

**Untersuchungen zu Wachstumsleistungen von Warmbluthengsten  
in der Aufzucht unter besonderer Berücksichtigung der  
Protein- und Aminosäurenversorgung**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Fakultät für Agrarwissenschaften  
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von:  
**Dominic Koslowski**

geboren in:  
**Eisenach**

**Göttingen im Juli 2014**

D7

Referent: **Prof. Dr. habil. Frank Liebert**

Korreferent: **Dr. habil. Christian Wecke**

Tag der mündlichen Prüfung: **16.07.2014**

**INHALTSVERZEICHNIS**

INHALTSVERZEICHNIS..... I  
Abbildungsverzeichnis ..... III  
Tabellenverzeichnis ..... V  
Abkürzungsverzeichnis ..... X

**1 Einleitung..... 1**

**2 Schrifttum ..... 2**

2.1 Allgemeine Gesetzmäßigkeiten des Wachstums ..... 2  
2.2 Parameter zur Beschreibung des Wachstums beim Pferd ..... 4  
2.3 Einflüsse der Fütterung auf das Wachstum beim Warmblutpferd ..... 7  
2.4 Das Idealproteinkonzept Pferd ..... 11  
2.5 Methoden Beurteilung der Gewebeerwicklung beim Pferd ..... 14  
2.6 Indikatoren Proteinstoffwechsel Pferd ..... 16

**3 Ableitung des Untersuchungszieles ..... 27**

**4 Tiere, Material und Methoden ..... 28**

4.1 Versuchsort und Zeitraum ..... 28  
4.2 Tiermaterial und Tierhaltung ..... 28  
4.3 Rationsgestaltung und Fütterung ..... 30  
4.3.1 Bestimmung Trockensubstanzaufnahme im Versuch ..... 32  
4.3.2 Versuchsrationen ..... 35  
4.4 Wachstumsparameter ..... 38  
4.4.1 Lebendmasse ..... 38  
4.4.2 Widerristhöhe ..... 39  
4.4.3 Körperlänge, Unterarmlänge und Unterarmumfang ..... 40  
4.5 Gewebeparameter ..... 42  
4.5.1 Muskelumfang ..... 42  
4.5.2 Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) ..... 44  
4.5.3 Röntgen ..... 45  
4.6 Indikatoren Proteinstoffwechsel ..... 46  
4.6.1 Blutharnstoff ..... 46  
4.6.2 Freie Aminosäuren (PFAA) und 1-Methylhistidin ..... 47  
4.7 Darstellende und statistische Auswertung ..... 47

<b>5 Ergebnisse.....</b>	<b>49</b>
5.1    Trockensubstanz-, Energie- und Nährstoffaufnahme.....	49
5.1.1    Schätzung der Trockensubstanzaufnahme .....	50
5.1.2    Energie- und Nährstoffversorgung in den Versuchsabschnitten.....	53
5.2    Wachstumsparameter .....	64
5.2.1    Lebendmasseentwicklung Gesamtversuch und in den Versuchsabschnitten .....	64
5.2.2    Widerristhöhenentwicklung Gesamtversuch und in den Versuchsabschnitten .....	71
5.2.3    Wachstum in Körperlänge, Unterarmlänge und Unterarmumfang ...	78
5.3    Gewebeparameter .....	79
5.3.1    Muskelumfang .....	79
5.3.2    Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) .....	80
5.3.3    Röntgen .....	81
5.4    Indikatoren Proteinstoffwechsel .....	82
5.4.1    Blutharnstoff .....	82
5.4.2    Freie Aminosäuren (PFAA) und 1-Methylhistidin .....	83
<b>6 Diskussion.....</b>	<b>90</b>
<b>7 Schlussfolgerungen .....</b>	<b>108</b>
<b>8 Zusammenfassung .....</b>	<b>110</b>
<b>9 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>111</b>
<b>10 Lebenslauf.....</b>	<b>122</b>
<b>11 Wissenschaftliche Publikationen, Mitautorschaft, Tagungsbeiträge .....</b>	<b>123</b>
Tabellenverzeichnis des Anhangs .....	XIII
Anhangstabellen .....	XIV
Danksagung.....	XXVII

### Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Bestimmung der Messstellen für die Unterarmlänge (UAL), Unterarmumfang (UAU) und das Ultraschall-Untersuchungsfenster (UUF) am jeweils linken Vorderbein der Versuchspferde (verändert, nach digicoll.library 2008) .. 41	
Abb. 2: Ultraschallaufnahme mit nachgezeichneten Muskelgrenzlinien (x) welche zur Analyse vermessen wurden (eigene Aufnahme, beispielhaft) ..... 43	
Abb. 3: Durchschnittliche Gesamtzunahme (kg) $\pm$ SD der Gruppen im Versuch 65	
Abb. 4: Entwicklung der Lebendtagszunahme (g) $\pm$ SD im Vergleich der Gruppen im Altersabschnitt 13-18 Monate ..... 67	
Abb. 5: Entwicklung der Lebendtagszunahme (LTZ in g) $\pm$ SD im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 2 ..... 68	
Abb. 6: Entwicklung der Lebendtagszunahme (LTZ in g) $\pm$ SD im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 4 ..... 69	
Abb. 7: Entwicklung der Lebendtagszunahme (LTZ in g) $\pm$ SD im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 6 ..... 70	
Abb. 8: Entwicklung der Lebendtagszunahme (LTZ in g) $\pm$ SD im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 7 ..... 71	
Abb. 9: Entwicklung des Medians der Lebendmasse der Gruppen mit Maximum und Minimum im Versuchsverlauf ..... 73	
Abb. 10: Mittlerer Gesamtzuwachs in der Widerristhöhe (cm) $\pm$ SD im Vergleich der Gruppen (Gesamtversuch) ..... 73	
Abb. 11: Entwicklung des mittleren Gesamtzuwachses (cm) $\pm$ SD im Vergleich der Gruppen im Altersabschnitt 19-24 Monate ..... 75	
Abb. 12: Entwicklung des mittleren Gesamtzuwachses (cm) $\pm$ SD im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 3 ..... 76	
Abb. 13: Entwicklung des mittleren Gesamtzuwachses (cm) $\pm$ SD im Vergleich der Gruppen Versuchsabschnitt 4 ..... 77	
Abb. 14: Mittlere Serumharnstoff-N Gehalte $\pm$ SD in den Versuchsabschnitten und der Basiswert im Vergleich der Gruppen ..... 82	

Abb. 15: Mittlere 1-MH-Gehalte $\pm$ SD in den Versuchsabschnitten und der Basiswert im Vergleich der Gruppen .....	89
Abb. 16: Vergleich der mittleren Lebendmasseentwicklung der Gruppen (in kg) im Versuch mit der Funktion nach Hois <i>et al.</i> (2005) .....	94
Abb. 17: Vergleich der mittleren Widerristhöhenentwicklung der Gruppen (in cm) im Versuch mit der Funktion nach Hois <i>et al.</i> (2005) .....	95
Abb. 18: Relative mittlere Anstiege der AS-Gehalte (%) vom Basiswert zum Wert mit Ergänzungsfutter bzw. Krafffutter im Vergleich der Gruppen .....	105

**Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Versorgungsempfehlungen an Rohprotein (XP), verdaulichem Rohprotein (DXP), preacecal verdaulichem XP (pcvXP) und Lysin für Pferde (adult-LM 600 kg) in der Aufzucht (gemäß GFE und NRC) ..... 9

Tab. 2: Aminosäuregehalte im Muskel des Pferdes in Relation zu Lysin (Ratio) (verändert nach Gramberg (2012)) ..... 12

Tab. 3: Mittlere Gehalte an freien Aminosäuren (PFAA) und Ratio im Plasma und in der Herzmuskulatur des Pferdes im Vergleich mit dem Ratio der Skelettmuskulatur (Literatur) (modifiziert nach KING und SULEIMAN (1998)) ..20

Tab. 4: Alter, Lebendmasse u. Widerristhöhe Versuchstiere beim Einstellen .....29

Tab.5: Annahmen zur Verdaulichkeit des Proteins beschrieben als pcvXP sowie pcvAS und verdaulichem Rohprotein (DXP) sowie verdaulichen Aminosäuren (DAS) der eingesetzten Futtermittel und Komponenten (eigene Berechnung und DLG, 1998) ..... 31

Tab. 6: Sammelphasen zur Bestimmung der TS-Aufnahme der Tiere während des Versuches ..... 33

Tab. 7: Versorgungsempfehlungen als Grundlage für die Rationsgestaltung (NRC, 2007; GFE, 1994 und 2014) ..... 35

Tab. 8: Versuchsabschnitte u. Zeitpunkte Einsatz neue Rationskomponenten ... 36

Tab. 9: Zusammensetzung der Versuchsrationen im Vergleich der Gruppen Supplement (S) u. Kontrolle (C) (in kg FS/Tier und Tag) ..... 37

Tab. 10: Zusammensetzung Ergänzungsfutter (Gr. S) je Versuchsabschnitt ..... 37

Tab. 11: Messtermine zur Bestimmung der Widerristhöhe im Versuch ..... 39

Tab. 12: Messtermine zur Impedanzmessung im Versuch ..... 44

Tab. 13: Termine Blutproben im Versuch (je Versuchsabschnitt) ..... 46

Tab. 14: Darstellung der gebildeten Variablen zur Auswertung ..... 48

Tab. 15: Mittlere Tagesaufnahme je Tier u. Gruppe (Gesamtzeitraum) an verd. Energie (DE in MJ), Rohprotein (XP in g), unentbehrlicher Aminosäuren (g) und Ursprung (%)(\*Ursprung AS aus Raufutter identisch XP) ..... 49

