bei den Absolutzahlen vermerken. Die Korrelation zwischen den beiden Parametern war mit $r=0,96$ hingegen sehr hoch und damit deutlich höher als der durchschnittliche Wert ($R^2=0,46$), der von Mitchell et al. (1997) publiziert wurde. Dabei wurden je nach Scan-Modus Werte zwischen $R^2=0,05$ und $0,62$ festgestellt.

Die Ergebnisse im „small animal high resolution“ - Modus unterscheiden sich nicht signifikant von denen der chemischen Analyse.

Brunton et al. (1993) konnten bei Ferkeln mit einem durchschnittlichen Gewicht von 1572g keine Übereinstimmung ($r=0,16$) zwischen BMC (DXA) und Aschegehalt (chemische Analyse) feststellen. Hingegen konnten sie bei älteren Tieren (Durchschnittsgewicht 5984g) mit $r=0,81$ eine gute Übereinstimmung ermitteln. In Abb. 3.5.5. zeigen die Ergebnisse von DXA und der Weender Analyse bei den Puten der Altersgruppe 2 (Durchschnittsgewicht 6,93kg) mit $R^2=0,83$ ebenfalls eine hohe Übereinstimmung. Bei Tieren mit einem niedrigeren Knochenmineralgehalt unterschätzt DXA diesen tendenziell gegenüber der Weender Analyse. Im Bereich in dem die Tiere einen höheren Gehalt an Knochenmineral aufweisen (150-250g), wird dieser von DXA sowohl leicht über- als auch unterschätzt. Aus der Abbildung kann entnommen werden, dass die Tiere der Herkunft BIG-6 bereits in dieser Altersgruppe durchschnittlich höhere Absolutwerte beim Knochenmineralgehalt aufweisen.

Während einzelne Kelly-Bronze-Puten noch Werte unter 100g liefern, hat ein Tier der Herkunft Big-6 bereits über 250g Knochenmineral im Körper. Berücksichtigt werden muss, dass die Big-6 Tiere in dieser Altersgruppe mit einem DXWT von 7989g gegenüber den Kelly-Bronze Tieren mit 5884g bereits ein signifikant höheres Körpergewicht aufweisen. Mit einer BMD von $0,624\text{g}/\text{cm}^2$ ist die Knochenmineraldichte bei den Big-6-Herkünften ebenfalls signifikant höher als bei Kelly Bronze mit $0,596\text{g}/\text{cm}^2$.

Wie in Abb. 3.5.6. ersichtlich, besteht mit $R^2= 0,03$ zwischen dem Ascheanteil in % und dem Knochenmineralanteil in % in der Altersgruppe 2 keine Übereinstimmung.

5.1.5. Körperfett

Die Messung des Gesamtkörperfettes ist der kritischste Punkt der DXA-Messung zur Bestimmung der Körperzusammensetzung (Mitchell et al., 1997). Betrachtet man die Ergebnisse, die in den Abbildungen 3.5.8. und 3.5.9. dargestellt sind, wird diese Aussage bestätigt. Die Korrelation beim Fettgehalt in g, gemessen mit DXA und der chemischen Analyse, ist bei der Einbeziehung aller Altersklassen in Abb. 3.5.7. mit $R^2=0,86$ gut. Der RMSE ist mit 254,23g hingegen relativ hoch. In der Altersgruppe 1 besteht hingegen mit $R^2= 0,07$ (RMSE=14,7g) keine Übereinstimmung zwischen den

beiden Methoden. Eine höhere Übereinstimmung lag in der Altersgruppe 2 mit $R^2=0,37$ (Abb. 3.5.9.) vor. Bei Mitchell et al. (1997) war die Messung des Körperfettgehaltes vom Scan-Programm und -Modus und dem Gewicht der Tiere abhängig. Wobei DXA bei Tieren mit weniger als 2000g Körpergewicht im „small animal-detail“ - Modus den Fettgehalt unterschätzte und im „pediatric-neonatal“ und „small animal-high resolution“ - Modus überschätzte. Im „pediatric-small“- Modus (Abb. 3.5.8.) wurde der Fettgehalt bei den Tieren der Altersgruppe 1 mit durchschnittlich 1878g Körpergewicht von DXA sowohl über- als auch unterschätzt. Die Korrelation lag bei Mitchell et al. (1997) je nach Modus und Software zwischen $R^2=0,40$ und $0,81$.

In der Untersuchung von Brunton et al. (1993) überschätzte DXA bei Ferkeln mit einem durchschnittlichen Gewicht von 1572g den Fettgehalt um mehr als das Doppelte und die Korrelation lag mit $0,06$ im Bereich der Ergebnisse dieser Studie bei der Altersgruppe 1 ($R^2=0,07$). Bei Untersuchungen der gleichen Forschungsgruppe an Schweinen mit durchschnittlich 5984g wurde der Fettgehalt nur um 35% überschätzt und die Korrelation war mit $r=0,83$ hoch. Dies entspricht einer deutlich höheren Übereinstimmung als bei den Puten der Altersgruppe 2 mit einem Durchschnittsgewicht von 6930g (Abb.3.5.9.) und $R^2=0,37$. Roubenoff et al. (1993) erklären den Fehler bei der Messung des Fettgehalts der kleinen Ferkel mit einer abweichenden Hydratation des Magergewebes im Vergleich zu erwachsenen Tieren.

Ganz im Gegensatz zu den Ergebnissen von Mitchell et al. (1997) und dieser Studie stehen die Messwerte von Swennen et al. (2004) an Broilern, ebenfalls gemessen mit Lunar DPX-L. Swennen et al. (2004) konnten eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen der chemischen Analyse und DXA mit $r=0,92$ feststellen. Die Differenz bei den Absolutzahlen lag lediglich bei 11,3g (6,3%). Das Körpergewicht der Tiere hatte keinen Einfluss auf die Differenz und es ergaben sich keine Hinweise auf eine Über- oder Unterschätzung des Fettgehaltes in Relation zum Körpergewicht.

Bei einer Untersuchung an Hunden und Katzen (Gewicht: 1,8-22,1kg) stellten Speakman et al. (2001) eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen DXA und der chemischen Analyse des extrahierten Körperfettes fest. Der Absolutfehler lag lediglich bei 2,04% des extrahierten Fettes. Jedoch lag eine große Diskrepanz bei den individuellen Ergebnissen vor. DXA unterschätzte den Fettgehalt bis zu 20,7% und überschätzte ihn bis zu 31,5% beim Einzeltier. Keine dieser Diskrepanzen

konnte mit dem Geschlecht, der Spezies, einer Kastration des Tieres oder der Software- Version in Zusammenhang gebracht werden. Als Ursache führten Speakman et al. (2001) an, dass DXA den Fettgehalt überschätzte, weil ein Teil des Magerweichgewebes als Fett angesehen wurde und umgekehrt. Der Absolutfehler bei der Messung des Magerweichgewebes und damit auch des Fettgewebes ist von Schwankungen des Gehalts zweier Komponenten des Körpers abhängig: vom Fettgehalt der Muskulatur und vom Wassergehalt des mesenterialen Fettgewebes. Die Muskulatur ist die schwerste Komponente des Magerweichgewebes und weist einen variablen Fettgehalt auf. Daher scheint DXA Probleme bei der Identifizierung von Fett in der Skelettmuskulatur zu haben. Speakman et al. konnten eine exakte Übereinstimmung für die Fehleinschätzung bei der Messung von Fett- und Magerweichgewebe und der extrahierten Masse an Fett aus der Muskulatur feststellen.

Die korrekte Zuordnung des mesenterialen Fettgewebes ist eine weitere Schwierigkeit bei der DXA-Messung. Die Autoren äußern die Annahme, dass wenn der Wassergehalt dieses Gewebes zunimmt, es von DXA zunehmend dem Magerweichgewebe, bei Zunahme der Magerkomponente vollständig dem Fettgewebe zugeordnet wird. Das mesenteriale Fettgewebe ist ein großes Fettdepot im Körper und hat im Vergleich zum subkutanen und perirenenalen Fettgewebe (beide ca. 25% Wasseranteil) mit 35% einen hohen Wasseranteil. Übereinstimmend mit der Studie von Speakman et al. (2001) traten bei Snead et al. (1993) bei älteren Probanden mit abdominaler Adipositas Schwierigkeiten bei der Bestimmung der fettfreien Masse auf.

In Abb. 3.6.0. sind die Fettanteile (%) gemessen mit DXA und der Weender Analyse aller Altersgruppen aufgeführt. Mit $R^2=0,74$ (RMSE=2,11%) besteht eine Korrelation zwischen den Ergebnissen der beiden Untersuchungsmethoden. In der Abbildung fällt auf, dass keines der Tiere den Fettanteil von 4% unterschreitet und bei auffallend vielen Tieren dieser Wert gemessen wurde. Diese Einschränkung wird durch die Herstellersoftware verursacht. Ist der R-Wert $\geq 1,388$ stagniert der Fettgehalt bei 4%. Niedrigere prozentuale Weichgewebefettgehalte wurden nicht berücksichtigt. Mitchell et al. (1997) und Swennen et al. (2004) arbeiteten beide mit einem Gerät des Herstellers GE Lunar und berichteten über dieses Phänomen. Auch Mitchell et al. (1998) wurden mit dieser Einschränkung konfrontiert und führten zwei

Korrekturgleichungen für kleine und größere Schweine, basierend auf der Beziehung zwischen dem R-Wert und dem Fettanteil ermittelt mit der chemischen Analyse, ein. Swennen et al. (2004) formulierten Lineargleichungen, um zusammen mit den Ergebnissen von DXA und der chemischen Analyse bessere Aussagen über die Körperzusammensetzung von Broilern treffen zu können. Für den Fettanteil lautet die Gleichung: $\text{Fett}(\%) \text{ chem. Analyse} = 5.71(\pm 3.1) + 0.605(\pm 0.237) \text{ Fett}(\%) \text{ DXA}$. Beim Fettanteil der Tiere in Altersgruppe 1 (Abb. 3.6.1.) besteht mit $R^2=0,01$ keine Beziehung und es ergibt sich eine negative Regressionsgerade. Der Gewichtsbereich dieser Altersgruppe (durchschnittlich 1878g) entspricht in etwa der Gruppe der leichten Hühner von 400-1900g in der Arbeit von Mitchell et al. (1997). Das Bestimmtheitsmaß war auch hier je nach Scan-Modus mit $R^2=0,33-0,47$ gering, jedoch höher als in diesem Versuch. Das beste Ergebnis konnte mit dem „small-animal detail“-Modus erzielt werden. Die Puten der Altersgruppe 2 (6930g) sind schwerer als die Broiler von Mitchell et al. (1997) mit 2000g-3290g. Mitchell et al. (1997) konnten hier mit $R^2=0,30-0,73$ höhere Übereinstimmungen als bei den leichteren Tieren erzielen. Bei den Puten der Altersgruppe 2 (Abb. 3.6.2.) liegt diese mit 0,27% deutlich niedriger (Vergleichbar mit dem Modus „neonatal medium“ bei Mitchell et al.). Da bei der Betrachtung aller Altersgruppen mit $R^2=0,74$ eine Übereinstimmung bei der Ermittlung des Fettanteils für DXA und die Weender-Analyse besteht, kann der „pediatrie small“-Modus folglich für die schwereren Tiere der Altersgruppen 3 und 4 genauere Ergebnisse erzielen.