Tab. 16: Mittlere Gehalte der unentbehrlichen Aminosäuren in Relation zu Lysin (Ratio) im Gesamtversuch in den Gruppen im Vergleich mit dem Muskelprotein (Ratio MW Literatur) .....	50
Tab. 17: Tagesaufnahme an TS (kg) in Sammelphase (SP) 1 im Vergleich der Tiere mit Mittelwert $\pm$ SD (n = 5) .....	50
Tab. 18: Tagesaufnahme an TS (kg) in Sammelphase (SP) 2 im Vergleich der Tiere mit Mittelwert $\pm$ SD (n = 4) .....	51
Tab. 19: Tagesaufnahme an TS (kg) in Sammelphase (SP) 3 im Vergleich der Tiere mit Mittelwert $\pm$ SD (n = 5) .....	51
Tab. 20: Gehalte der Tagesration an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ im Vergleich der Gruppen in der Vorversuchsphase .....	53
Tab. 21: Gehalte der Tagesration an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit Ratio (Muskel) in der Vorversuchsphase .....	53
Tab. 22: Gehalte der Tagesrationen an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 1 .....	54
Tab. 23: Gehalte der Tagesrationen an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit Ratio (Muskel) im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 1 .....	55
Tab. 24: Gehalte der Tagesrationen an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 2 .....	56
Tab. 25: Gehalte der Tagesrationen an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit Ratio (Muskel) im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 2 .....	56
Tab. 26: Gehalt der Tagesration an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ in der Gruppe S in Versuchsabschnitt 3 .....	57
Tab. 27: Gehalt der Tagesration an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit dem Ratio (Muskel) in Gruppe S in Versuchsabschnitt 3 .....	57
Tab. 28: Gehalt der Tagesration an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ der Kontrollgruppe (C) (Versuchsabschnitte 3 bis 5 in S) .....	58



Tab. 29: Gehalt der Tagesration an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit dem Ratio (Muskel) in Gruppe C (Versuchsabschnitte 3 bis 5 in S) .....	58
Tab. 30: Gehalt der Tagesration an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ in der Gruppe S in Versuchsabschnitt 4 .....	59
Tab. 31: Gehalt der Tagesration an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit dem Ratio (Muskel) in Gruppe S Versuchsabschnitt 4 .....	59
Tab. 32: Gehalt der Tagesration an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ in der Gruppe S in Versuchsabschnitt 5 .....	60
Tab. 33: Gehalt der Tagesration an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit dem Ratio (Muskel) in Gruppe S in Versuchsabschnitt 5 .....	60
Tab. 34: Gehalte der Tagesrationen an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 6 .....	61
Tab. 35: Gehalt der Tagesrationen an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und pcvAS, Vergleich Ratio (pcvAS) mit Ratio (Muskel) im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 6 .....	62
Tab. 36: Gehalte der Tagesrationen an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 7 .....	63
Tab. 37: Gehalt der Tagesrationen an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und pcvAS, Vergleich Ratio (pcvAS) mit Ratio (Muskel) im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 7 .....	63
Tab. 38: Lebendmasseentwicklung der Gruppen absolut (kg) sowie relativ in Bezug zur Adultlebensmasse (600 kg) in Abhängigkeit vom Messtermin .....	64
Tab. 39: Widerristhöhenentwicklung der Gruppen absolut (cm) $\pm$ SD in Abhängigkeit vom Messtermin .....	72
Tab. 40: Widerristhöhenentwicklung der Gruppen absolut (cm) $\pm$ SD in Abhängigkeit vom Lebensalter .....	74
Tab. 41: Unterarmlänge der Hengste je Messtermin im Mittel der Gruppen (MW), mittlerer Zuwachs, Standardabweichung (SD) (in cm) .....	78

Tab. 42: Unterarmumfang der Hengste je Messtermin im Mittel der Gruppen (MW), mittlerer Zuwachs, Standardabweichung (SD) (in cm) .....	79
Tab. 43: Muskelumfang der Hengste je Messtermin im Mittel der Gruppen (MW), mittlerer Zuwachs und Standardabweichung (SD) (in mm) .....	79
Tab. 44: Parameter der BIA an drei Untersuchungsterminen, relativer Wasser- und Fettgehalt sowie die Magermasse der Tiere (in kg) .....	80
Tab. 45: Anzahl der Tiere pro Gruppe eingeordnet in die Röntgenklassen .....	81
Tab. 46: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen $\pm$ SD in Versuchsabschnitt 1 .....	83
Tab. 47: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen $\pm$ SD in Versuchsabschnitt 2 .....	84
Tab. 48: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen $\pm$ SD in Versuchsabschnitt 3 .....	84
Tab. 49: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen $\pm$ SD in Versuchsabschnitt 4 .....	85
Tab. 50: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen $\pm$ SD in Versuchsabschnitt 5 .....	85
Tab. 51: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen $\pm$ SD in Versuchsabschnitt 6 .....	86
Tab. 52: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen $\pm$ SD in Versuchsabschnitt 7 .....	86
Tab. 53: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen $\pm$ SD als Basiswerte nach Nüchterung .....	87
Tab. 54: Ratio mittlere Basiswerte PFAA im Vergleich der Versuchsgruppen .....	87
Tab. 55: Vergleich der mittleren PFAA Gehalte $\pm$ SD ( $\mu\text{mol/l}$ ) in Gruppe S und der Anstieg zwischen den Zeitpunkten (0 Std. und 2 Std.) .....	88
Tab. 56: Vergleich der mittleren PFAA Gehalte $\pm$ SD ( $\mu\text{mol/l}$ ) in Gruppe C und der Anstieg zwischen den Zeitpunkten (0 Std. und 2 Std.)(n=5) .....	89

Tab. 57: Ratio DAS in Versuchsabschnitten 1 bis 5 und pcvAS in Versuchsabschnitten 7 und 8 der Gruppen in Relation zu Lysin (100) im Vergleich zum Ratio-Muskel (MW Literatur) .....	92
Tab. 58: Ratio der unentbehrlichen freien Aminosäuren in den Plasmaproben (PFAA) der Gruppen S und C in Relation zu Lysin (100) im Vergleich zum Ratio-Muskel (MW Literatur) .....	104
Tab. 59: Mittlere Gehalte an PFAA im Blut, der mittlere Anstieg und Ratio an den Untersuchungszeitpunkten (modifiziert nach HACKL <i>et al.</i> (2006)) im Vergleich zum Ratio-Muskel (eigener Literaturvergleich) .....	106

### Abkürzungsverzeichnis

Neben den üblichen Abkürzungen des Dudens (25. Auflage, Dudenverlag, 2009), den üblichen Einheiten des internationalen Einheitensystems, sowie den Symbolen für chemische Elemente und Verbindungen, wurden folgende Abkürzungen verwendet:

AA/AS	Aminosäure/n
Ad. lib.	lat.: <i>ad libitum</i> = zur freien Aufnahme
ADG	engl.: Average Daily Gain = (mittlere) tägliche Zunahme
Ala	Alanin
Arg	Arginin
ATP	Adenosintriphosphat
BCAA	engl.: branched-chain amino acids = verzweigtkettige Aminosäure/n
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
CT	Computertomographie
d	engl.: day = Tag
DAS	verdauliche Aminosäure/n
DE	verdauliche Energie
DXP	verdauliches Rohprotein
et al.	lat.: <i>et alii/ et aliae</i> = und andere
FS	Frischsubstanz
g	Gramm
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
Glu	Glutaminsäure
Gly	Glyzin
h	engl.: hour = Stunde
HCl	Salzsäure
His	Histidin
HPLC	engl.: high performance liquid chromatography = Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
Ile	Isoleucin
ISTD	interner Standard
INRA	Institut national de recherche agronomique

KF	Krafftutter
KP	Kartoffelprotein
l	Liter
LAVES	Niedersächsischen Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
Leu	Leucin
LM	Lebendmasse
LMZ/LTZ	tägliche Lebendmassezunahme/ Lebendtagszunahme bzw. tägliche Zunahme
Lys	Lysin
M	molare Masse
ME	Umsetzbare Energie
Met	Methionin
mg	Milligramm
MJ	Megajoule
MRT	Magnet-Resonanz-Tomographie
MW	Mittelwert
µl	Mikroliter
µmol	Mikromol
µmol/l	Mikromol pro Liter
NDF	Neutrale-Detergenzienfaser
NE	Nettoenergie
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NRC	National Research Council USA
OCD	<i>Osteochondrosis Dissecans</i>
pcv	Potenziell <i>praecaecal</i> verdaulich
PEQ	Protein-Energie-Quotient
PFAA	engl.: plasma free amino acids = freie Aminosäuren im Blutplasma
Phe	Phenylalanin
PVP	Probenverdünnungspuffer
Rpm	engl.: rounds per minute = Umdrehungen/Minute
SD	Standardabweichung

Ser	Serin
SUN	engl. Serum Urea N = Serum- Harnstoff- Stickstoff
Thr	Threonin
Trp/TRY	Tryptophan
TS	Trockensubstanz
Tyr	Tyrosin
UAL	Unterarmlänge
UAU	Unterarmumfang
Val	Valin
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V.
V	Volumen
WRH	Widerristhöhe
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XX	NfE = N-freie Extraktstoffe
1-MH	1-Methyl-Histidin
3-MH	3-Methyl-Histidin
%	Prozent

### 1 Einleitung

An Hengste werden in der Aufzucht sehr hohe Anforderungen gestellt. Die Körungen finden oft schon mit 2,5 Jahren Lebensalter statt, dafür sollen die Tiere bereits eine starke Bemuskelung und einen hohen Ausreifungsgrad aufweisen, um ein möglichst positives Körurteil zu erlangen. Ist eine Körung erfolgt, kommt es auf die Fruchtbarkeit in der ersten Decksaison an. Auch die Belastbarkeit des Stoffwechsels sowie des Knochen- und Sehnenapparates muss in dem Alterszeitraum schon gegeben sein. Die Junghengste werden nicht nur auf die Körung vorbereitet, sie werden auch früh auf Turnieren gestartet und müssen einen Veranlagungstest sowie eine Leistungsprüfung absolvieren, damit ihr Zuchtwert in einer Vergleichsgruppe und der Population eingeordnet werden kann. Im Hinblick auf den sehr langsamen bzw. geringen Turnover der Gewebe des Knochen- und Sehnenapparates können sich Fehler bzw. zu starkes Training und Fehlversorgungen mit Energie- und Nährstoffen in diesem Jugendzeitraum negativ auf das Leistungspotential in späteren Altersphasen eines solchen Tieres auswirken.

Die Grundlagen für belastbare und gesunde adulte Tiere werden in der Aufzucht gelegt, diese sollte möglichst in Gruppen in Laufställen und auf Weiden erfolgen. Vor allem hinsichtlich der Rationsbestandteile und der Qualität der eingesetzten Futtermittel sowie der damit eng verbundenen Kosten besteht Klärungsbedarf. So gibt es nach wie vor offene Fragestellungen hinsichtlich der Art des eingesetzten Futters, der Quantität und der Qualität der Nährstoffe, die das Pferd im Zeitraum der Aufzucht benötigt. Dieser Zusammenhang zwischen der Energie- und Nährstoffversorgung und den möglichen bzw. richtigen Wachstumsleistungen beim Pferd ist bisher nicht eindeutig geklärt. Ein Idealwachstum für das Pferd, angepasst an die gewünschte spätere Verwendung, ist bisher nicht definiert. Aus diesen Aussagen zu dem Kontext der Aufzucht von Pferden, vor allem Hengsten, welche auf eine Körung vorbereitet werden, wird nicht zuletzt ersichtlich, dass Forschungsbedarf hinsichtlich der optimalen Futtermittellieferung in der Aufzucht bei Reitpferden moderner Genetik besteht.

Dabei dürfen die hohen bis sehr hohen Anforderungen an die Energie- und Nährstoffversorgung für die geforderten Wachstumsleistungen nicht außer Acht gelassen werden, um gesunde und auf Dauer leistungsfähige Tiere aufzuziehen. Diese Zusammenhänge sollten in einem Langzeitversuch unter Institutsbedingungen untersucht werden, in der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse dargestellt und diskutiert.

## 2 Schrifttum

### 2.1 Allgemeine Gesetzmäßigkeiten des Wachstums

Die Ontogenese eines Säugetieres kann in eine prä- und eine postnatale Phase eingeteilt werden. Während der pränatalen Phase entwickelt sich die befruchtete Eizelle zu einem komplexen Organismus. Mit dem Zeitpunkt der Geburt ist das pränatale Wachstum abgeschlossen. Es folgt die postnatale Entwicklung, die sich in mehrere Phasen aufteilen lässt. Diese sind die Jugendentwicklung, die Adoleszenz und die Seneszenz. Das Jugendstadium beschreibt den Zeitraum zwischen Geburt und Geschlechtsreife. In diesem Zeitraum wächst der Organismus mit einer für die Tierart oder Rasse, innerhalb einer Tierart, individuellen Geschwindigkeit. Die anabolen Prozesse überwiegen in diesem Zeitraum. Die Adoleszenz oder auch Reifephase bedeutet das Erreichen der spezifischen maximalen Körpergröße und Leistungsfähigkeit sowie der Fortpflanzungsfähigkeit. In diesem Zeitraum des Lebens sind die anabolen und katabolen Prozesse etwa ausgeglichen. Darauf folgt die Alterungsphase, in der die katabolen Vorgänge gegenüber den anabolen überwiegen und es schon zu funktionalen Ausfällen kommen kann. Die Phase der Seneszenz endet mit dem Tod des Organismus. Das gewünschte Körperwachstum findet demnach primär pränatal und in der Jugendphase statt.

Auf zellulärer Ebene existieren zwei Formen von Wachstum, durch Hyperplasie bzw. Proliferation mit einer Vermehrung der vorhandenen Zellen durch Mitose, weiterhin Wachstum durch Hypertrophie, durch eine Vergrößerung der vorhandenen Zellen. Beide Formen dieses zellulären Wachstums sind abhängig von den Geweben, in denen es auftritt. Wie beschrieben, spielt dabei auch das Alter bzw. das Entwicklungsstadium des betrachteten Gewebes eine Rolle. Dem Vorgang der Hyperplasie ist dabei immer zunächst eine Hypertrophie vorangestellt. In der pränatalen Phase findet das Wachstum durch starke Zellvermehrung statt. Dabei verlieren einige Organe bzw. Gewebe zu einem bestimmten Zeitpunkt, je nach Entwicklungsstadium, ihre Fähigkeit zum Wachstum durch Zellvermehrung. Dieser Zusammenhang trifft beispielsweise für Zellen des Muskelgewebes (für die Produktbildung), des Nervensystems und des Fettgewebes zu. Ab dem Zeitpunkt des Abschlusses des Wachstums durch Zellvermehrung ist Wachstum nur noch durch Zellvergrößerung (Hypertrophie) möglich (VON BERTALANFFY, 1957; MARTIN-ROSSET, 2005; WITTMANN, 2005). Das Körperwachstum ist allometrisch, Körperteile, Gewebe und Organe wachsen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und zu verschiedenen Zeitpunkten in der Entwicklung eines jeden Organismus. Dadurch



kommt es zu Variationen dieser Entwicklung in der Gesamtbetrachtung eines Tieres bzw. in einem Entwicklungszeitraum. Der Zeitpunkt, zu dem beispielsweise ein Organ wächst, ist dabei abhängig davon, welchen Nutzen es hat und wann dieser zum Tragen kommt bzw. lebenswichtig ist (WITTMANN, 2005). Begründet im allometrischen Wachstum ändert sich die Zusammensetzung des Tierkörpers im Entwicklungsverlauf. Hauptsächlich sind hierbei eine Zunahme des Fettgewebes, welches nach der Geburt noch weitgehend fehlte, und eine Abnahme des Wassergehaltes zu beobachten. Der Rohproteingehalt des Körpers nimmt zunächst nach der Geburt ab, stellt sich danach aber als gleichbleibend dar. Die absolute Menge an Rohprotein je Tier steigt danach folglich, zusammen mit der Lebendmasse, an (GFE, 1994; MARTIN-ROSSET, 2005).

Die Beeinflussbarkeit des Wachstums ist für die Tierproduktion von größtem Interesse, denn vor allem die Wachstumsintensität bis zum Erreichen der adulten Lebendmasse ist abhängig von verschiedenen Faktoren wie Genetik, Geschlecht, Klima, Haltung, Training, Arbeit und Fütterung. Das Wachstum ist damit multifaktoriell beeinflussbar, da verschiedene Faktoren zu unterschiedlichen Zeiten in unterschiedlichem Maße wirken. Die Regulation des Wachstums beruht auf komplexen Systemen von endokrinen Signalen. Neben dem Wachstumshormon Somatotropin (Growth Hormon = GH) wirken viele andere Hormone, wie Insulin, Stresshormone, Thyroidhormone und Sexualhormone, auf das Wachstum eines Tieres. Das Auftreten bzw. die Mengen dieser Faktoren zeigen unterschiedliche Abhängigkeiten von den Umweltfaktoren eines Tieres. Diese Wachstumsfaktoren, die direkt oder indirekt mit der Umwelt zusammenhängen, spielen eine bedeutende Rolle während der Ontogenese. Sie regulieren die Differenzierung von Zellen und damit das Wachstum von Geweben direkt oder durch Signalübertragung. Die Ausschüttung der Hormone und Wachstumsfaktoren wird wiederum durch weitere innere und äußere Faktoren beeinflusst (WITTMANN, 2005). Kälte, Adipositas, Stress, Hyper- und Hypoglykämie wurden als potente Faktoren für diese eher negativen Einflüsse auf das Wachstum benannt.

Eine positive Beeinflussung des Wachstums ist in unterschiedlichem Maße möglich, setzt aber immer Wissen über Normalwachstum bzw. die Einhaltung biologischer Grenzen voraus. Die Versorgung mit ausreichend Energie und Nährstoffen muss sichergestellt sein, um neben der Erhaltung vorhandener Körperstrukturen auch eine Vergrößerung, als Wachstumsleistung, erreichen zu können (VON BERTALANFFY, 1957; MARTIN-ROSSET, 2005; WITTMANN, 2005). Fleisch liefernde Nutztiere wie beispielsweise Geflügel, Schweine und Rinder sollen schnell die Schlachtreife

erreichen, in kurzer Zeit möglichst viel des gewünschten Produktes bilden. Dabei liegt der Fokus auf der Quantität und der Qualität des Produktes, also dem Anteil und der Zusammensetzung des Muskelfleisches.

In der Reitpferdezucht ist eine schnelle Schlachtreife und eine gute Schlachtkörperqualität von geringerem Interesse. Hier soll die Entwicklung der Tiere optimiert werden, um sie zu einem gesunden, langlebigen und leistungsfähigen Partner für den Zuchteinsatz, Turnier- oder Freizeitsport heranwachsen zu lassen. Neben dem Faktor Genetik ist dabei für das individuelle Wachstum die Energie- und Nährstoffversorgung der Tiere die wichtigste Umweltbedingung in den verschiedenen Pferderassen (OTT, 2005; GFE, 2011). Die Besonderheit an diesem Faktor der Futtermittellieferung ist die hohe Beeinflussbarkeit durch den Menschen. Um Wachstum beim Pferd in Abhängigkeit von der Energie- und Nährstoffversorgung beurteilen zu können, müssen *in vivo*-Methoden erforscht werden, um dieses Wachstum in der Jugendentwicklung der Tiere beschreiben zu können. Im nächsten Schritt sollte es dann möglich sein, dieses Wachstum im Hinblick auf eine gesunde Entwicklung für die spätere Nutzung über die Fütterung im Rahmen der genetischen Grenzen zu optimieren.

## 2.2 Parameter zur Beschreibung des Wachstums beim Pferd

Traditionell werden beim jungen Pferd Steigerungen in den Parametern Lebendmasse und Widerristhöhe bezüglich Zuchtziel und späterer Verwendung herangezogen, um das Wachstum zu beschreiben. In wissenschaftlichen Untersuchungen wurden weitere Körpermaße, die zur Beschreibung von speziellen Zusammenhängen dienen, genutzt. Da das Pferd im Vergleich zu klassischen Nutztieren ein hohes Lebensalter erreicht, wurde dem Aufzuchtzeitraum, in welchem die größten Wachstumsleistungen erfolgen, besondere Beachtung geschenkt. Hierbei sind insbesondere die Gewebe des Tieres von großer Wichtigkeit, welche einen sehr langsamen oder geringen „Turnover“ aufweisen. Beim Pferd nimmt das Wachstum, welches sich von der Befruchtung der Eizelle bis zum adulten Tier erstreckt, 5 bis 8 Jahre in Anspruch (MARTIN-ROSSET, 2005). Dabei sind alle Wachstumsleistungen des Tieres durch die Genetik determiniert.