Der Alterungsprozess geht mit einer Erhöhung der Gesamtkörpermasse und der Fettmasse einher, die fettfreie Masse hingegen sinkt oder bleibt konstant. Auch die Untersuchungen von Feely et al. (2000) an Ratten zeigen, dass DXA teilweise Schwierigkeiten bei der Erkennung der altersbedingten Veränderungen der fettfreien Masse hat. DXA konnte wie die chemische Analyse einen signifikanten Anstieg der Karkassenmasse, der Fettmasse und des Fettanteils (%) bei den 18 und 28 Monate alten gegenüber den 8 Monate alten Tieren aufzeigen. Auch konnte eine hohe Korrelation zwischen DXA und der chemischen Analyse für die Karkassenmasse ($r=0,98$) und die Fettmasse ($r=0,97$) erreicht werden. Bei den Absolutzahlen überschätzte DXA den Fettgehalt bei allen Altersgruppen jedoch bis zu 77% und unterschätzte die fettfreie Masse mit 5%.

5.1.6. Magerweichgewebe

Magerweichgewebe setzt sich aus Wasser, Proteinen, Kohlenhydraten wie Glukose und Glykogen und Mineralstoffen zusammen und schließt damit alle Komponenten des Weichgewebes ohne das Fettgewebe ein. In Abb. 3.6.3. kann mit einem Bestimmtheitsmaß (R^2) von 0,99 eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen dem von DXA ermittelten Magerweichgewebegehalt und der Summe aus Wasser und Protein (Weender Analyse) gezeigt werden. Der Standardschätzfehler beträgt nur 178,4g. Eine ähnlich hohe Übereinstimmung ($R^2=0,98$) besteht bei einer alleinigen Betrachtung der gleichen Werte für die Altersgruppe 2 (Abb. 3.6.4.). Diese Ergebnisse stimmen mit denen von Brunton et al. (1993) überein, die bei kleinen und größeren Ferkeln eine signifikante Korrelation ($r=0,92$ bzw. $0,96$) beschrieben. Bei Swennen et al. (2004) war der Magerweichgewebegehalt gemessen mit DXA um 14,9% höher als der durch die chemische Analyse erfasste Wert (Summe aus Wasser und Rohprotein). Die Autorengruppe konnte eine systematische Überschätzung des Magergewebes durch DXA mit der daraus folgenden Überschätzung des Gesamtkörpergewichtes feststellen. Die beiden Messwerte zeigten jedoch eine hohe Übereinstimmung ($R^2=0,99$), so dass sie zu dem Schluss kamen, die Diskrepanzen mithilfe mathematischer Formeln ausgleichen zu können. Mitchell et al. (1997) überprüften die Annahme, dass der Gesamtprotein- und Gesamtwassergehalt des Körpers die Hauptbestandteile des Magerweichgewebes ausmachen. Sie konnten aber lediglich eine mittlere Übereinstimmung zwischen den R-Werten der DXA-Analyse und dem Anteil an Gesamtkörperprotein ($R^2=0,28$) bzw. dem Anteil an Gesamtkörperwasser ($R^2=0,43$) finden. Folglich scheint es nicht möglich, anhand dieser niedrigen Korrelation Gesamtkörperprotein bzw. -wasser aus dem R-Wert mit akzeptabler Richtigkeit abzuleiten. Obwohl der Magerweichgewebegehalt aus dem R-Wert berechnet wird, konnte hingegen eine hohe Übereinstimmung zwischen Magerweichgewebe und Gesamtproteingehalt ($R^2=0,90-0,97$; $SEE=13,2-22,0g$) bzw. Gesamtkörperwasser ($R^2=0,90-0,99$; $SEE=32,7-89,2g$) ermittelt werden. Die Autoren konnten keine Erklärung für diese widersprüchlichen Ergebnisse liefern. Laut Mitchell et al. (1997) muss berücksichtigt werden, dass die Beziehung zwischen den Werten stark vom Körpergewicht der Tiere abhängig ist. Swennen et al. (2004) konnten hingegen einen sehr geringen Einfluss des Körpergewichts auf die Diskrepanzen bei der Bestimmung von

Magerweichgewebe (und Gesamtgewicht) durch DXA und chemischer Analyse feststellen.

5.2. Versuch 2

5.2.1. Gesamtgewicht

Die erzielten Mastergebnisse liegen für die ökologische Putenmast auf hohem Niveau. Die Tiere der Futtergruppe A konnten knapp das vom Zuchtunternehmen British United Turkeys Limited (B.U.T.) für die konventionelle Putenmast vorgegebene Mastgewicht für den entsprechenden Masttag erreichen. Auch wenn die Tiere der Gruppe A im Mastverlauf teilweise deutlich hinter den Vorgaben von B.U.T. lagen, konnte DXA ein durchschnittliches Mastendgewicht von 20,82kg ermitteln. Am 154. Lebenstag (=Tötungstag) sollen die Tiere laut B.U.T. 21,72kg wiegen. Schmidt et al. (2007) erreichten mit Futter der Energiestufe A 20,23kg Mastendgewicht, allerdings lassen sich die Ergebnisse kaum vergleichen, da in diesem Versuch neben Big-6 - auch Kelly Bronze Hähne einbezogen wurden. Die Tiere der Fütterungsgruppen mit Energiestufe Z konnten dieses Niveau nicht erreichen und blieben unter 19kg Endmastgewicht. Diese Gewichtsentwicklung zeichnete sich für die Futtergruppen mit Ausnahme von Gruppe A ab der ersten Fütterungsphase ab und die Tiere konnten bis zum Ende der Mast das Defizit nicht kompensieren. Das Vorhaben die Energiedichte bei Futtergruppe A auf 11,05 MJ ME/kg in der Aufzucht und 11,5 in der Mast zu senken, wurde laut Futtermittelanalyse mit 11,55 bzw. 12,42MJ ME/kg (Phase 3) nicht ganz realisiert. Auch die Tiere mit dem Energiestufe Z erhielten letztendlich statt 10,5MJ ME/kg in der Aufzucht durchschnittlich 11,37 und in der Mast statt 11 MJ ME/kg in der zweiten Phase durchschnittlich 11,2 in der dritten Phase 11,32 und der vierten Phase 11,25MJ ME/kg. Die niedrigste Energiedichte wurde in der zweiten Phase mit 10,87 MJ ME/kg in Futtergruppe Z-R1 erreicht. Die Energiedichte des Futters unterschied sich in der Aufzucht nur gering zwischen Futter A und Z. In der Mastphase enthielt Futter A durchschnittlich 0,64 (Phase 2), 1,1 (Phase 3) und 0,7MJ ME/kg (Phase 4) mehr als Energiestufe Z. Die Ausstattung mit Lysin und Methionin (Bezug g/kg Futter) lag jeweils im Bereich des Zielwerts. Somit wiesen die Mischungen der

Fütterungsgruppen Z innerhalb einer Phase vergleichbare Werte bezogen auf g Lysin bzw. g Methionin pro MJ ME auf.

Die geringe Differenz in der Energiedichte in der Aufzucht führte zu keinen signifikanten Unterschieden beim Gewicht (DXA) der einzelnen Futtergruppen. Trotz der weiteren Absenkung der Energiedichte für die Futtergruppen Z konnte keine signifikante Erhöhung der Futtermittelaufnahme gegenüber der Futtergruppe A festgestellt werden (Abb. 4.4.3.). Lediglich Futtergruppe Z-B2 zeigte eine tendenzielle Erhöhung der Futtermittelaufnahme in den Altersgruppen 3 und 4, erreichte damit aber kein signifikant höheres Gewicht als die restlichen Futtergruppen mit Energiestufe Z (nur in Altersgruppe 3 gegenüber Z-0). Bei Futtergruppe Z-R2 sank die Futtermittelaufnahme in Altersgruppe 4 hingegen deutlich gegenüber der Energiestufe A, was aber ebenfalls keine Auswirkungen auf das Endgewicht gegenüber den anderen Z-Gruppen hatte. Schmidt et al. (2007) setzten in ihrem Putenmastversuch zwei Intensitätsstufen ein: Futter B, das an die Empfehlung der B.U.T. für konventionelle Alleinfuttermischungen angelehnt war (Aminosäuregehalte in g AS/MJ ME um 5% (Aufzucht) und 10% (Mast) gegenüber B.U.T. abgesenkt) und Futter A mit 5-8% abgesenkten ME-Gehalten. Futter A lag in der Aminosäureausstattung (bezogen auf g/kg Alleinfutter) nochmals unter den Gehaltswerten von Futter B. Die Tiere der Futtergruppe A kompensierten die um 5% reduzierte Energieausstattung durch eine um 5% erhöhte Futtermittelaufnahme. Die Tiere der Energiestufe Z im eigenen Versuch konnten die reduzierte Energieausstattung nicht mehr durch eine erhöhte Futtermittelaufnahme kompensieren. Die Möglichkeit der Tiere durch einen erhöhten Futtermittelverzehr geringere ME-Gehalte auszugleichen, ist wohl durch Gehaltswerte bei ca. 11,5 MJ ME/kg in der Mast begrenzt.

Männer et al. (2004) mästeten männliche Tiere verschiedener Herkünfte bis zu einem Alter von 20 Wochen mit einer konventionellen Ration und erreichten mit dieser um 2 Wochen kürzeren Mastdauer mit durchschnittlich 19,09kg bei den männlichen BIG-6 Hähnen bereits ein höheres Endgewicht als die Tiere der Intensitätsstufe Z im eigenen Versuch. Männer et al. (2004) führten außerdem einen Versuch mit verschiedenen Energie-, Rohprotein- und Aminosäuregehalte durch (100%, 80%, 120% im Bezug auf „bedarfsentsprechend“ im ersten Versuch der Autorengruppe). Der Versuch wurde in 6 Phasen unterteilt. Die Lebendmasse war am Ende des Versuchs (20. Woche) bei Fütterungsgruppe 80% signifikant niedriger (26,5%) und bei Fütterungsgruppe 120% signifikant höher (11,5%) als bei

Fütterungsgruppe 100%. Die Ergebnisse lassen sich jedoch nur bedingt mit den eigenen vergleichen, da bei dieser Autorengruppe der Energiegehalt bei Fütterungsgruppe 80% in allen Phasen niedriger ($\leq 10,5 \text{ MJ/kg}$) lag als bei der eigenen Intensitätsstufe Z und damit auch der Gehalt an Rohprotein und Aminosäuren niedriger war. Die Tiere nahmen zwar gegenüber der Fütterungsgruppe 100% 9,6% mehr Futter pro kg Zunahme auf, konnten damit die niedrigeren Nährstoffgehalte jedoch bei weitem nicht kompensieren. Gramzow (1998) gibt in seiner Arbeit bei männlichen BIG-6 Tieren nach einer 22-wöchigen Mastdauer 22,9 kg Mastendgewicht an und liegt damit deutlich über den eigenen Ergebnissen. Hurwitz et al. (1988) mästeten Puten bis zu einem Alter von 15 Wochen mit konventionellem Futter unterschiedlicher Fettgehalte bei konstantem Energie-Protein-Verhältnis. Tiere aller Altersgruppen reagierten mit einer höheren Wachstumsrate und einem verbesserten Futtermittelverbrauch auf steigende Energiedichte im Futter, wobei diese bei den älteren Tieren grundsätzlich ausgeprägter waren als bei den jüngeren Tieren. Kirn und Firman (1993) konnten mit Energiegehalten über den Empfehlungen der NRC ebenfalls ein signifikant höheres Körpergewicht und eine signifikant bessere Futtereffizienz während der gesamten Mast (bis zur 16. Woche) erreichen.

Die eingesetzten Zusatzstoffe Bentonit und Rovabio™ Excel konnten in jeweils beiden eingesetzten Konzentrationen nicht zu einem signifikant höheren Mastendgewicht gegenüber der Futtergruppe Z-O beitragen. Laut Broz (1993) sollen NSP-spaltende Enzyme die Umsetzbarkeit der Energie und die Nährstoffretention und damit die Futtermittelverwertung verbessern und zu einer erhöhten Wachstumsrate führen. Auch Jeroch (1991) konnte nach Zugabe eines Enzymkomplexes zu einer Ration aus Gerste, Roggen und Weizen eine signifikante Erhöhung der Lebendmasse bei verschiedenen Geflügelarten feststellen. Diese von zahlreichen weiteren Autoren publizierten Effekte konnten in der eigenen Studie nicht beobachtet werden. Dies entspricht den Ergebnissen von Allen et al. (1996), die keinen signifikanten Effekt von NSP-spaltenden Enzymen auf die Lebendmassezunahme beschrieben. Der Zusatz von Tonmineralien führte, im Unterschied zu den hier gemessenen Werten, in einer Untersuchung von Quisenberry (1968) bei Legehennen unter anderem zu einer deutlichen Zunahme im Körpergewicht gegenüber einer Kontrollgruppe mit höherer Gesamtenergieaufnahme. Ebenso

konnten Salari et al. (2006) und Southern et al. (1994) eine Erhöhung ($P < 0.09$) des Körpergewichts durch Zugabe von Natrium Bentonit zu einer Broilerration erkennen.

5.2.2. Fettanteil

In den Altersgruppen 1 und 2 (Abb. 4.5.2.) können noch keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Futtergruppen beim Fettanteil festgestellt werden. In der ersten Phase liegen kaum Unterschiede beim Energiegehalt des Futters vor. In der zweiten Phase ist trotz einer Differenz von bis zu 0,97MJ/ME pro kg Futter (zwischen Futtergruppe A und Z-R1) kein signifikanter Unterschied beim Fettanteil der Tierkörper messbar. In den Altersgruppen 3 und 4 kann in Futtergruppe A ein signifikant höherer Fettanteil in den Tierkörpern gemessen werden. In Altersgruppe 3 weist Futter A mit mindestens 1,05MJ/ME pro kg Futter eine deutlich höhere Energiedichte auf als die Futtergruppen der Intensitätsstufe Z (Altersgruppe 4: mindestens 0,59MJ/ME pro kg Futter). Die Tiere mit dem Futter der Intensitätsstufe Z konnten die niedrigere Energiedichte jedoch nicht durch eine signifikant höhere Futteraufnahme kompensieren. In zahlreichen früheren Studien konnten die Autoren, darunter Sell et al. (1985), einen Anstieg des Fettgehaltes im Tierkörper aufgrund von steigenden ME Konzentrationen im Futter feststellen. In Tabelle 4.5.2. wird deutlich, dass sich die Fettanteile der Tierkörper in Altersgruppe 1 in einem Bereich von 3,95 bis 4,01% Körperfettanteil bewegen. Diese Werte können durch die Einschränkung in der Herstellersoftware verursacht werden. Ist der R-Wert $\geq 1,388$ stagniert der Fettgehalt bei 4%. Die Ergebnisse in den Altersgruppen 1 spiegeln also nicht unbedingt den tatsächlichen Fettanteil wieder. Laut der Weender Analyse aus Versuch 1 liegt der Fettanteil bei Tieren der Altersgruppe 1 teilweise deutlich unter 4% (niedrigster Wert: 1,8%). Da sich die Energieausstattung der Intensitätsstufen A, B und Z aus Versuch 1 und 2 in der Aufzucht nur geringfügig unterscheidet (zwischen 10,89 und 11,55MJ/kg Futter), ist es sehr wahrscheinlich, dass die Tiere in Versuch 2 ähnliche Fettanteile in Altersgruppe 1 aufweisen.

Probleme bei der Bestimmung des Fettanteils traten auch bei den Tieren in Altersgruppe 1 (Abb. 3.6.1.) aus Versuch 1 auf. Mit $R^2 = 0,01$ besteht keine Beziehung zwischen den Messmethoden DXA und der chemischen Analyse und es ergibt sich

eine negative Regressionsgerade. Auch Mitchell et al. (1997) konnten bei Hühnern mit 400-1900g nur eine geringe Übereinstimmung mit $R^2=0,33-0,47$ je nach Scan Modus erreichen. Mitchell et al. (1997) konnten die genauesten Ergebnisse mit dem „small-animal detail“ - Modus erzielen. Bei schwereren Tieren (2000-3290g) konnten mit dem Modus „pediatrie small“ mit $R^2=0,30-0,73$ höhere Übereinstimmungen gefunden werden. Im eigenen Versuch 2 wurden alle Tiere mit dem Modus „pediatrie small“ gescannt.

5.2.3. Magerweichgewebeanteil

Da der Magerweichgewebeanteil stark mit dem Fettanteil im Tierkörper korreliert, kann bei den Tieren der Futtergruppe A in jeder Altersgruppe der niedrigste Magerweichgewebeanteil festgestellt werden. Signifikante Unterschiede zu den restlichen Futtergruppen treten nur in Altersgruppe 3 und 4 auf. Da sich die Futtergruppe A in der Energiedichte nur geringfügig von der der eingesetzten Futtergruppen im Putenversuch 2006 unterscheiden, ist ein Vergleich mit den Werten der BIG-6 Puten von Schöllhorn (2007) möglich, zumal die Tiere jeweils im gleichen Alter (6., 12., 18. und 22. Woche) getötet wurden. Bei Schöllhorn wurden in den ersten drei Altersgruppen auch weibliche Tiere miteinbezogen. Die größte Diskrepanz zwischen den Werten findet sich in Altersgruppe 3 mit 4,11%. Schöllhorn weist in seiner Arbeit auf einen deutlich erhöhten Fettgehalt bei gleichzeitig niedrigerem Gewicht bei den weiblichen Tieren im Vergleich zu den Hähnen in dieser Altersgruppe hin, der den niedrigeren Magerweichgewebeanteil erklären kann.

Tab. 5.2.3. DXA-Lean %: Vergleich der Ergebnisse von Schöllhorn, 2007 (Tiere aus Versuch 1, BIG-6, männliche und weibliche Tiere) und den eigenen Ergebnissen (BIG-6, Hähne, Futtergruppe A) in den vier Altersgruppen

Altersgruppe	Schöllhorn (2007)	Kreuzer (2008)
1	94,5*	94,58
2	91,0*	93,18
3	84,8*	88,91
4	88,8	87,94

*In den ersten drei Altersgruppen wurden bei Schöllhorn (2007) männliche und weibliche Tiere einbezogen

5.2.4. Knochenmineralanteil und Knochenmineraldichte

Bei den in Deutschland eingesetzten schweren Putenlinien in der praxisüblichen Bodenhaltung erfolgt seit Jahrzehnten eine primäre Zuchtselektion auf Schnellwüchsigkeit und einen hohen prozentualen Anteil der Brustmuskulatur, die die Anpassungsfähigkeit des Skeletts und der Beinmuskulatur überfordert. Nicht nur die relative Masse an Beinmuskulatur nimmt mit zunehmendem Alter und Gewicht der Tiere ab (Harshaw und Rector, 1940), sondern parallel dazu auch die relative Skelettmasse (Clayton et al., 1978). In diesem Zusammenhang wurden in der Praxis zunehmend Probleme durch Erkrankungen des Bewegungsapparates wie z.B. Dyschondroplasie (vorwiegend am Tibiotarsus) oder degenerative Gelenkerkrankungen festgestellt, die mit Beinschwäche, mangelnder Bewegungsfähigkeit und erhöhter Frakturneigung, vor allem der langen Röhrenknochen einhergehen (Crespo et al., 2000). Während 1963 kommerzielle Putenlinien im Alter von 16 Wochen noch durchschnittlich 6kg Körpergewicht erzielten, wogen sie 1997 im gleichen Alter durchschnittlich 12,7kg (Nicholas Turkey Breeding Farms, 1997). Tierverluste, die auf Beinschwäche zurückzuführen sind, treten insbesondere bei männlichen Tieren in der letzten Wachstumsphase auf, nachdem sie große Mengen an Futter aufgenommen haben (Nestor, 1984). Die Knochenmineraldichte ist beim Tier von zahlreichen Faktoren wie Alter, Geschlecht, Nutzung, Fütterung oder Haltungsmanagement abhängig. Die Entwicklung des Knochengewebes wird durch mehrere endogene und exogene Faktoren beeinflusst. Zu den endogenen Faktoren werden vor allem Hormone, wie z.B. Calcitonin, Parathormon und Vitamin D3 gezählt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die im Futter enthaltene Energie, die Treibstoff für die Entwicklung des gesamten Organismus ist, auch die Hormonaktivität reguliert und damit indirekt die Knochenentwicklung beeinflusst. Kalzium wird dem Körper exogen durch das Futter zugeführt und spielt eine wichtige Rolle bei der Kalzifikation der organischen Knochenmatrix. Eine ungenügende Versorgung kann durch eine nicht bedarfsgerechte Kalzium-Konzentration oder einen Mangel an Vitamin-D im Futter

entstehen. Am ungünstigsten wirkt sich eine niedrige Kalzium-Versorgung bei gleichzeitigem Überschuss an Phosphat aus und der Aschegehalt des Knochens wird stark herabgesetzt. Mehrere Autoren, darunter Hocking et al. (2002), führten Untersuchungen zur Bestimmung der Kalzium- und Phosphorkonzentration im Mastfutter durch, um die Leistung der Tiere zu optimieren und gleichzeitig das Auftreten von Bewegungsstörungen und Skeletterkrankungen zu vermindern. In der Putenmast wird ein an Phasen angepasstes Kalzium-Phosphor-Verhältnis (%) von 1,23:1,0 in der Aufzucht; 1,08:0,89 in Phase 2 (bis 12. Woche); 0,91:0,70 in Phase 3 und 0,68:0,54 in Phase 4 (ab 18. Woche) empfohlen. Bis zur 4. Woche sollen 13g/kg Kalzium und 10 g/kg Phosphor enthalten sein, bis zur 12. Woche 10g Kalzium und 7,5g Phosphor und bis zur 21. Woche 7g Kalzium und 5g Phosphor (Deerberg et al., 2004). B.U.T. empfiehlt in der Aufzucht 13,5g Kalzium pro kg Futter bei deutlich niedrigerem Phosphorgehalt von ca. 7g/kg. Laut Futtermittelanalyse (Tabellen 4.4.1.1.) konnten im eigenen Versuch die genannten Empfehlungen nicht immer eingehalten werden. Während die Futtergruppe A in der Aufzuchtphase mit beiden Mengenelementen überversorgt ist, enthält vor allem das Futter Z-R1 und Z-R2 zu wenig Kalzium bei gleichzeitig ungünstigem Kalzium:Phosphor Verhältnis von 0,9:1,00. Bei den Tieren der Futtergruppe A konnte DXA einen signifikant höheren Knochenmineralanteil (%) als bei den Tieren der restlichen Futtergruppen messen (Tab. 4.5.4.). Die Knochenmineraldichte (g/cm^2) unterscheidet sich bei Futtergruppe A nur signifikant von Futtergruppe Z-0, nicht jedoch von den mit Kalzium unterversorgten Futtergruppen Z-R1 und Z-R2 (Tab. 4.5.5.). Berücksichtigt werden sollte, dass die Tiere der zuletzt genannten Futtergruppen am Ende der Aufzucht ein um 300g niedrigeres Körpergewicht als die der Futtergruppe A aufwiesen. In den Phasen 2, 3 und 4 deckten alle eingesetzten Futter die Bedarfsempfehlungen von Deerberg et al. (2004). Das Kalzium-Phosphor-Verhältnis betrug in Phase 3 und 4 durchschnittlich 1,1:1. Nach Phase 2 ist der Knochenmineralanteil (%) bei den Tieren der Futtergruppe A nur noch signifikant höher als bei denen der Futtergruppen Z-R2 und Z-0 und ist fast identisch mit den Werten der Futtergruppen Z-B1 und Z-R1. Die Futtergruppen Z-B2 und Z-R1 haben in dieser Phase 2g/kg Futter Kalzium mehr in der Ration als die Futtergruppen A, Z-0 und Z-B2. Futtergruppe A weist trotzdem die signifikant höchste Knochenmineraldichte (g/cm^2) nach Phase 2 und des Weiteren auch nach den Phasen 3 und 4 auf. Der Knochenmineralanteil zeigt nach den Phasen 3 und 4 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Futtergruppen. Es