Zwischen den verschiedenen existierenden Pferderassen wurden starke Unterschiede in der Wachstumskapazität und Wachstumsgeschwindigkeit beobachtet. Für deutsche und zum großen Teil europäische Warmblutpferderassen gelten die ersten 3 Lebensjahre des Pferdes als Zeitraum der Aufzucht.

In der Jungpferdeaufzucht, vor allem in der Aufzucht von Junghengsten, wurde in der Vergangenheit versucht, das Wachstum und die Entwicklung der Tiere übermäßig zu forcieren. Zu diesem Zwecke wurden oft ungünstige Maßnahmen eingesetzt, um kurzfristige Ziele von zweifelhaftem Wert, wie z.B. ein positives Körurteil, zu erreichen. Hierbei wurde die „Haltungsumwelt“ stark verändert, wobei auf das langfristige Ziel, die Gesundheit für den späteren Gebrauch, keine Rücksicht genommen wurde (ROSSDALE, 1975). Ziel bei der Vorstellung von 2 ½ jährigen Junghengsten zur Körung oder von 3- bis- 4 jährigen zur Leistungsprüfung vorgestellten Tieren ist es, einen möglichst ausgereiften Eindruck zu erzielen. Durch die Verabreichung von Hormonen kam es dabei zu einer unphysiologischen Zunahme an Muskulatur und zu einer unphysiologischen Verstärkung des Knochenbaus (UNGEMACH, 2000). Dabei kommt es, wie beschrieben, zu keiner Vermehrung von Muskelfasern, sondern nur zu einer Umfangszunahme dieser. Ungünstige Nebenwirkungen solcher Behandlungen waren Wachstumsstörungen und vermehrte Sehn- und Bänderrisse, welche durch die starke Muskelzunahme im Training auftraten. Weitere negative Folgen waren Fruchtbarkeitsstörungen und allgemein im Umgang schwierige Pferde (UNGEMACH, 2000).

Eine optimale Ausgangssituation für das Wachstum des Pferdes ab der Geburt wurde durch eine ungestörte pränatale Entwicklung geschaffen. Daher sollten Erkrankungen oder Unterversorgungszustände der tragenden Mutterstute, Zwillingsträchtigkeiten oder Frühgeburten möglichst ausgeschlossen werden. Kamen trotzdem lebensfähige Fohlen zur Welt, konnten die genannten Faktoren zu verringerten Geburtsmassensowie im weiteren Verlauf der Aufzucht zu beeinträchtigten Wachstumsleistungen und folglich, bei lebensfähigen Tieren, zu verringerten Adultlebensmassen führen (PLATT, 1978; WITTMANN, 2005).

Aus diesen Gründen wurden in einigen jüngeren Studien verschiedene Einflüsse auf den Wachstumsverlauf von Warmblutpferden geprüft. HOIS (2004) führte eine Feldstudie an jungen Pferden von der Geburt bis zum Alter von 30 Monaten durch, die die Entwicklung der Lebendmasse und Widerristhöhe sowie die Schätzung dieser beiden Parameter zum Thema hatte. WALKER (2007) betrachtete das Wachstum speziell von Junghengsten vom 4. bis zum 24. Lebensmonat auch anhand von Lebendmasse, Widerristhöhe, Beinlänge und einem weiteren Parameter des Röhrrbeinumfanges, welcher eher das Kaliber eines Pferdes beschreibt. Bedarfsstudien für Energie- und Nährstoffzufuhr beim wachsenden Warmblutpferd sind eher selten durchgeführt worden. HACKLÄNDER (1998) untersuchte den Wachstumsverlauf von Jungpferden während der Stallhaltungsperiode in

Abhängigkeit von der Ernährung. KRUMBIEGEL (2011) untersuchte bezüglich der analogen Fragestellung den Bedarf des wachsenden Warmblutpferdes an Protein und Aminosäuren. In dieser Arbeit wurden Daten zur Entwicklung der Lebendmasse und weiterer Körpermaße vom Fohlenalter bis zum 14. Lebensmonat erhoben.

Nach GfE-Schlussbericht Bedarfsnormen Pferd (GFE, 2011) kann für Fohlen ab dem zweiten Lebensmonat bis zu einem Alter von 3 Jahren eine Gleichung von HOIS *et al.* (2005) zur Beschreibung der Lebendmasseentwicklung, orientiert an der Lebendmasse der Mutterstute, genutzt werden (Kapitel 6). In weiteren Studien zum Zusammenhang von Fohलगewicht und adulter Lebendmasse von Warmblutpferden wurde ermittelt, dass Fohlen am Tag der Geburt schon etwa 10 % ihrer adulten Lebendmasse aufwiesen (HOIS *et al.*, 2005). Der Zeitpunkt des Absetzens der Fohlen von der Mutterstute lag bei Tieren in der Reitpferdezucht zumeist zwischen dem 5. und dem 7. Lebensmonat. Diese Absetzer haben zu diesem Zeitpunkt eine Lebendmasse, welche bereits 4 bis 5 Mal so hoch war wie die bei der Geburt. Die Lebendmasse der Absetzer betrug 45 bis 50% der Adultlebendmasse (GfE, 1994; WILKE, 2003; HOIS *et al.*, 2005; MACK, 2007; MARTIN-ROSSET, 2005). Nach diesen Autoren erlangt das junge Warmblutpferd mit einem Alter von 12 Monaten etwa 61 bis 66 % und mit 24 Monaten bereits 83 bis 89 % der Adultlebendmasse. Mit einem Alter von 3 Jahren werden etwa 94 bis 99 % der adulten Lebendmasse erreicht.

In den ersten Lebenswochen und Monaten tritt die höchste Wachstumsintensität auf. Somit wurden auch beim Warmblutfohlen im ersten Lebensmonat Tageszunahmen von bis zu 1500 g erreicht, sodass bereits im zweiten Lebensmonat die Geburtssmasse verdoppelt ist (GfE, 1994; WILKE, 2003; HOIS *et al.*, 2005; MACK, 2007; MARTIN-ROSSET, 2005). Im weiteren Wachstumsverlauf nehmen die täglichen Zunahmen ab. Die täglichen Zunahmen an Lebendmasse bewegen sich im Zeitraum vom 3. bis zum 6. Lebensmonat durchschnittlich um 984 g/d und liegen zum Zeitpunkt des Absetzens, mit einem Alter von 6 Monaten, bei 850 g/d. Im Jährlingsalter, bis zum Alter von 2 Jahren, bewegt sich die mittlere tägliche Zunahme zwischen 560 und 620 g/d. Im dritten Jahr der Aufzucht werden noch tägliche Zunahmen von maximal 295 g/d erreicht (GFE, 1994 und WALKER, 2007). MARTIN-ROSSET (2005) wies in seiner Studie zum Wachstum des Pferdes mögliche tägliche Zunahmen, in bestimmten Zeiträumen, von bis zu 100 g/d bis zu einem Alter von 7 Jahren nach.

Bei einer Betrachtung des Wachstums im Parameter Widerristhöhe (WRH) in der Aufzucht wiesen verschiedene Autoren eine ähnlich starke Entwicklung bezogen auf

die Lebendmasse nach. Das Warmblutfohlen erreicht während des pränatalen Wachstums etwa 60 bis 65 % seiner Widerristhöhe im adulten Zustand bzw. der Widerristhöhe der Mutterstute (MACK, 2007). Im 6. Lebensmonat wiesen die Tiere in den Untersuchungen bereits eine Widerristhöhe von 135 cm auf. Dieser Wert entsprach somit etwa 48 % der WRH des adulten Tieres. Nach 12 Monaten waren bereits 89 bis 92 % der adulten Widerristhöhe erreicht. Nach diesem verstärkten Wachstum in der Widerristhöhe erfolgt eher ein Breitenwachstum (MARTIN-ROSSET, 2005), das Wachstum in der Widerristhöhe verlangsamt sich und es werden schon mit 18 Monaten etwa 96 % und mit 36 Monaten etwa 98 % der adulten Widerristhöhe erreicht. Wenn man das Wachstum der Widerristhöhe in Wochen beschreibt, so liegt dieses im ersten Lebensmonat bei etwa 2 cm pro Woche und es nimmt in den folgenden Monaten an Intensität ab (FINKLER-SCHADE, 1997; BORCHERS, 2002). Im 6. Monat erreicht der Zuwachs pro Woche nur noch Werte von etwa 0,8 bis 0,9 cm. Ab einem Alter von 10 Monaten sind nur noch Ergebnisse von etwa 0,5 cm pro Woche zu erwarten. In einem weiteren Versuch mit Pferden in der Aufzucht, im Alter von 18 Lebensmonaten, erreichten die Tiere Werte von bis zu 0,3 cm pro Woche (HACKLÄNDER, 1998).

### **2.3 Einflüsse der Fütterung auf das Wachstum beim Warmblutpferd**

Durch Stress, welcher in der Absetzphase des Fohlens von der Mutterstute entstehen kann, kann es zu einer geringeren Futteraufnahme des Fohlens kommen. Die daraus möglicherweise folgende mangelnde Versorgung mit Energie und Nährstoffen führte folglich zu einer vorübergehenden Beeinträchtigung des Wachstums (HOLLAND *et al.*, 1996). Aus diesem Grund kann in dieser Phase das Wachstum stagnieren oder sogar rückläufig werden. Gründe für die unzureichende Futteraufnahme waren in unzureichendem Anlernen der Futteraufnahme während der Säugezeit, in der Trennung von der Mutter, in der Eingewöhnung in eine Jungpferdegruppe mit Rankkämpfen, in einer neuen Umgebung oder in dem Wechsel zwischen Stall- und Weidehaltung zu finden. Auch mögliche Infektionen und Verdauungsstörungen trugen zu diesen Zeiten zu möglichen Wachstumsdepressionen bei.

Verbesserte sich die Situation der Tiere im weiteren Verlauf der Aufzucht, wurden diese Wachstumsdepressionen meist kompensiert (OTT, 2005). Dieses kompensatorische Wachstum tritt meist in Zusammenhang mit Phasen erhöhter bzw. nach Phasen erniedrigter Versorgung an Energie und Nährstoffen auf, wie zum Beispiel beim Weideauftrieb im Frühjahr (HOLLAND *et al.*, 1996; SAASTAMOINEN, 1996; MARTIN-ROSSET, 2005).