kann also kein direkter Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Kalzium und Phosphor in der Ration und dem von DXA ermittelten BMD und BMC im Körper festgestellt werden. Die Festigkeit des Knochens wird von weiteren Faktoren beeinflusst. Der Gehalt an verfügbarem Phosphat ist beim Geflügel zusätzlich vom Gehalt an Phytinphosphat im Getreide abhängig, aus dieser Verbindung können die Tiere nur etwa 8% resorbieren. Bei Verabreichung einer Ration mit hohem Körneranteil kann daraus aber ein Phosphatüberschuss entstehen, der wiederum zu einem Kalziummangel führt (Heider und Monreal, 1992). Ein hoher Gehalt an NSP in der Ration kann laut Ulbrich et al. (2004) durch die hohe Affinität der NSP gegenüber Kationen zu einer Ausschwemmung essentieller Mineralstoffe und so zu Mineralstoff-Inbalancen führen. Durch den Einsatz des Enzymkomplexes Rovabio™ Excel bei Futtergruppe Z-R1 und Z-R2 konnte keine Verbesserung in der Mineralstoffretention gemessen werden, zumindest keine unmittelbare Auswirkung auf eine höhere Knochendichte gegenüber der Futtergruppe Z-0. Die Zugabe von Bentonit brachte keine signifikante Erhöhung von BMD gegenüber Z-0, in Altersgruppe 4 sogar eine signifikante Verschlechterung der BMD von Z-B1 gegenüber Z-0. Übereinstimmend dazu konnten Southern et al. (1994) weder mit Sodium Bentonit noch mit HSCA in verschiedenen Mangelrationen einen Einfluss auf den Asche-, Kalzium- und Phosphorgehalt der Tibia von Broilern messen.

Die Beschaffenheit des Knochens wird neben der Mineralstoffversorgung auch von der Art der Haltung beeinflusst. Wird den Vögeln ein Auslauf zur Verfügung gestellt weist die Rindensubstanz des Femurs eine bessere Beschaffenheit auf als bei Haltung auf engem Raum oder im Käfig.

Veränderungen der Knochenbeschaffenheit wurden traditionell mit invasiven Methoden wie Knochenbruchfestigkeit, Veraschung, mineralische Analyse der Asche oder Histomorphometrie gemessen (Hester et al., 2004). Eine Verlaufsuntersuchung konnte bei diesen Methoden im Gegensatz zur DXA-Technik naturgemäß nicht durchgeführt werden. Zotti et al. (2003) konnten eine signifikante Beziehung zwischen dem Knochenbruchrisiko des Humerus und DXA-BMD feststellen ($r=0.762-0.785$; $P\leq 0.01$). Eine hohe Korrelation ($r=0,949-0963$; $P\leq 0,01$) konnte auch beim Vergleich von BMC und Aschegehalt von isolierten Putenhumeri erreicht werden. Schreiweis et al. (2005) verglichen BMC und BMD von Tibia und Humerus bei Hühnern, in dem die entsprechenden Bereiche am lebenden Tier und anschließend an den mazerierten Knochen mit DXA analysiert und deren Aschegehalt bestimmt

wurde. BMC und BMD korrelierten sehr hoch mit den Werten der Veraschung (lebend: Tibia $r=0,73$; Humerus $r=0,92$; mazeriert: $r=0,73$ bzw. $0,97$). Die Absolutwerte lagen jedoch bei beiden Lebendmessungen höher als die Werte der mazerierten Knochen, beim BMC signifikant mit ca. $0,1\text{g}$ und bei BMD nicht signifikant mit ca. $0,0005\text{g}/\text{cm}^2$. Eine signifikant positive Korrelation zwischen BMD und Knochenbruchfestigkeit ($r=0.58-0.68$) sowie BMD und Aschegehalt ($r=0.73-0.99$) führte die Autoren zu dem Schluss, dass ein niedriger BMD ein Hinweis für eine erhöhte Frakturanfälligkeit ist und damit die Grundlage für eine gezielte Selektion auf eine verbesserte Skelettintegrität sein kann. Eine frühe Selektion der Tiere, die Schreiweis et al. (2005) in Betracht ziehen, ist nach den Ergebnissen der eigenen Untersuchung nicht sinnvoll, da sich signifikante Unterschiede bei BMD, zumindest beim Einsatz verschiedener Futtergruppen, erst nach der zweiten Versuchsphase (12. Lebenswoche) herauskristallisierten. Kirn und Firman (1993) führten eine umfangreiche Untersuchung zur Auswirkung unterschiedlicher Protein- und Energielevel der Ration auf Leistungs- und Gesundheitsparameter bei schweren, weißen, männlichen Puten durch. Ein steigender Energiegehalt des Futters ging mit einem zunehmendem Radius der Knochenmarkshöhle der Tibia ($P<0.05$) und einer Verbreiterung des Unterschenkelquerschnittes bei Tieren im Alter von 4 Wochen einher. Ein höheres Energieniveau war zusätzlich mit einem signifikant höheren Kalziumgehalt der Knochen ($P<0.05$) im selben Alter und einer höheren Knochenbruchfestigkeit ($P<0,01$) mit 8 Wochen verbunden. Im Alter von 16 Wochen konnte hingegen kein Effekt auf die Knochenparameter festgestellt werden. Insgesamt kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass sich unterschiedliche Energiestufen gering bis gar nicht auf die Beinstärke der Puter auswirken.

5.2.5. Futteraufnahme und Futterverwertung

Bei der Futteraufnahme gab es innerhalb der vier Altersgruppen zwischen den Futtergruppen keine signifikanten Unterschiede, mit Ausnahme der Futtergruppen Z-0 und Z-B2 nach Phase 3. Die Angaben für die Phase 3 sind jedoch mit gewissen Einschränkungen verbunden. In dieser Phase war in mehreren Boxen, wobei alle Fütterungsgruppen betroffen waren, eine hohe Futtervergeudung durch die Tiere zu

beobachten, deren Auswirkungen auf den Futtermittelverbrauch durch eine Regression nur bedingt korrigiert werden konnten.

Die Futtergruppen mit der Intensitätsstufe Z konnten die geringere Energieausstattung nicht, wie nach den Ergebnissen von Schmidt et al. (2007) zu erwarten war, mit einer höheren Futteraufnahme kompensieren. Bei der durchschnittlichen Futteraufnahme über alle vier Altersgruppen konnte die Futtergruppe A mit durchschnittlich 359,11g pro Tag sogar mehr Futter aufnehmen als die Futtergruppe Z-0. Auch mit dem Enzymzusatz Rovabio™ Excel konnte keine (Z-R1) oder nur eine geringe (Z-R2) Erhöhung der Futteraufnahme erzielt werden. Futtergruppe Z-B1 nahm mit 359,43g gleich viel Futter auf wie die Tiere der Futtergruppe A. Am höchsten war der Futtermittelverbrauch der Futtergruppe Z-B2 mit 372,73g. Mit einer Konzentration von 2% Bentonit in der Ration nahmen die Tiere dieser Futtergruppe vor allem in Phase 3 und 4 mehr Futter auf als die Tiere mit Futter der Intensitätsstufe A. Laut Abb. 4.4.4. nahm Z-B2 dadurch in Phase 3 und 4 mehr ME auf als die restlichen Futtergruppen mit Intensitätsstufe Z. Trotzdem konnte die bessere Energieausstattung der Futtergruppe A damit nicht ganz kompensiert werden. Auch wurde mit der höheren ME-Aufnahme kein signifikant höheres Körpergewicht gegenüber den weiteren Z-Gruppen nach Phase 3 und 4 erreicht. Hesselman und Aman (1986) fanden bei einer Supplementation von β -Glukanase, die auch im verwendeten Enzymkomplex Rovabio™ Excel enthalten ist, zu einer Gerstenmischung eine Erhöhung der Futteraufnahme, der Körpermasse sowie eine Verbesserung der Futtermittelverwertung. Gerste wurde im eigenen Versuch bei Intensitätsstufe Z in der 3. und 4. Phase mit 22 bzw. 27% der Gesamtration eingesetzt. Die Ergebnisse der eigenen Studie in Bezug auf die Futteraufnahme sind widersprüchlich. Die Tiere mit dem Enzymkomplex in der Ration konnten in der dritten Phase mehr Futter aufnehmen als Z-0, in der vierten aber deutlich weniger. Eine geringe Verbesserung der Futtermittelverwertung im Vergleich zu Z-0 konnte lediglich in Phase 4 beobachtet werden. Bei verschiedenen Autorengruppen wie Jeroch et al. (1993), Schutte et al. (1993) und Hock et al. (1997) verringerte sich der Futtermittelverzehr der Tiere numerisch gegenüber Kontrolltieren ohne Enzymzusatz im Futter, bei gleichzeitig signifikanter Verbesserung der Leistungen wie Körpermasse und Futteraufwand. Grundlage der Ration war bei den genannten Autoren Weizen, der im eigenen Versuch nur bei Futtergruppe A eingesetzt wurde.

Ein positiver Effekt auf die Futteraufnahme und -verwertung resultierte ebenfalls nicht aus der Zugabe des Natrium-Bentonit FENA-MIN. Eine signifikante Verbesserung der Futteraufnahme konnte lediglich in Altersgruppe 3 bei Z-B2 gegenüber Futtergruppe Z-0 und tendenziell in Altersgruppe 4 gegenüber Z-R2 erzielt werden. Die Futterverwertung war in Phase 4 tendenziell signifikant schlechter als die der Futtergruppen A und Z-R2. Salari et al. (2006) stellten eine Erhöhung der Futteraufnahme und eine geringere Futterverwertung bei Broilern fest. Die Futterverwertung war in allen vier Phasen bei Futtergruppe A am effektivsten (Signifikanzen Kapitel 4.4.6.).

5.2.6. Einfluss von Rovabio™ Excel und Natrium-Bentonit (FENA-MIN) auf die Kotbeschaffenheit

Ziel dieses Versuchs war es unter anderem, den Einfluss des Enzymkomplexes Rovabio™ Excel auf die Kotbeschaffenheit bei einer ME-reduzierten Fütterung zu untersuchen. Die Versuche von Schmidt et al. (2007) zeigten, dass die Verwendung von Rohstoffen mit niedrigem ME-Gehalt zu einem Anstieg der NSP und folglich zu einer unbefriedigenden Kotkonsistenz führt. Angestrebt werden eine niedrige Kotviskosität und damit ein hoher Trockenmassegehalt des Kots. Eine hohe Kotviskosität bedeutet ein hoher Wassergehalt im Kot, was sich in zähfließendem, klebrigem Kot äußert. Dies führt zu nasser Einstreu, starker Gefiederverschmutzung und damit einem schlechten Hygienezustand während der Mast.

Die gemessenen Enzymaktivitäten (analysiert von der Fa. Adisseo) lagen in den Aufzuchtmischungen von Z-R1 und Z-R2 sowie in den Mastmischungen für die Phase 4 jeweils unter den Zielwerten. In den Mastmischungen der Phasen 2 und 3 wurden die Zielwerte jeweils nahezu erreicht (Tab. 4.4.1.2.).

Die Zugabe von Rovabio™ Excel führte in keiner der vier Versuchsphasen zu einer signifikanten Senkung der Kotviskosität bei den Futtergruppen Z-R1 und Z-R2 gegenüber den Futtergruppen ohne Enzymkomplex (Abb. 4.4.7.1.). Lediglich in Altersgruppe 1 war die Kotviskosität bei Futtergruppe Z-R2 im Vergleich zu Z-B1 annähernd signifikant niedriger ($p=0,06$) und in Altersgruppe 4 im Vergleich zu Z-B2 signifikant niedriger. In Altersgruppe 2 war die Kotviskosität bei Z-R2 sogar höher als bei den restlichen Futtergruppen. In den ersten beiden Phasen wies der Kot der

Futtergruppe A die niedrigste Viskosität (signifikant gegenüber Z-B1 und Z-B2) auf, bei gleichzeitig höchstem Trockenmassegehalt aller Futtergruppen (4.4.7.2.). Auch in Altersgruppe 2 wies Futtergruppe A den höchsten Trockenmassegehalt im Kot auf (signifikant gegenüber Z-0, Z-B1, Z-R1 und Z-R2). Der Einfluss von Enzymen wie Xylanase und β -Glucanase auf Leistung und Tiergesundheit wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Laut Bedford und Schulze (1998) müssen beim Einsatz von Enzymen in der Tierernährung zahlreiche Faktoren beachtet werden: Herstellung der Enzyme sowie Art, Herkunft, Lagerung und Verarbeitung der eingesetzten Futtermittel, Alter und Gesundheitsstatus der Tiere und Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Futtermitteln. Die Viskosität variiert je nach Art des Getreides, Anbaugesamt und klimatischen Bedingungen im Anbaujahr. Je höher die Viskosität des Getreides, desto höher die Viskosität des Darminhalts. Im Futter der Intensitätsstufe Z war neben Mais (in allen Phasen) ab der dritten Phase Gerste enthalten, während bei Intensitätsstufe A in allen Phasen Weizen und Mais enthalten war. Den in der Gerste enthaltenen β -Glucanen wird eine antinutritive Wirkung zugeschrieben, die durch den Einsatz von β -Glucanasen (enthalten in Rovabio™ Excel) aufgehoben werden soll. Die Verwendung von Rohstoffen mit geringem ME-Gehalt führte - trotz Einsatz des Enzymkomplexes Rovabio™ Excel - zu einer unbefriedigenden Kotbeschaffenheit.

Durch die Zugabe des Natrium-Bentontits FENA-MIN konnte nur in Altersgruppe 3 bei Z-B1 eine signifikant niedrigere Kotviskosität gegenüber Z-0 festgestellt werden (Abb. 4.4.7.1.). In Altersgruppe 1 und 4 wiesen Z-B1 und Z-B2 sogar die höchste Kotviskosität aller Futtergruppen auf. In Altersgruppe 4 war die Kotviskosität bei Z-B2 signifikant höher als bei Z-0, Z-R1 und Z-R2. Diese Ergebnisse entsprechen nicht den von Quisenberry (1968) und Olver (1989) publizierten Daten, wonach bei der Legehennen der Zusatz von Bentonit zu einer signifikanten Senkung des Feuchtigkeitsgehalts im Kot führt.

Weitere Untersuchungen zum Einsatz von Enzymen und Tonmineralien in der ökologischen Putenmast sind in der aktuellen Literatur nicht zu finden und erfordern weitere Untersuchungen.

6. Zusammenfassung

Ziel dieser Untersuchung ist es, die Anwendbarkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) bei Puten mit unterschiedlichen Fütterungsintensitäten in verschiedenen Altersgruppen (6, 12, 18 und 22 Wochen) zu überprüfen. Dazu wurden zwei Versuche durchgeführt. Im ersten Versuch wurden Puten der Genotypen Big 6 und Kelly Bronze (Gewichtsbereich 1,3 – 24,1kg) eingefroren und in einer Kunststoffüte verpackt mit einem DXA-Gerät (GE LUNAR DPX-IQ) gescannt. Anschließend wurde an den aufgetauten Tieren eine chemische Analyse zur Evaluierung der Übereinstimmung der mit DXA ermittelten Werte für die Körperzusammensetzung durchgeführt. Für die einzelnen DXA-Parameter Gewicht, Knochenmineralmasse bzw. -gehalt (g bzw. %), Fettgewebemasse bzw. -anteil (g bzw. %) und Magerweichgewebe (g) werden unterschiedliche gute Übereinstimmungen mit der Weender Analyse erreicht. DXA kann das Gewicht (nach dem Autoklavieren) mit einer sehr hohen Genauigkeit ($R^2=0,99$) im Vergleich zur Messung mit einer elektronischen Waage ermitteln. Die Knochenmineralmasse (g) stimmt ebenfalls sehr genau ($R^2=0,97$) mit dem Aschegehalt (g) und ebenso Fettgewebemasse (g) mit $R^2= 0,86$ genau mit dem Fettgehalt (g) bzw. der Fettgewebeanteil (%) mit dem Fettgehalt (%) (0,74) überein. Die Beziehung zwischen der Summe aus Wasser und Protein und LEAN (g) ist mit $R^2=0,99$ sehr hoch. Hingegen kann in einzelnen Altersgruppen z.B. in Altersgruppe 2 ($R^2=0,03$) keine Übereinstimmung bei Ascheanteil (%) und Knochenmineralgehalt (%) zwischen beiden Messmethoden gefunden werden.

Im zweiten Teil des Versuchs wurde die Auswirkung unterschiedlicher Fütterungsintensitäten im ökologischen Alleinfutter auf den Wachstumsverlauf von männlichen Puten des Genotyps Big 6 (Gewichtsbereich 1,13-22,7kg) mittels DXA gemessen. Die Tiere wurden in sechs Futtergruppen mit zwei unterschiedlichen Intensitätsstufen und der Zugabe von zwei Zusatzstoffen, dem Enzymkomplex Rovabio™ Excel und dem Natrium-Bentonit FENA-MIN, in jeweils zwei unterschiedlichen Konzentrationen eingeteilt. Neben den DXA-Werten (Gewicht, Magerweichgewebe, Fettgewebe, Knochenmineralanteil und Knochenmineraldichte), ebenfalls gemessen mit GE LUNAR DPX-IQ, sollten die Parameter Futteraufnahme, durchschnittliche ME-Aufnahme, Futtermittelverwertung, Kotviskosität und Kottrockenmasse der einzelnen Futtergruppen einbezogen werden. DXA kann

Unterschiede bei den aufgeführten Parametern im Wachstumsverlauf der Tiere zwischen den einzelnen Futter- und Altersgruppen erkennen. Die Futtergruppe mit der höheren Energiestufe ist den anderen Futtergruppen in mittels DXA gemessenem Gewicht (Altersgruppe 2, 3 und 4) und Knochenmineraldichte (Altersgruppe 2, 3 und 4), sowie in den Leistungs- und Gesundheitsparametern Futterverwertung (Altersgruppe 2 und 3) und Kottrockenmasse (Altersgruppe 1 und 2) signifikant überlegen. In den Futtergruppen mit der niedrigeren Energiestufe wurde mittels DXA in den letzten beiden Altersgruppen ein signifikant niedrigerer Fettanteil und höherer Magerweichgewebeanteil im Vergleich zu den Tieren mit dem Futter der höheren Intensitätsstufe gemessen. Die Futterzusatzstoffe Rovabio™ Excel und FENA-MIN bringen keine signifikanten Verbesserungen bei Gewicht (DXA), Knochenmineraldichte (DXA), Futteraufnahme, Futterverwertung, Aufgenommene ME sowie Kotviskosität und Kottrockenmasse und keine signifikanten Veränderungen bei den übrigen Parametern.

7. Summary

Title: Effect of different energy levels in "ecological" turkey fattening diets on the growth pattern of one turkey genotype, measured by dual energy X-ray absorptiometry (DXA)

It is the aim of this investigation to examine the application of the dual energy x-ray absorptiometry on turkeys fed with different intensities in different age groups (6, 12, 18 and 22 weeks). Therefore two trials were performed. In the first test, turkeys of the genotypes Big 6 and Kelly Bronze (weight 1,3-24,1 kg) were frozen, wrapped in a plastic bag and scanned using a Lunar DPX-IQ densitometer. Then a chemical analysis of the defrosted animals was performed to evaluate the accordance with the values for the body composition determined by dual energy X-ray absorptiometry (DXA). Different grades of correlations were achieved for the single parameters DXA-weight, bone mineral content (g respectively %), fat (g respectively %) and lean (g) with the Weender Analysis. DXA provides body weight data (after autoclaving) with very high precision ($R^2=0.99$) in comparison to the measurement with an electronic balance. DXA bone mineral content (g) also agrees very well ($R^2=0.97$) with chemical ash content, as does DXA fat (g) with chemical fat (g) ($R^2=0.86$) and DXA fat (%) with chemical fat content (%) ($R^2=0.74$). There is a strong relationship between the sum of chemical water and chemical protein and DXA lean (g) ($R^2=0.99$). However, chemical ash percentage (%) and DXA bone mineral content (%) showed a low relationship - especially within single age groups.

In the second part of the trial, the effects of different feeding intensities using "ecological" diets during growth of male turkeys of the genotype Big 6 (weight 1,13-22,7kg) were measured by DXA. The animals were attributed to six feeding groups with two different intensities and two feed additives, as were the enzyme complex Rovabio™ Excel and sodium bentonite FENA-MIN, each in two different concentrations. Besides the DXA-values (weight, lean, fat, bone mineral content and bone mineral density), the parameters feed intake, average ME-intake, feed utilization, viscosity and faecal moisture content of the single feeding groups were analysed. DXA is suitable to recognize differences for the given parameters among the feeding and age groups during growth of the animals. The feeding group with the higher level of energy significantly exceeds the other feeding groups in DXA-weight (age group 2, 3 and 4), and DXA bone mineral density (age group 4), and as well in

the performance and health parameters feed utilization (age group 2 and 3) and faecal moisture content (age group 1 and 2). In the feeding groups with the lower energy level, a significantly lower fat percentage and a higher lean percentage was measured by DXA in comparison with the animals of the higher intensity level. Neither do the feed additives Rovabio™ Excel and FENA-MIN lead to a significant improvement of DXA-weight, DXA bone mineral density, feed intake, feed utilization, ME-intake, viscosity and faecal moisture content nor do they lead to a significant improvement of the other parameters.