Das kompensatorische Wachstum und der Energie- und Nährstoffüberschuss bzw. Mangelsituationen führen zu teilweise unphysiologisch erhöhter Aktivität von Pferden in der Aufzucht. Aus diesen Gründen steigt in diesen Phasen die Anfälligkeit für krankhafte Knochen- und Knorpelveränderungen durch Überbelastungen oder nach Verletzungen an (SAASTAMOINEN, 1996). Da speziell diese Gewebe einen sehr langsamen „Turnover“ aufweisen, war es für die Tiere in der Studie kaum möglich die Veränderungen im weiteren gesamten Leben wieder zu kompensieren.

Für jede Tierart, die der Mensch als Nutz- oder Haustier hielt, für jedes Alter und jede Nutzungsform, existieren spezielle Versorgungsempfehlungen für die tägliche Aufnahme an Energie- und Nährstoffen. Dabei sollte die Fütterung ein optimales, der Nutzung angepasstes Wachstum unterstützen, soweit ein Normalwachstum für die jeweilige Tierart beschrieben war.

Im ersten Schritt wurden Normalwerte bezüglich der Trockensubstanzaufnahme der jeweiligen Tierart bestimmt. Im nächsten Schritt wurde die Energie- und die Nährstoffdichte im Futter an das Aufnahmevermögen angepasst. Dabei spielt auch eine Versorgung mit Trinkwasser, welches beim Pferd meist *ad libitum* in hoher Qualität angeboten werden soll, eine bedeutende Rolle. Ein gesundes Pferd nimmt etwa 3 bis 3,5 l Wasser pro kg Trockensubstanzaufnahme auf. Eine bedarfsgerechte Versorgung mit Vitaminen, Mengen- und Spurenelementen muss, soweit Bedarfe bekannt sind, sichergestellt werden, um Wachstumsdefizite oder Erkrankungen durch Mangelerscheinungen zu vermeiden (KIENZLE, 2012). Den primären Einfluss auf das Wachstum von Jungtieren und demzufolge auch von Pferden in der Aufzucht übt die Energie- und die Proteinaufnahme aus (OTT, 2005).

Grundsätzlich teilt sich der Gesamtbedarf des Tieres an Energie in den Erhaltungsbedarf und den Leistungsbedarf auf. Der Leistungsbedarf eines Jungpferdes wird dabei durch das Wachstum erbracht. Der Energiebedarf für die Erhaltung und die Leistung insgesamt und deren Verhältnis zueinander verändern sich damit in Abhängigkeit vom Alter des Tieres. Dabei ist der Erhaltungsbedarf eines jungen Pferdes in Bezug auf seine metabolische Lebendmasse höher als bei einem älteren oder adulten Pferd. Der Leistungsbedarf sinkt relativ und auch absolut, da mit dem zunehmendem Alter des Tieres die Zunahme der Lebendmasse reduziert wird (GFE, 1994). Für weitere Leistungsanforderungen, wie zum Beispiel einer erhöhten Bewegungsaktivität bei Trainingsbeginn, werden in der Tagesration Zuschläge angerechnet. Ein Unterschreiten des Energiebedarfs um bis zu 10 % ist unproblematisch und lässt sich in dem vergleichsweise langen Zeitraum der Aufzucht kompensieren (GFE, 1994). Eine Überschreitung der Energieaufnahme muss durch

ausreichende Bewegungsmöglichkeiten für ein Training von Skelett und Bindegewebe unterstützt werden. Eine energiereiche Fütterung kann zu höheren Zunahmen führen (ZEYNER, 1995). Füttert man Jungpferde *ad libitum*, kann dies durch die folglich höhere Energieaufnahme auch zu höheren Zunahmen führen, welche mitunter höhere Werte annehmen, als sie in den Empfehlungen des NRC als Zielgrößen beschrieben sind (OTT und ASQUITH, 1986; CYMBALUK *et al.*, 1989).

In den aktuellen Versorgungsempfehlungen der GFE in Deutschland und des NRC in den USA (GFE, 1994; NRC, 2007) werden Schätzgleichungen für die Energieversorgung von Jungpferden auf Basis der verdaulichen Energie (DE) angegeben. Nach einer umfangreichen Literaturrecherche und Modellrechnungen erscheint es möglich, die Energiebetrachtung in der Pferdefütterung weiterzuentwickeln. In den neuen Bedarfsempfehlungen für das Pferd sollen Empfehlungen auf der Ebene der metabolischen Energie (ME) veröffentlicht werden (GFE, 2011). Durch diese neue Energiebetrachtungsebene wird eine Korrektur im Energiegehalt und in der Energiebereitstellung der bisher überbewerteten Protein- und Faseranteile, der beim Pferd eingesetzten Futtermittel, stattfinden können (KIENZLE und ZEYNER, 2010).

Protein ermöglicht den Erhalt, das Wachstum und die Reproduktion eines jeden Organismus in Anwesenheit von energieliefernden Nährstoffen. Proteine sind im Körper in Form von Enzymen, Immunglobulinen, Haut- und Bindegewebsproteinen sowie Muskelproteinen in verschiedenen Formen vorhanden. Der Erhaltungsbedarf an Protein ergibt sich aus den endogenen Stickstoffverlusten. Der Leistungsbedarf an Protein für Wachstum war direkt abhängig vom Proteinansatz (OTT, 2005). Auch der Bedarf an Protein sinkt beim wachsenden Tier mit dem zunehmenden Alter, da auch der Proteinansatz mit zunehmendem Alter abnimmt (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Versorgungsempfehlungen an Rohprotein (XP), verdaulichem Rohprotein (DXP), preacecal verdaulichem XP (pcvXP) und Lysin für Pferde (adult-LM 600 kg) in der Aufzucht (gemäß GFE und NRC)**

Altersabschnitt	XP (g/d)	DXP (g/d)	pcvXP (g/d)	Lys (g/Tag)
	NRC, 2007	GFE, 1994	GFE, 2014	NRC, 2007
<b>7 – 12 Mon.</b>	811	610	-	34,9
<b>13 – 18 Mon.</b>	1015	560	-	43,6
<b>19 – 24 Mon.</b>	959	505	383	41,2
<b>25 – 36 Mon.</b>	924	485	-	39,7

Die Energieaufnahme ist dabei der Faktor, welcher das Wachstum am stärksten limitiert. Somit hat erst bei einer adäquaten Energieversorgung eine Steigerung der Proteinversorgung positive Auswirkungen auf das Wachstum (OTT und ASQUITH, 1986). Dieser Zusammenhang wird in dem so genannten Protein-Energie-Quotienten (PEQ) beschrieben. Diese Haupteinflussfaktoren sind wichtige Aspekte, wenn Rationen für Jungtiere gestaltet werden. Eine erhöhte Proteinzufuhr kann damit erst dann zu erhöhten Wachstumsraten führen, wenn die Energieversorgung nicht limitierend eingestellt ist. Verschiedene Autoren wiesen darauf hin, dass ein zu schnelles Wachstum und eine zu hohe Lebendmasse zu frühen Zeitpunkten der Aufzucht negative Effekte auf Knochen- und Bindegewebsentwicklung haben können (OTT *et al.*, 1979; THOMPSON *et al.*, 1988; KRUMBIEGEL, 2011). Eine Einordnung bezüglich einem Normalwachstum und einem optimalen Bewegungsangebot in diesem Kontext blieb dabei aus.

Neben der reinen Menge an aufgenommenem Protein ist auch die Proteinqualität von entscheidender Bedeutung für die Tiere. Sie resultiert aus der Proteinverdaulichkeit und aus den Wechselwirkungen des Proteins mit Anteilen anderer Nährstoffe in den Futtermitteln, Komponenten bzw. der Gesamtration. Aktuelle Versorgungsempfehlungen für Pferde geben Werte für Rohprotein (XP) oder verdauliches Rohprotein (DXP) an. Für die neuen Versorgungsempfehlungen für das Pferd, der GFE, wurden Bedarfswerte im Hinblick auf den Gehalt in den Futtermitteln und den Bedarf an potentiell *praececal* verdaulichem Rohprotein (pcvXP) erarbeitet. Dieser Schritt, hin zu Versorgungsangaben mit pcvXP, war in der Pferdefütterung von besonderem Interesse (GFE, 2011).

Pferde haben, im Gegensatz zu anderen monogastrischen Raufutterfressern, die Fähigkeit entwickelt, hohe Rohfasermengen als Nahrungsgrundlage zu nutzen. Dafür wurde eine sehr ausgeprägte Dickdarmverdauung entwickelt. Verschiedene *in vivo*-Studien zeigten allerdings, dass der Umfang einer *postilealen* Absorption von Peptiden bzw. Aminosäuren als gering bzw. unmöglich einzuschätzen war (HINTZ *et al.*, 1971; REITNOUR und SALSBURY, 1972; FARLEY *et al.*, 1995; GIBBS *et al.*, 1996). Folglich müssen Peptide und Aminosäuren zwangsläufig *praececal* aufgenommen werden und dort in optimaler Qualität und Quantität aus dem Futter zur Verfügung stehen. Ein grundlegender Faktor ist die Aminosäurezusammensetzung des Proteins aus den Rationsbestandteilen selbst. Der Bedarf an Futterprotein wird damit primär aus dem Bedarf an unentbehrlichen Aminosäuren und Stickstoff zur Ermöglichung der körpereigenen Proteinsynthese bestimmt. Auch Wechselwirkungen zwischen den Aminosäuren selbst können deren Verfügbarkeit



beeinträchtigen. Diese Wechselwirkungen können durch Konkurrenzsituationen während des Transports (PEGANOVA *et al.*, 2003) oder durch Aminosäurenantagonismen wie z.B. Konkurrenzsituationen um Enzymsysteme im Stoffwechsel entstehen (EDER, 2010; WILTAFSKY *et al.*, 2010). Für die Synthese von Körperprotein sollen die jeweils spezifischen Aminosäuren synthesesynchron bereitstehen, entbehrliche und unentbehrliche Aminosäuren an dem Zeitpunkt des Synthesebedarfs in ausreichender Menge und dem optimalen Ratio vorhanden sein. Grundlage dafür ist, dass die unentbehrlichen Aminosäuren vorher über die Fütterung und die Absorption im Dünndarm aufgenommen wurden. Traten dabei Mängel wie Unterschiede in der qualitativen und quantitativen Absorption auf oder war die Energiebereitstellung für die Proteinsynthese nicht ausreichend, wurde diese unterbrochen.