6. Literaturverzeichnis

Allen, C.M.; Bedford, M.R.; McCracken, K.J.:

Effects of rate of wheat inclusion and enzyme supplementation on diet metabolisability and broiler performance. Br. Poultry Sci. 1996; 37: 44-45

Almquist, H.J.; Christensen, H.L.; Maurer, S.:

The effects of bentonites on nutrient retention by turkeys. Feedstuffs 1967; 39: 54

Andersson, R.:

Proteinträger in der Fütterung des ökologischen Landbaus. 2005;

In: Landwirtschaftskammer Hannover, Referat Ökologischer Landbau (Ed.)

Untersuchungsvorhaben in der ökologischen Schweine- und Geflügelhaltung des Landes Niedersachsen 2002-2003

Andrew, S.M.; Erdman, R.A.; Waldo, D.R.:

Prediction of Body Composition of Dairy Cows at Three Physiological Stages from Deuterium Oxide and Urea Dilution. Journal of Dairy Science 1994; 77(10): 3022-3033

Arlot, M.E.; Sornay-Rendue, E.; Garnero, P.; Vey-Marty, B.; Delmas, P.D.:

Apparent Pre- and Postmenopausal Bone Loss Evaluated by DXA at Different Skeletal Sites in Women: The OFELY Cohort.

Journal of Bone and Mineral Research 1997; 12: 683-690

Asch, A.; Roby, D.D.:

Some factors affecting precision of the total body electrical conductivity technique for measuring body composition in live birds. Wilson Bull. 1995; 107(2): 106-316

Ball, S.D.; Altena, T.S.; Swan, P.D.:

Comparison of anthropometry to DXA: a new prediction equation for men.

European Journal of Clinical Nutrition 2004; 58: 1525-1531

Bassler, R. (Ed.):

Methodenbuch Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln mit 2. Ergänzungslieferung 1988, 3. Ergänzungslieferung 1993, 4. Ergänzungslieferung 1997. VDLUFA-Verlag, Darmstadt 1988.

Bedford, M.R.; Morgan, J.:

The use of enzymes in poultry diets. *Wild's Poult. Sci. J.* 1996; 52: 61-68

Bedford, M.R.; Schulze, H.:

Exogenous enzymes for pigs and poultry. *Nutrition Research Reviews* 1998; 11: 91-114

Bellof, G.; Schmidt, E.:

100% Biofütterung bei Mastgeflügel und in der Geflügelzucht.
Österreichische Fachtagung für biologische Landwirtschaft, 9.-10. November 2005, 63-66; Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning

Belyea, R.L.; Frost, G.R.; Martz, F.A.; Forkner, L.G.:

Body composition of dairy cattle by potassium-40 liquid scintillation detection. *J. Dairy Sci.* 1978; 106-210

Bennet, R.M.:

Willingness-to-pay measures of public support for farm animal welfare legislation. *Vet. Rec.* 1996; 139: 320-321

Bertin, E.; Ruiz, J.-C.; Mourot, J.; Peiniau, P.; Portha, B.:

Evaluation of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry for Body-Composition Assessment in Rats. *J. Nutr.* 1998; 128: 1550-1554

Black, A.; Tilmont, E.; Edward, M.; Baer, D.J.; Roth, G.S.; Lane, M.A.:

Accuracy and precision of dual-energy X-ray absorptiometry for body composition measurements in rhesus monkeys. *Journal of Medical Primatology* 2001; 30(2):94-99

Blake, G.M.; Fogelman, I.:

Technical principles of dual energy x-ray absorptiometry. Semin Nucl Med 1997; 2(3): 210-28

Bleiler, R.A.; Schedl, H.P.:

Creatinine excretion: variability and relationship to diet and body size. J. Lab. Clin. Med. 1962; 59: 945

Borsook, H.; Dubnoff, J.W.:

The hydrolysis of phosphocreatine and the origin of urinary creatinine. J. Biolog. Chem. 1947; 168: 493-510

Bosy-Westphal, A.; Korth, O.; Müller M.J.:

Body composition research: Von klassischen Kompartimentenmodellen zu metabolischen und qualitativen Analysen. Akt. Ernähr. Med. 2005; 30: 130-135

Brenøe, U.T.; Kolstad, K.:

Body Composition and Development Measured Repeatedly by Computer Tomography During Growth in Two Types of Turkeys. Poultry Science 2000; 79: 546-552

Brommage, R.:

Validation and calibration of DEXA body composition in mice. Am J Physiol Endocrinol Metab 2003; 285: E454-E459

Broz, J.:

Enzymes as feed additives in poultry nutrition – current application and future trends. Mh. Vet. Med. 1993; 48: 213-362

Brunken, H.-G.:

Untersuchungen von drei verschiedenen Ökorationen in der Schweinemast. 2005; In: Landwirtschaftskammer Hannover, Referat Ökologischer Landbau (Ed.) Untersuchungsvorhaben in der ökologischen Schweine- und Geflügelhaltung des Landes Niedersachsen 2002-2003

Brunton, J.A.; Bayley, H.S.; Atkinson, S.A.:

Validation and application of dual-energy x-ray absorptiometry to measure bone mass and body composition in small infants. *Am J Clin Nutr* 1993; 58: 839-45

BUT:

British United Turkeys Limited, 2002. B.U.T. Breeds.

<http://www.but.co.uk/technical/library.asp>, Download

Cameron, J.R.; Sorenson, J.:

Measurement of bone mineral in vivo. *Science* 1963; 42: 230-2

Castañeda, S.; Largo, R.; Calvo, E.; Rodríguez-Salvanés, F.; Marcos, M.E.; Díaz-Curiel, M.; Herrero-Beaumont, G.:

Bone mineral measurement of subchondral and trabecular bone in healthy and osteoporotic rabbits. *Skeletal Radiol.* 2006; 35(1): 34-41

Castro, G.; Wunder, B.A.; Knopf, F.L.:

Total body electrical conductivity (TOBEC) to estimate total body fat of free-living birds. *The Condor* 1990; 92: 496-499

Choct, M.:

Non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. *Feed Milling Int.* 1997; June: 13-19

Choct, M.; Annison, G.:

The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans. *Br. Poultry Sci.* 1992; 67: 123-132

Chung, T.K.; Erdmann, J.W. Jr.; Baker, D.H.:

Hydrated sodium calcium aluminosilicate: effects on zinc, manganese, vitamin A and riboflavin utilization. *Poultry Science* 1990; 69(8): 1364-70

Clark, J.L.; Hedrick, H.B.; Thompson, G.B.:

Determination of body composition of steers by potassium-40.

J. Anim. Sci. 1976; 42: 352-356

Clarke, R.D.; Kirton, A.H.; Bartle, C.M.; Dobbie, P.M.:

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

Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production 1999; 59: 272-274

Clayton, G.A.; Nixey, C.; Monaghan, G.:

Meat yield in turkeys. Br. Poult. Sci. 1978; 19: 755-763

Crespo, R.; Stover, S.M.; Taylor, K.T.; Chin, R.P.; Shivaprasad, H.L.:

Morphometric and Mechanical Properties of Femora in Young Adult Male Turkeys with and Without Femoral Fractures. Poultry Science 2000; 79: 602-608

Day, E.J.:

Silicates in broiler diets. Poultry Science 1970; 49: 1998-202

De Campeneere, S.; Fiems, L.; Vanacker, J.; Boucque, C.:

Evaluation of urinary creatinine excretion to estimate in vivo body composition of Belgian Blue double-musced bulls. Ann. Zootech. 2000; 49: 335-342

Deerberg; Joost-Meyer zu Bakum; Staack (Hg.):

Ökologische Geflügelerzeugung – Fütterung und Management. Bioland Verlags GmbH; 1.Auflage 2004

DelGiudice, G.D.; Asleson, M.A.; Varner, L.W.; Hellgren, E.C.:

Twenty-four-hour urinary creatinine and urea nitrogen excretion male white-tailed deer. Can. J. Zool. 1995; 73: 493-501

Dinning, J.S.; Gallup, W.D.; Briggs, H.M.:

Excretion of creatinine and creatine by beef steers. J. Biol. Chem. 1949; 177:157-161

Dirrigl, F.J.; Dalsky, G.P.; Warner, S.E.:

Dual-energy X-ray absorptiometry of birds: an examination of excised skeletal specimens. J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med 2004; 51(6): 313-9

Domermuth, W.; Veum, T.L.; Alexander, M.A.; Hedrick, H.B.; Clark, C.; Eklund, D.:

Prediction of lean body composition of live market weight swine by indirect methods. J. Anim. Sci. 1976; 43: 966-976

Dusel, G.; Kluge, H.; Gläser, K.; Simon, O.; Hartmann, G.; Lengerken, J.v.; Jeroch, H.:

An investigation into the variability of extract viscosity of wheat - relationship with the content of non-starch-polysaccharide fractions and metabolisable energy for broiler chickens; Arch. Animal Nutrition 1997; 50: 121-135.

Dusel, G.; Kluge, H.; Simon, O.; Bedford, M.; Jeroch, H.:

Xylanase supplementation of wheat based rations for broilers – influence of wheat characteristics. Journal of applied poultry research 1998; 7(2): 13-26

Elliott, D.A.; Backus, R.C.; Loan Van, M.D.; Rogers, Q.R.:

Extracellular Water and Total Body Water Estimated by Multifrequency Bioelectrical Impedance Analysis in Healthy Cats: A Cross-Validation Study. J. Nutr. 2002; 132: 1760S-1762S

Ellis, K.J.; Shypailo, R.J.:

Bone Mineral and Body Composition Measurements: Cross-Calibration of Pencil-Beam and Fan-Beam Dual-Energy X-Ray Absorptiometers. Journal of Bone and Mineral Research 1998; 13(10): 1613-1618

Ellis, K.J.; Shypailo, R.J.; Pratt, J.A.; Pond, W.G.:

Accuracy of dual-energy x-ray absorptiometry for body-composition measurements in children. Am J Clin Nutr 1994; 60: 660-665

Ellis, K.J.:

Human body composition: in vivo Methods. Physiol. Rev. 2000; 80: 649-680

Ellis, K.J.:

Selected Body Composition Methods Can Be Used In Field Studies.

J. Nutr. 2001; 131: 1589S-1595S

Elowsson, P.; Anders, H.F.; Mallmin, H.; Feuk, U.; Hansson, I.; Carlsten, J.:

An Evaluation of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry and Underwater Weighing to Estimate Body Composition by Means of Carcass Analysis in Piglets.

J. Nutr. 1998; 128: 1543-1549

Farhat, A.; Chavez, E.R.:

Comparative Performance, Blood Chemistry, and Carcass Composition of Two Lines of Peking Ducks Reared Mixed or Separated by Sex.

Poultry Science 2000; 79: 460-465

Feely, R.S.; Larkin, L.M.; Halter, J.B.; Dengel, D.R.:

Chemical versus dual energy x-ray absorptiometry for detecting age-associated body composition changes in rats. Exp. Gerontol. 2000; 35(3): 417-27

Fink, C.; Cooper, H.J.; Huebner, J.L.; Guilak, F.; Kraus, V.B.:

Precision and accuracy of a transportable dual-energy X-ray absorptiometry unit for bone mineral measurement in guinea pigs. Calcif Tissue Int. 2002; 70(3): 164-9

Forbes, G.B.; Bruining, G.J.:

Urinary creatinine excretion and lean body mass. Am. J. Clin. Nutr. 1976; 29:1359-1366

Fölsch, D.W.; Knierim, U.; Staack, M.:

Einsatz von gekeimtem Getreide in der Geflügelfütterung. Bericht Fachgebiet Nutztierethologie und Tierhaltung, Fachgebiet Ökologische Agrarwissenschaften, Universität Kassel. 2004

Fusch, C.; Slotbom, J.; Fuehrer, U.; Schumacher, R.; Keisker, A.;

Zimmerman, W.; Moessinger, A.; Boesch, C.; Blum, J.:

Neonatal Body Composition: Dual-Energy X-Ray Absorptiometry, Magnetic Resonance Imaging, and Three-Dimensional Chemical Shift Imaging versus Chemical Analysis in Piglets. Pediatric Research 1999; 46: 465-473

Giese, W.:

Kompendium der Physik für Veterinärmediziner. Ferdinand Enke Verlag 1997.
Stuttgart, 171

Glickman, S.G.; Marn, C.S.; Supiano, M.A.; Dengel, D.R.:

Validity and reliability of dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of abdominal adiposity. J Appl Physiol 2004; 97: 509-514

Gotfredsen, A.; Jensen, J.; Borg, J.; Christiansen, C.:

Measurement of Lean Body Mass and Total Body Fat Using Dual Photon Absorptiometry. Metabolism 1986; 35(1): 88-93

Gotfredsen, A.; Borg, J.; Christiansen, C.; Mazess, R.B.:

Total body bone mineral in vivo by dual photon absorptiometry. II. Accuracy. Clin Physiol. 1984; 4(4): 357-62

Gramzow, S.:

Untersuchungen zum Wachstumsverlauf, Futter-, Protein- und Energieaufwand, zur Schlachtkörperzusammensetzung, zum allometrischen Wachstum, zur chemischen Zusammensetzung und zum Nährstoffansatz männlicher Puten der Herkunft BIG-6 bei 23-wöchiger Mastdauer. Diplomarbeit Univ. Halle/S. 1998

Gray, T.C.; Robinson, D.; Jones, J.M.; Stock, S.W.; Thomas, N.L.:

Effect of age and sex on the composition of muscle and skin from a commercial broiler strain. Br. Poult. Sci. 1983; 24: 219-231

Grier, S.J.; Turner, A.S.; Alvis, M.R.:

The Use of Dual-Energy X-ray Absorptiometry in Animals. Invest Radiol. 1996; 31(1): 50-62

Halle, I.; Dänicke, S.:

Beurteilung der Nährstoffversorgung bei hochleistenden Tieren –hier Mastbroilern– mit Öko-Futtermitteln. 2003; <http://forschung.oekolandbau.de>

Hampe, J.; Nüske, S.; Scholz, A.M.; Förster, M.:

Untersuchung zur Körperzusammensetzung und zum Wachstum von Kälbern unterschiedlicher genetischer Herkunft mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA). Arch. Tierz., Dummerstorf 2005; 48:428-444

Harshaw, H.M.; Rector, R.R.:

The composition of turkeys as affected by age and sex. Poultry Science 1940; 19: 404-411

Heider, G.; Monreal, G. (Hg.):

Krankheiten des Wirtschaftsgeflügels/ Band 2. Verlag Gustav Fischer. 1992

Hesselman, K.; Aman, P.:

The effect of β -glucanase on the utilization of starch and nitrogen by broiler chickens fed on barley of low or high viscosity. Anim. Feed. Sci. Technol. 1986; 15: 83-93

Hester, P.Y.; Schreiweis, M.A.; Orban, J.I.; Mazzuco, H.; Kopka, M.N.; Ledur, M.C.; Moody, D.E.:

Assessing Bone Mineral Density In Vivo: Dual Energy X-Ray Absorptiometry. Poultry Science 2004; 83:215-221

Heymsfield, S.B.; Waki, M.:

Body composition in humans: Advances in the development of multicompartiment chemical models. Nutr. Rev. 1991; 49: 97-108

Heymsfield, S.B.; Wang, Z.M.; Baumgartner, R.N.; Ross, R.:

HUMAN BODY COMPOSITION: Advances in Models and Methods. Annu. Rev. Nutr. 1997; 17: 527-58

Hinton, T.G.; Gessaman, J.A.; Nagle, R.D.; Congdon, J.D.:

An evaluation of whole body potassium-40 content for estimating lean and fat mass in pigeons. The Condor 1998; 100: 579-582

Hock, E.; Halle, I.; Matthes, S.; Jeroch, H.:

Investigation on the composition of the ileal and caecal microflora of broiler chicks in consideration to dietary enzyme preparation and zink bacitracin in wheat-based diets. *Agribiol. Res.* 1997; 50: 85-95

Hocking, P.M.; Robertson, G.W.; Nixey, C.:

Effects of dietary calcium and phosphorus on mineral retention, growth, feed efficiency and walking ability in growing turkeys. *Br Poult Sci.* 2002; 43(3): 607-14

Horber, F.F.; Thomi, F.; Casez, J.P.; Fonteille, J.; Jaeger, P.:

Impact of hydration status on body composition as measured by dual-energy X-ray absorptiometry in normal volunteers and patients on haemodialysis. *The British Journal of Radiology*, 1992; 65: 895-900

Hurwitz, S.; Plavnik, I.; Bengal, I., Bartov, I.:

Response of growing turkeys to dietary fat. *Poultry Science* 1988; 67(3): 420-6

Jebb, S.A.; Garland, S.W.; Jennings, G.; Elia, M.:

Dual-energy X-ray absorptiometry for the measurement of gross body composition in rats. *Br. J. Nutr.* 1996; 75: 803-9

Jeroch, H.:

Enzyme in der Geflügelernährung.

In: Schubert, R.; Flachowsky, G.; Bitsch, R. (Eds.): Vitamine und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier. 3. Symp. 26./27.9.1991 Jena/Thüringen, 334-341

Johnson, R.J.; Farell, D.J.:

The prediction of body composition in poultry by estimation in vivo of total body water with tritiated water and deuterium oxide. *Br. J. Nutr.* 1988; 59(1): 109-24

Jordan, R.M:

Tests indicate bentonite in lamb rations beneficial. *Feedstuffs* 1954; 26:75

Kamphues, J.; Schneider, D.; Leibetseder, J.:

Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung.

M&H Schaper, Alfeld Hannover, 9. Auflage, 1999

Kaufmann, L; Crooks, L.E.; Margulis, A.R.:

Nuclear magnetic resonance imaging in medicine. Tokyo, Japan: Igaku Shoin 1981

Kirn, B.N.; Firman, J.D.:

Leg strength and performance of large white tom turkeys fed various protein and energy levels. AVIAN DISEASES 1993; 37: 37-46

Kurnick, A.A.; Reed, B.L.:

Poultry nutrition studies with bentonite. Feedstuffs 1960; 32: 18

Kushner, R.F.:

Bioelectrical impedance analysis: a review of principles and applications.
J. Am. Coll. Nutr. 1992; 11(2): 190-209

Laughland, D.H.; Philips, W.E.J.:

The effect of dietary sodium bentonite on the rate of growth of chicks. Poultry Science 1956; 35: 1050-1054

Lindemann, M.D.; Blodgett, D.J.; Kornegay, E.T.; Schurig, G.G.:

Potential Ameliorators of Aflatoxicosis in Weanling/ Growing Swine. J. Anim. Sci. 1993; 71: 171-178

Lukaski, H.C.:

Methods for the assessment of human body composition: traditional and new.
Am. J. Clin. Nutr. 1987; 46: 537-56

Lukaski, H.C.:

Soft Tissue Composition and Bone Mineral Status: Evaluation by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. J. Nutr. 1993; 123: 438-443

Männer, K.; Simon, O.; Haase, S.; Hoffmann, T.; Hafez, H.M.:

Einfluss der Rasse und Fütterungsintensität auf ausgewählte Leistungsparameter und das Auftreten von Erkrankungen des Skelettsystems bei männlichen Mastputen während der Mastperiode. 8. Tagung Schweine- und Geflügelernährung. 23.-25. November 2004. Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg

Mirosh, L.W.; Becker, W.A.; Spencer, J.V.; Verstrate, J.A.:

Prediction of abdominal fat in broiler chickens using wing web and humeral feather tract measurements. Poultry Science 1981; 60: 509-512

Mitchell, A.D.; Wang, P.C.; Rosebrough, R.W.; Elsasser, T.H.; Schmidt, W.F.:

Assessment of body composition of poultry by nuclear magnetic resonance imaging and spectroscopy. Poult. Sci. 1991; 70(12): 2494-500

Mitchell, A.D.; Conway, J.M.; Potts, W.J.E.:

Body Composition Analysis of Pigs by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. J. Anim. Sci. 1996; 74: 2663-2671

Mitchell, A.D.; Rosebrough, R.W.; Conway, J.M.:

Body Composition Analysis of Chickens by Dual Energy X-Ray Absorptiometry. Poultry Science 1997; 76: 1746-1752

Mitchell, A.D.; Scholz, A.M.; Conway, J.M.:

Body Composition Analysis of Small Pigs by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. J. Anim. Sci. 1998; 76: 2392-2398

Mitchell, A.D.; Scholz, A.M.; Pursel, V.G.; Evoke-Clover, C.M.:

Composition Analysis of Pork Carcasses by Dual Energy X-Ray Absorptiometrie. J. Anim. Science 1998; 76, 2104-2114

Murray, A.G.; Fuller, M.F.; Pirie, A.R.:

The effect of fibre in the form of various polysaccharides on the apparent digestibility of protein on the pig. Anim. Prod. 1977; 24: 139-144

Nagy, T.R.; Clair, A.-L.:

Precision and Accuracy of Dual-Energy X-ray Absorptiometry for Determining in Vivo Body Composition of Mice. *Obes. Res.* 2000; 8: 392-398

Nestor, K.E.:

Genetics of growth and reproduction in the turkey. 9. Long-term selection for increased 16-week body weight. *Poultry Sci.* 1984; 63: 3114-3122

Niekerk van, B.D.H.; Reid, J.T.; Bensadoun, A.;

Urinary Creatinine as an Index of Body Composition. *J. Nutr.* 1963; 79: 463-473

Nüske, S.; Hampe, J; Scholz, A.M.; Förster, M.:

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 2005; 48(4): 305-317

Olver, M.D.:

Sodium bentonite as a component in layer diets. *Br Poult Sci.* 1989; 30(4):841-6

Pace, N.; Ratburn, E.N.:

Studies on body composition. III The body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content. *J Biol Chem* 1945; 158: 685-91

Pasha, T.N.; Farooq, M.U.; Khattak, F.M.; Jabbar, M.A.; Khan, A.D.:

Effectiveness of sodium bentonite and two commercial products as aflatoxin absorbents in diets for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology* 2007; 132: 103-110

Peppler, W.W.; Mazess, R.B.:

Total body bone mineral and lean body mass by dual photon absorptiometry. *Calcif. Tissue Int.* 1981; 33: 353-359

Pesti, G.M.; Bakalli, R.I.:

Estimation of the Composition of Broiler Carcasses from their Specific Gravity. *Poultry Science* 1997; 76: 984-951

Presta, E.; Segal, K.R.:

Comparison in man of total body electrical conductivity and lean body mass derived from body density: validation of a new body composition method.