### 2.4 Das Idealproteinkonzept Pferd

Alle Gewebeproteine eines Tieres unterliegen permanenten Auf- und Abbauprozessen mit spezifischen Halbwertszeiten in dem jeweiligen Gewebe. Dies bedeutet, dass die Proteinsynthese und die Proteolyse ständig parallel arbeiten und für eine ständige Erneuerung der Proteine im Organismus sorgen. Beim Abbau von Aminosäuren können diese zu einem begrenzten Teil für weitere Synthesen verwendet werden, gehen aber größtenteils durch Trans- oder Desamination für neue Synthesen verloren. Diese Verluste entstehen unabhängig von der Leistung der Tiere und müssen auch im Erhaltungszustand bzw. im Erhaltungsbedarf durch die stete Nahrungsaufnahme gedeckt werden. Ein weiterer Grundbedarf an Aminosäuren besteht für regulatorische Funktionen (EDER, 2010). Um eine effiziente Nutzung des Futterproteins zu gewährleisten und eine optimale Zusammensetzung des Futterproteins zu erreichen, wurde das so genannte Idealproteinkonzept bei monogastrischen Nutztieren entwickelt. Dieses besagt, dass die Proteinsynthese am effizientesten abläuft, wenn die ideale Kombination an unentbehrlichen Aminosäuren für die jeweilige Leistungserfüllung, über das Futter, zur Verfügung steht (TUITOEK *et al.*, 1997; BOISEN *et al.*, 2000). Wird die Proteinqualität im Sinne des Idealproteinkonzeptes über die essentiellen Aminosäuren verbessert, sind auch bei einer reduzierten absoluten Proteinzufuhr konstante oder gesteigerte Leistungen beim Tier zu erwarten (WANG und FULLER, 1989; STANIAR, 1998; STANIAR *et al.*, 2001).

Die Aminosäure Lysin ist auch in der Fütterung des Pferdes die Leitaminosäure (OTT *et al.*, 1981). Die Ableitung des Idealproteins, die Erstellung von Relationen des Lysin zu den weiteren unentbehrlichen Aminosäuren, erfolgte über Aminosäureanalysen

in der Ganzkörperzusammensetzung von Tieren oder der Untersuchung von Teilgeweben bzw. Produkten. Die Zusammensetzung an Aminosäuren der Zielgewebe diene damit als Grundlage für die Relationen der unentbehrlichen Aminosäuren aus der Tagesration. Das Vorgehen gründete auf der Annahme, dass der Bedarf für Proteinansatz im Wachstum hauptsächlich aus einer Muskelmassezunahme entsteht. Die dafür notwendigen unentbehrlichen Aminosäuren müssen demnach synthesesynchron ab der Säugeperiode des Fohlens, in entsprechenden Verhältnissen, zur Verfügung stehen (GRAHAM-THIERS und KRONFELD, 2005). Zu diesem Zweck wurde das Muskelprotein des Pferdes in verschiedenen Studien bezüglich der individuellen Aminosäurezusammensetzung untersucht. GRAMBERG (2012) stellte ihre Ergebnisse von Aminosäuregehalten in Muskelfleisch des Pferdes den Ergebnissen von BRYDEN (1991) und BADIANI *et al.* (1997) gegenüber (Tabelle 2).

**Tabelle 2: Aminosäuregehalte im Muskel des Pferdes in Relation zu Lysin (Ratio) (verändert nach Gramberg (2012))**

<b>Aminosäure</b>	<b>BRYDEN(1991)</b>	<b>BADIANI <i>et al.</i> (1997)</b>	<b>GRAMBERG (2012)</b>
<b>Lysin</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Methionin</b>	28	31	29
<b>Threonin</b>	61	54	50
<b>Tryptophan</b>	*	10	*
<b>Valin</b>	62	61	50
<b>Isoleucin</b>	55	58	52
<b>Leucin</b>	107	97	92
<b>Histidin</b>	60	57	51

\*nicht analysiert

Diese Ableitung der Zusammensetzung bzw. des Ratio an unentbehrlichen Aminosäuren konnte nun als wichtiges Optimierungsinstrument für die Aminosäurelieferung aus dem Protein der Ration genutzt werden. Ein eventueller relativer Mangel an Aminosäuren in Relation zum Lysin aus der Ration war mit dem Ratio einfach zu bestimmen. Über veränderte Proteinträger in der Ration bzw. durch eine direkte kristalline Ergänzung kann diesem Mangel damit gezielt entgegengewirkt werden.

Lysindefizite und Defizite an weiteren unentbehrlichen Aminosäuren verhindern die Nutzung anderer hochwertiger Proteinbestandteile und Aminosäuren (BREUER, 1971; WESSELING, 2003). Wie beschrieben, wird beim Pferd das Lysin als die erstlimitierende Aminosäure angesehen (HINTZ, 1994; BREGA, 2005).

Threonin wurde von den Autoren als die zweite limitierende Aminosäure bei Pferden ausgewiesen (GRAHAM *et al.*, 1994; BREGA, 2005). In Fütterungsversuchen mit Pferden, in welchen die Zulage von Lysin bzw. Lysin und Threonin untersucht wurden, stiegen die Zunahmen an und die Futterverwertung verbesserte sich. Die Gehalte an Harnstoff-Stickstoff im Blut waren negativ mit einer Optimierung der Lysin- und Threoninversorgung korreliert. Diese Optimierung der aufgenommenen Lysin- und Threoninmenge wurde durch eine Annäherung des Aminosäuremusters aus dem Futterprotein an das des Muskelproteins erreicht. Demzufolge wurden in den genannten Versuchen eine höhere Effizienz der Fütterung und eine Entlastung des Stoffwechsels durch die Nutzung des Idealproteinkonzepts erreicht. Dieser Zusammenhang, bewiesen durch Indikatoren des Proteinstoffwechsels, Ammoniak- bzw. Harnstoffausschleusung, wurde in mehreren Versuchen der Arbeitsgruppe untersucht und nachgewiesen (GRAHAM *et al.*, 1994; GRAHAM-THIERS und KRONFELD, 2005).

Das Idealproteinkonzept Pferd wurde von KOSLOWSKI und LIEBERT (2009) in einem Fütterungsversuch, der sich über 70 Tage erstreckte, angewendet. In dieser Arbeit wiesen die Junghengste der Supplementgruppe durch die Optimierung der Aminosäureaufnahme einen geringeren Harnstoffgehalt im Blut, verglichen mit einer Kontrollgruppe, auf. Die Optimierung der Proteinqualität hatte dabei keine Auswirkung auf die Lebendmassezunahme, führte aber auch in dem Versuch, wie auch im Versuch von GIBBS *et al.*, (1989), zu einem signifikant stärkeren Wachstum im Parameter der Widerristhöhe. Weitere untersuchte Wachstumsparameter wie die Unterarmlänge und der Parameter des Muskelumfangs (*musculus extensor digitorum communis*) zeigten positive Reaktionen in Bezug auf die Optimierung (KOSLOWSKI *et al.*, 2009).

GRAHAM-THIERS *et al.* (2010) schlussfolgerten nach ihren umfangreichen Versuchsreihen bezüglich der Aminosäurenversorgung von Pferden, dass eine Aminosäurenlieferung aus den in der Praxis angebotenen Futtermitteln oftmals nicht ausreichte, um den möglichen, sehr hohen Wachstumsleistungen von Jungpferden moderner Genetik gerecht zu werden. Weiterhin waren Bedarfsempfehlungen für verdauliches Protein sowie verdauliche Aminosäuren auch gemäß Idealproteinkonzept schwer zu erfüllen. Auch die Muskelhypertrophie, wie sie bei adulten Tieren durch Training auftrat, musste einen höheren oder veränderten Bedarf an Aminosäuren und gegebenenfalls sogar ein verändertes Ratio an Aminosäuren nach sich ziehen.

Weiterhin sollte speziell der Bedarf an funktionellen Aminosäuren wie den verzweigt-kettigen Aminosäuren Leucin, Isoleucin und Valin und des Tryptophans untersucht werden, um Mangelsituationen zu vermeiden bzw. dauerhaft höchste Leistungen von den Tieren abrufen zu können. Versuche, eine bedarfsgerechte Versorgung mit Aminosäuren nur über eine quantitative Erhöhung der Proteinmenge in der Ration von Pferden einzustellen, erschienen den Autoren als uneffizient und eher als unnötige Belastung für den Stoffwechsel der Tiere. Die Autoren forderten für die Zukunft bei der Erstellung von Rationen einen stärkeren Bezug zur Verdaulichkeit und der Aminosäurenratio der Rationskomponenten, weil gerade in den Bereichen der Fütterung von Pferden in der Aufzucht sehr große Unterschiede in diesem Kontext vorgefunden wurden. Zusammenfassend sollten sich Wissenschaftler, Futtermittelhersteller und Praktiker eher auf eine Erhöhung bzw. Beachtung der Proteinqualität fokussieren. Dies schließt den Einsatz von hochwertigen Proteinträgern und von kristallinen Aminosäuren in modernen Futtermitteln für Pferde ein (GRAHAM-THIERS *et al.*, 2000; 2010).