Metabolism 1983; 32(5): 524-527

Picaud, J.C.; Nyamugabo, K.; Braillon, P.; Lapillone, A.; Claris, O.; Delmas, P.; Meunier, P.; Salle, B.; Rigo, J.:

Dual-energy X-ray absorptiometry in small subjects: influence of dual-energy X-ray equipment on assessment of mineralization and body composition in newborn piglets. *Pediatr. Res.* 1999; 46: 772-777

Pietrobelli, A.; Formica, C.; Wang, Z.; Heymsfield, S.B.:

Dual-energy x-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 1996; E941-E951

Pietrobelli, A.; Wang, Z.; Formica, C.; Heymsfield, S.B.:

Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration. *Am. J. Physiol.* 1998; 274: E808-E816

Pintauro, S.T.; Nagy, T.R.; Duthie, C.M.; Goran, M.I.:

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

Am J Clin Nutr 1996; 63: 293-8

Quisenberry, J.H.; Bradley, J.W.:

Sodium bentonite feeding experiments. *Feedstuffs* 1964; 36: 22-23

Quisenberry, J.H.:

The use of clay in poultry feed. *Clays and Clay Minerals* 1968; 16: 267-270

Rahmann, G.; Holle, R.; Andresen, B.; Andresen, C.J.:

100%-Biofütterung mit Rapskuchen und heimischen Körnerleguminosen bei der Fütterung von Legehennen verschiedener Herkunft. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau.

<http://orgprints.org/view/projects/wissenschaftstagung-2007.html>

Rigo, J.; Nyamugabo, K.; Picaud, J.C.; Gerard, P.; Pieltain, C.; De Curtis, M.:

Reference Values of Body Composition Obtained by Dual Energy X-Ray Absorptiometry in Preterm and Term Neonates.

Journal of Pediatric Gastroenterology & Nutrition 1998; 27(2): 184-190

Robin, J.P.; Heitz, A.:

Physical limitations of the TOBEC method: accuracy and longterm stability.

Physiol. Behav. 2002; 75(1-2): 105-18

Rotermel, Z.A.; Kirsanov, N.V.; Zaleznjak, P.N.:

Bentonite clays increase weight gains of chicks. Svinovodstvo 1964; 12:28-29

Im Text zitiert bei: **Quisenberry, J.H.:**

The use of clay in poultry feed. Clays and Clay Minerals 1968; 16: 267-270

Roubenoff, R.; Kehayias, J.; Dawson-Hughes, B.; Heymsfield, S.B.:

Use of dual-energy x-ray absorptiometry in body-composition studies: not yet a "gold standard". Am. J. Clin. Nutr. 1993; 58: 589-91

Salari, S.; Kermanshahi, H.; Nasiri Moghaddam, H.:

Effect of Sodium Bentonite and Comparison of Pellet vs Mash on Performance of Broiler Chickens. International Journal of Poultry Science 2006; 5(1): 31-34

Santurio, J.M.; Mallmann, C.A.; Rosa, A.P.; Appel, G.; Heer, A.; Dageförde, S.; Böttcher, M.:

Effect of sodium bentonite on the performance and blood variables of broiler chickens intoxicated with aflatoxins. Brit. Poultry Science 1999; 40(1): 115-119

Sartoris, D.J.; Resnick, D.:

Dual-Energy Radiographic Absorptiometry for Bone Densitometry: Current Status and Perspective. AJR 1989; 152:241-246

Schell, T.C.; Lindemann, M.D.; Kornegay, E.T.; Blodgett, D.J.; Doerr, J.A.:
Effectiveness of Different Types of Clay for Reducing the Detrimental Effects of Aflatoxin-Contaminated Diets on Performance and Serum Profiles of Weanling Pigs. J. Anim. Sci. 1993; 71: 1226-1231

Schmidt, E.; Bellof, G.; Beer, S.; Kreitner, D.:
Einfluss der Fütterung auf die Mast- und Schlachtleistung.
DGS Magazin 2004; 45: 25-28

Schmidt, E.; Bellof, G.; Hahn, G.:
Einfluss unterschiedlicher Energiegehalte in Alleinfuttermischungen auf die Mastleistung und den Schlachtkörperwert von langsam und schnell wachsenden Genotypen in der ökologischen Putenmast. Archiv für Geflügelkunde 2007; 5: -----

Schöllhorn, B.; Scholz, A.M.:
Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) für die Messung der Ganzkörperzusammensetzung bei zwei Putengenotypen. Archiv für Geflügelkunde 2007; 5: 228-236

Scholz, A.M.:
In-vivo-Methoden zur Analyse von Muskelstoffwechsel und Körperzusammensetzung beim Schwein unter besonderer Berücksichtigung genetischer Einflüsse.
Habilitationsschrift 2002; Tierärztliche Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität München. <http://epub.ub.uni-muenchen.de/view/subjects/08.html>

Schreiweis, M.A.; Orban, J.I.; Ledur, M.C.; Moody, D.E.; Hester, P.Y.:
Validation of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Live White Leghorns. Poultry Science 2005; 84: 91-99

Schutte, J.B.; Geerse, C.; Jong, J.de.:

Effect of enzyme supplementation to wheat-based diets on broiler chick performance. In: Wenk, C. Boessinger, M. (Eds.): Enzymes in animal nutrition. Inst. Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH-Zürich, 1993; 11: 113-136

Schutte, J.B.; Pack, M.:

Requirement of laying hen for sulfur amino acids. Poultry Sci 1994; 274-280

Scollan, N.D.; Caston, L.J.; Liu, Z.; Zubair, A.K.; Leeson, S.; McBride, B.W.:

Nuclear magnetic resonance imaging as a tool to estimate the mass of the Pectoralis muscle of chickens in vivo. British Poultry Science 1998; 39(2): 221-224

Sell, J.L.; Hasiak, J.R.; Owings, W.J.:

Independent effects of dietary metabolizable energy and protein concentrations on performance and carcass characteristics of Tom turkeys. Poult Sci. 1985; 64(8): 1527-35

Southern, L.L.; Ward, T.L.; Bidner, T.D.; Herbert, L.G.:

Effect of sodium bentonite or hydrated sodium calcium aluminosilicate on growth performance and tibia mineral concentrations in broiler chicks fed nutrient-deficient diets. Poult. Sci. 1994; 73(6): 848-54

Scollan, N.D.; Caston, L.J.; Liu, Z.; Zubair, A.K.; Leeson, S.; McBride, B.W.:

Nuclear magnetic resonance as a tool to estimate the mass of the Pectoralis muscle of chickens in vivo. British Poultry Science 1998; 39(2): 221-224

Simon, O.:

Anforderungen an Futterenzyme. In: Jeroch, H.; Nonn, H.; Ebert, K.; Kaiser, I. (Eds.): Internationale Tagung Schweine- und Geflügelernährung (1993), Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 103-107

Snead, D.B.; Birge, S.J.; Kohrt, W.M.:

Age-related differences in body composition by hydrodensitometry and dual x-ray absorptimetry. J Appl Physiol 1993; 74: 770-775

Speakman, J.R.; Booles, D.; Butterwick, R.:

Validation of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) by comparison with chemical analysis of dogs and cats. *International Journal of Obesity* 2000; 25: 439-447

Stenver, D.I.; Gotfredsen, A.; Hilsted, J.; Nielsen, B.:

Body composition in haemodialysis patients measured by dual-energy X-ray absorptiometry. *Am J Nephrol* 1995; 15(2): 105-110

Svendsen, O.L.; Haarbo, J.; Hassager, C.; Christiansen, C.:

Accuracy of measurements of body composition by dual-energy x-ray absorptiometry in vivo. *Am J Clin Nutr* 1993; 57: 605-8

Swennen, Q.; Janssens, G.P.J.; Geers, R.; Decuyper, E.; Buyse, J.:

Validation of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry for Determining In Vivo Body Composition of Chickens. *Poultry Science* 2004; 83: 1348-1357

Tatara, M.R.; Sierant-Rozmiej, N.; Krupski, W.; Majcher, P.; Sliwa, E.; Kowalik, S.; Studzinski, T.:

Quantitative computed tomography for the assessment of mineralization of the femur and tibia in turkeys. *MEDYCYNA WETERYNARYJNA* 2005; 61: 225-228

Ulbrich, M.; Hoffmann, M.; Drochner, W.:

Fütterung und Tiergesundheit. 2004; Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Vahjen, W.; Simon, O.:

Mögliche Wirkungsebenen NSP-hydrolysierender Enzyme auf die intestinale Mikroorganismenpopulationen bei Monogastriern.

In: Schubert, R.; Flachowsky, G.; Bitsch, R.; Jahreis, G. (Hrsg.): Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier. 6. Symp. Jena/Thüringen, 1997: 91-100

Walsberg, G.E.:

Evaluation of a nondestructive method for determining fat stores in small birds and mammals. *Physiol. Zool.* 1988; 61: 153-159

Wamberg, S.; Sandgaard, N.; Bie, P.:

Simultaneous Determination of Total Body Water and Plasma Volume in Conscious Dogs by the Indicator Dilution Principle. J. Nutrition. 2002; 132: 1711S-1713S

Wang, Z.M.; Pierson, R.N. Jr.; Heymsfield, S.B.:

The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. Am. J. Clin. Nutr. 1992; 56: 19-28

Wang, Z.M.; Heshka, S.; Pierson, R.N. Jr.; Heymsfield, S.B.:

Systematic organization of body composition methodology: overview with emphasis on component-based methods. Am. J. Clin. Nutr. 1995; 61: 457-65

Wang, Z.M.; Deurenberg, P.; Wang, W.; Pietrobelli, A.; Baumgartner, R.N.; Heymsfield, S.B.:

Hydration of fat-free body mass: review and critique of a classic body-composition constant. Am J Clin Nutr 1999; 69: 833-41

Weiß, J.:

Mit Bentonit Schweine besser msten? DGS 5/1990

Wilmore, J.H.; Behnke, A.R.:

Predictability of lean body weight through anthropometric assessment in college men. J. Appl. Physiol. 1968; 25: 349-355

WPSA – Working Group No. 2 – Nutrition 1984:

The prediction of apparent metabolizable energy values for poultry in compound feeds. World`s Poultry Sci. J. 1984; 40: 181-182

Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH (ZMP) 2008

www.zmp.de/oekomarkt/Marktdatenbank/downloads/WEB3D.xls

Zollitsch, W.; Kristensen, T.; Krutzinna, C.; MacNaeihde, F.; Younie, D.:

Feeding for health and welfare: The challenge of formulating well-balanced rations in organic livestock production. 2003; In: Vaarst, M. et al. (eds.), Animal Health and Welfare in Organic Agriculture. CABI Publishing.

Zotti, A.; Rizzi, C.; Chiericato, G.; Bernardini, D.:

Accuracy and precision of dual-energy x-ray absorptiometry for ex vivo determination of mineral content in turkey poult bones.

Vet. Radiol. Ultrasound 2003; 44(1): 49-52