### 2.5 Methoden Beurteilung der Gewebeentwicklung beim Pferd

Seit 1940 wird bereits an Methoden gearbeitet, um die Körperzusammensetzung zunächst beim Menschen indirekt zu bestimmen (BEHNKE, 1941). Mit der späteren Anwendung beim Nutztier gehörte die Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) neben der Ultraschalluntersuchung, den Verdünnungsmethoden und dem Body Condition Score zu den Methoden, mit denen es auf einfachem Wege *in vivo* möglich war, Ableitungen zur Körperzusammensetzung zu treffen. Dabei galt die BIA inklusive der erforderlichen Messtechnik als eine transportable, nicht *invasive* und leicht durchführbare Technologie (DE LORENZO *et al.*, 1995). Als Grundlage für die Impedanzanalyse wurde ein niederfrequenter Wechselstrom genutzt, welcher über je zwei Elektroden an der Vorder- und der Hinterextremität erzeugt wurde. Der Spannungsabfall, die Impedanz, verursacht durch die Gewebe zwischen den Elektroden, konnte auf diese Weise gemessen werden (SCHINDLER und LUDVIK, 2004). Der Spannungsabfall war dabei in flüssigkeitsreichen Geweben geringer als im Fettgewebe, Organen oder im Knochen.

Als Messwerte der BIA wurden die Impedanz, Resistanz (Wirkwiderstand), Reaktanz (Blindwiderstand) und der Phasenwinkel (FOSTER und LUKASKI, 1996) genutzt. Messgeräte zur Bestimmung der bioelektrischen Impedanz maßen daher innerhalb einer Frequenz von 5 bis 200 kHz und bei einer Stromstärke von 200  $\mu$ A. Die Impedanz war somit abhängig von der Länge des Körpers, der Querschnittsfläche,

der Konfiguration des Leiters und von der Signalfrequenz des elektrischen Stroms (LUKASKI *et al.*, 1985). Im lebenden Organismus agierten Zellmembranen als elektrische Kondensatoren und waren damit eine Barriere für den Stromfluss bei niedriger Frequenz. Daher wurde bei der Messung die Frequenz bei 5 kHz genutzt, um das extrazelluläre Flüssigkeitsvolumen (ECFV) zu ermitteln (SERGI *et al.*, 1994 und SICONOLFI *et al.*, 1997). Dem gegenüber stand die Messung mit einer hohen Frequenz (> 50 kHz). In Anlehnung an die vorherige Aussage stellten damit die Zellmembranen bei 200 kHz keine Barriere für den Stromfluss mehr dar. Somit konnte bei dieser Frequenz der Gehalt des Gesamtkörperwassers (TBW) gemessen werden. Da die elektrische Leitfähigkeit auf den Wassergehalt in den verschiedenen Körperflüssigkeitsräumen zurückzuführen war, musste für die Berechnung des Volumens davon ausgegangen werden, dass der Körper einen einheitlichen Querschnitt hatte. Da der Wassergehalt für die Berechnungen des Gesamtkörperwassergehaltes des Tierkörpers sehr wichtig war, musste der schwankende Wassergehalt im Tier in Abhängigkeit von der Wasser- und Trockensubstanzaufnahme berücksichtigt werden.

Am Beispiel des Rindes wurde durch MAYNARD *et al.* (1979) gezeigt, dass im Zuge der Ausreifung eines Tieres auch die so genannte physiologische Austrocknung erfolgte. Gemäß den Angaben der Autoren bestand ein Embryo zu 95% aus Wasser, ein neugeborenes Kalb etwa zu 75 bis 80 %, ein Kalb im Alter von 5 Monaten zu 66 bis 72 % und ein adultes Rind enthielt noch ca. 50 % Wasser. Somit bestätigte sich die Aussage, dass der angenommene mittlere Wassergehalt der fettfreien Masse von 73,2 % gemäß SHENG und HUGGINS (1979) bei adulten Säugern zutrifft. Diese Aussage wurde von den Autoren bei mehreren Tierarten untermauert. Im Zuge einer üblicherweise durchgeführten Nüchterung der Tiere vor derartigen Messungen wies SUSENBETH (1984) in seiner Arbeit mit Schweinen darauf hin, dass für die genaue Berechnung erforderlich war, die Leerkörpermasse einzusetzen. Für die Tierart Pferd wurde in der Literatur bisher keine Angabe zu einer Korrektur der Körpermasse (Leerkörpermasse) gemacht. Wenn bei adulten Tieren von einer konstanten Hydrierung der fettfreien Masse von 73,2 % ausgegangen werden konnte, konnte aus dem Gesamtkörperwasser auch beim Pferd die Magermasse berechnet werden (SEGAL *et al.*, 1985 und SEGAL *et al.*, 1988).

Die Messung des Muskelumfangs mittels Ultraschall wird in Wachstumsversuchen beim Pferd als eine neue Messmethode genutzt. Um die Gewebeverteilung bei den Tieren zu unterscheiden, waren während des Versuchsablaufs und am Versuchsende keine Schlachtkörper für Gewebeanalysen vorhanden.

Es musste in Anlehnung an BRONDUM *et al.* (1998) eine Methode entwickelt werden, um *in vivo* Gewebemessungen, per Ultraschall, an den Tieren durchführen zu können. Zunächst musste eine geeignete Untersuchungsstelle gefunden werden, um einen Muskel außerhalb des Körpers, über der Haut, darstellen zu können. Zudem durfte der Muskel für eine möglichst vollständige Darstellung keine „flächige“ Ausdehnung aufweisen. Aus Gründen der Muskelphysiologie unter Einfluss von Training war es weiterhin wichtig, keinen Rückenmuskel zu nutzen, da diese mehrheitlich durch das Anreiten bzw. den Sattel und die Sattellage hätten beeinflusst werden können. Somit wurde ein Muskel am Vorderbein der Tiere gewählt, um Messungen von Fütterungseffekten und Trainingseffekten bei den Tieren zu ermöglichen. Als optimal für die Untersuchung wurde der Lange Gemeinsame Zehenstrecker (*musculus extensor digitorum communis*) definiert. Durch die Nutzung identischer Tiere in Gruppen, für mehrere Messungen im Zeitablauf, mit unterschiedlicher Fütterung und/ oder einer veränderten Trainingsumwelt, konnte auch ein Tiereffekt weitestgehend ausgeschlossen werden. Die Wachstumsdaten in dem Parameter konnten dann zwischen den Prüfgruppen verglichen werden.

Bereits im Versuch mit Junghengsten bei beginnendem Training (KOSLOWSKI *et al.*, 2009) wurde an der Entwicklung und der praktischen Durchführung dieser Methode gearbeitet. Die Tiere wiesen in der supplementierten Gruppe durch die Lysinergänzung und das beginnende Training ein signifikant höheres Wachstum auf. Weiterer Forschungsbedarf bezüglich der Anwendung der Methodik beim Pferd, unter differenzierten Fragestellungen wie Wachstum oder Training, wurde ausgewiesen. Durch die Kombination dieser neuen Methodik mit weiteren Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung beim Pferd wurde auf weitere Erkenntnisse in Bezug der Gewebeentwicklung *in vivo* abgezielt.

## 2.6 Indikatoren Proteinstoffwechsel Pferd

Um Aussagen zur Nutzung des Proteins und der Aminosäuren, nach erfolgter Absorption, gemäß dem physiologischen Bedarf und zur Bedarfsermittlung treffen zu können, wurden verschiedene Parameter und Methoden in der Literatur beschrieben. Die entsprechende jeweilige Blutentnahme sollte in Versuchen so angesetzt werden, dass sie an einem Zeitpunkt nach der Fütterung stattfand, an welchem die Werte ein gewisses Plateau erreicht hatten und dieses Niveau für einen gewissen Zeitraum hielten (TRAPPE *et al.*, 2003).

Der Blutentnahmezeitpunkt, zwei Stunden nach der Fütterung, wurde von RUSSEL *et al.* (1986) als Optimum für eine Beurteilung der maximalen Anflutung der freien Aminosäuren im Plasma (PFAA), nach der erfolgten Absorption im Dünndarm, benannt. Gemäß den Autoren waren die Höhe der Absorption und damit der Probenahmezeitpunkt abhängig von der Mahlzeitenzahl je Untersuchungstag.

RENNIE (1985) fasste die Möglichkeiten von Indikatoren zur Messung des Proteinstoffwechsels in einem lebenden Organismus zusammen und kategorisierte Möglichkeiten, verschiedene Parameter zur Beurteilung des Status, zunächst beim Menschen, zu nutzen. Gemäß den Aussagen des Autors war die Muskulatur verantwortlich für den Hauptteil des Protein- bzw. AS-Turnover im Körper des Menschen. Veränderungen des Protein- bzw. Aminosäurenstatus traten schnell oder reaktiv durch Verletzungen, Vergiftungen oder Infektionen ein. Vergleichsweise langsame oder adaptive Veränderungen wurden durch (Stoffwechsel-) Krankheiten und Fehlernährung verursacht. Physiologische adaptive Anpassungen, welche auch langsam eintraten, waren gekennzeichnet durch eine Anpassung an veränderte Umwelten bzw. Anforderungen an den Organismus wie Wachstum oder Training. Weitere, eher negative Einflüsse wurden im Bereich der unphysiologischen Hormonwirkungen (Wachstum, Stress) oder durch negative nervale Einflüsse genannt. Unterschiede der beiden Formen waren zunächst schwer an (Blut-) Indikatoren messbar wegen postuliertem, zu geringem Wissen über „Normalwerte“ und deren Schwankungsbreiten beim Menschen (RENNIE, 1985).

Forschungsbedarf wurde auch in Bezug zu dem vergleichsweise geringen Wissen über Indikatorstoffe allgemein genannt. Muskelindikatorstoffe konnten beispielsweise auch aus anderen Geweben, wie Fettgewebe oder bestimmten Organen wie Leber oder Lunge, ausgeschieden werden (RENNIE, 1985). Große Potenziale auch zur Evaluierung der Indikatorstoffe, um Gewebeschmelzung (Muskelproteinturnover) zusammen mit anderen Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung wie BIA, CT, MRT zu bewerten, wurden von dem Autor bescheinigt.

Kam es zu einer qualitativ minderwertigen Aminosäurenversorgung oder zu einer überhöhten Proteinversorgung im Verhältnis zur Energie und zum Bedarf, stieg die Menge an Harnstoff in Blut bzw. Blutserum (SUN) und Harn an. Da unentbehrliche Aminosäuren nicht gespeichert werden konnten, wurde in möglichen Mangelsituationen das Kohlenstoffgerüst der Aminosäuren, welche im Überschuss vorhanden waren, zur Energiebereitstellung genutzt. Bei diesem Abbau zur energetischen Nutzung von Aminosäuren, welcher nicht gewünscht war, wurde Ammoniak frei, welches als Giftstoff in der Leber zu Harnstoff umgebaut werden

musste, um über die Nieren ausgeschieden zu werden. Ein gegenteiliger Effekt trat auf, wenn die Proteinqualität über das Futter verbessert wurde; die Menge an Harnstoff im Serumprotein und im Harn sank dabei ab. Dieser Zusammenhang des Blutharnstoffes mit dem Protein- bzw. Aminosäurenstoffwechsel wurde bei Masttieren im Nutztierbereich sowie in Versuchen mit Pferden nachgewiesen und genutzt (MARKERT, 1992; EGGUM, 1970; GRAHAM-THIRS und KRONFELD, 2005; KOHN *et al.*, 2005). Durch eine Optimierung der Aminosäurenversorgung im Sinne des Idealproteinkonzeptes in der Ration gingen Harnstoff-Gehalte im Blut von Mastschweinen in den Versuchen von MARKERT (1992) um bis zu 56 % zurück.

Nach SAASTAMOINEN (1996) sind beim wachsenden Pferd die Lebendtagszunahmen und der Blutharnstoffgehalt negativ korreliert. Außerdem wurde in dieser Arbeit ein Anstieg des Harnstoffgehalts während des und nach dem Absetzen von Fohlen beobachtet. Diese Ergebnisse wurden zusätzlich mit der veränderten Futtergrundlage und einer Gewebeschmelzung in Verbindung gebracht. Der Blutharnstoff ist bei Pferden zudem stark wachstumsabhängig und dabei zugleich ein Indikator für Proteinabbau im Körper. Auswirkungen wurden vor allem dann ermittelt, wenn dieser Proteinabbau in der Muskulatur stattfand (DE PEW *et al.*, 1994; CHROBOK, 2000). Optimalwerte bei passender Proteinversorgung für den Gehalt an Plasmaharnstoff beim wachsenden Pferd wurden von KIENZLE (2012) im Bereich von 20 bis 30 mg/dl genannt. Ab einem Analysenwert von über 40 mg/dl konnte von einem Proteinexzess aus der Tagesration ausgegangen werden. Anhand dieser Aussagen wurde deutlich, dass dieser Stoffwechselindikator auch für eine Beurteilung der Proteinqualität, erreicht über das Idealproteinkonzept Pferd, sichere Aussagen in Versuchen, aber auch in der Praxis liefern konnte.

Bereits im Jahre 1974 arbeiteten JOHNSON und HART in ihrem Versuch an dem Thema der Anflutung von freien Aminosäuren im Blutplasma (PFAA) bei Pferden in Abhängigkeit einer erfolgten Fütterung. Ziel des Versuchs war eine Schätzung und Ermittlung von unentbehrlichen Aminosäuren, welche in einer Praxisration limitierend werden konnten. Im Versuch wurden sechs adulte Wallache eingesetzt, durch einen Vergleich von Basiswerten der AS vor der Fütterung mit Werten nach Fütterung sollten Rückschlüsse zu eventuellen Mangelsituationen getroffen werden. Der Gehalt an unentbehrlichen PFAA nahm, im Vergleich zu den Basiswerten, um bis zu 132 % beim Messtermin zwei Stunden nach der Fütterung zu. Danach war ein sehr schneller Rückgang der Gehalte zu verzeichnen, nach acht Stunden wurden die Ausgangswerte wieder erreicht. Die Aminosäuren Histidin und Phenylalanin zeigten im Versuch nur einen geringeren Anstieg und hielten ihr Niveau mit sehr langsamer Abnahme.



Weiterhin wiesen sie einen engen Zusammenhang mit der Zusammensetzung des Proteins aus der Ration nach. Gemäß der Aussage der Autoren wurden unentbehrliche AS anders synthetisiert als entbehrliche. Ein Einfluss des speziellen Syntheseweges der verzweigt-kettigen Aminosäuren (BCAA) schien zudem beim Pferd, bei der Synthesegeschwindigkeit der BCAA, eine Rolle zu spielen.

Die Auswirkungen der Mahlzeitenzahl auf die Anflutung der freien AS im Plasma (PFAA) beim Pferd wurde von RUSSELL *et al.* (1986) untersucht. Der richtige Blutentnahmezeitpunkt war nach Aussage der Autoren in Versuchen immer in Abhängigkeit der Mahlzeitenzahl pro Tag zu bestimmen. Der Versuch wurde mit sechs wachsenden Stuten durchgeführt, welche eine vollständig pelletierte Diät (Pellet 50 % Heugehalt) erhielten. Als Empfehlung für den besten Blutentnahmezeitpunkt (Maximalwerte), wurde der Zeitpunkt zwei bis drei Stunden nach der Fütterung angegeben, wenn zwei Mahlzeiten pro Tag verabreicht wurden.

Untersuchungen zur Anflutung von PFAA bei adulten Hengsten waren Inhalt des Versuchs von DE PEW *et al.* (1994). Die Arbeitsgruppe arbeitete mit der Methode der Zwangsfütterung verschiedener Nährstofflösungen, welche direkt in den Magen über eine Nasen-Schlund-Sonde eingegeben wurden. Die Effekte auf die Erhöhung der AS-Absorption fielen in der Versuchsanstellung sehr gering aus, die Autoren führten diesen Effekt auf eine mögliche zu geringe Anregung der Enzymausschüttung der Verdauungsenzyme aus dem Pankreas zurück, welche ihre Ursache scheinbar in der direkten Eingabe der Nährstoffmischungen in den Magen hatte.

In den Versuchen von KING und SULEIMAN (1998) wurden die AS-Gehalte der Muskulatur in Abhängigkeit von Training und von der Fütterung ausgewertet. Für den Versuch wurden Vollblutpferde mit einem mittleren Alter von 24 Monaten genutzt. Auswirkungen auf die Herzmuskulatur und die PFAA wurden gemessen. Für die Untersuchung des speziellen Muskelgewebes wurden Herzen von zwölf Tieren untersucht, die Hälfte der Herzen kam dafür direkt aus der für den Versuch trainierten Gruppe (Tabelle 3). Durch Training und Fütterung stiegen die Gehalte an BCAA, Threonin und Phenylalanin in der Herzmuskulatur an. Ein signifikanter Anstieg war dabei nur für Threonin in dem Gewebe nachzuweisen. Die Gehalte an Aminosäuren und deren Ratio im Gewebe wurden in Tabelle 3 im Vergleich zum mittleren Ratio aus der Skelettmuskulatur dargestellt. Gemäß den Ergebnissen war weiterhin ein starker Glutamatstoffwechsel im Herzgewebe nachzuweisen, ein geringerer BCAA-Gehalt bzw. Stoffwechsel im Vergleich mit der Skelettmuskulatur stand diesem Ergebnis gegenüber.

**Tabelle 3: Mittlere Gehalte an freien Aminosäuren (PFAA) und Ratio im Plasma und in der Herzmuskulatur des Pferdes im Vergleich mit dem Ratio der Skelettmuskulatur (Literatur) (modifiziert nach KING und SULEIMAN (1998))**

AS	Werte (n = 12)		Ratio		
	Plasma MW (µmol/l)	Herzmuskel MW (µmol/g in FS)	Plasma MW	Herz MW	Muskel* MW
<b>Lys</b>	105	0,30	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Met</b>	*	*	*	*	29
<b>Thr</b>	76	0,11	72	37	55
<b>His</b>	87	0,26	83	<b>87</b>	56
<b>Trp</b>	*	*	*	*	*
<b>Val</b>	165	0,12	157	40	<b>58</b>
<b>Ileu</b>	55	0,04	52	13	<b>55</b>
<b>Leu</b>	97	0,11	92	37	<b>99</b>
<b>Phe</b>	64	0,04	61	14	53
<b>Arg</b>	185	0,50	176	<b>167</b>	72

\*nicht analysiert

Für die Aminosäuren Histidin und Arginin wurden im Herzmuskel bei Betrachtung des Ratio wesentlich höhere relative Werte in Bezug zum Lysin nachgewiesen (Tabelle 3). Schlussfolgernd waren die Veränderungen des Aminosäuregehalts im Herzmuskel durch Training in geringerer Intensität beeinflussbar als in der Skelettmuskulatur.

HACKL *et al.* (2006) untersuchten bei zehn Ponyfohlen verschiedenen Geschlechts, mit einem Alter von 9 bis 14 Monaten, den Anstieg der freien AS im Blutplasma in Relation zu mehreren Zeitpunkten (Wiederholungsmessungen alle 2h) nach der Fütterung von Krafftutter. Die erste Blutprobe zur Messung der freien AS im Plasma (PFAA) erfolgte nach einer vollständigen Nüchternung der Tiere über 10 Stunden (Zeitpunkt 0). Dann wurde die Fütterung vorgenommen und alle zwei Stunden wurde Blut abgenommen. Die Blutproben wurden nach diesem Schema an Tag 1 und an Tag 40 im Versuch genommen. Als Krafftutter wurden in dem Versuch 1 kg Hafer und 0,5 kg Sojaextraktionsschrot verabreicht, Heu stand den Tieren *ad libitum* zur Verfügung. Die Nährstoffversorgung war mit dieser Ration leicht über den Bedarfswerten eingestellt.

Zusammenfassend kamen die Autoren zu dem Schluss, dass das Einzeltier einen geringen Einfluss auf die absolute Höhe der PFAA bzw. deren Anstieg hatte, die Abweichungen der PFAA-Gehalte waren in der Gruppe relativ ausgeglichen. Auch der Entnahmetag im Versuch hatte nur einen sehr geringen Einfluss auf die erreichten Werte der PFAA, es fand demnach keine Anpassung der Absorptionsleistung im Zeitraum von 40 Tagen statt.

Gemäß den Aussagen der Autoren waren Interpretationen der PFAA im Sinne von Versorgungsempfehlungen für Pferde immer stark abhängig vom genauen Wissen über die AS-Lieferung aus der Ration. Außerdem wurde ein möglicher Einfluss verschiedener Genetik, Geschlecht und Alter bei den Pferden bezüglich der Absorptionsleistungen eingeräumt, damit waren die Ergebnisse und Erkenntnisse nur sehr schwer auf die unterschiedlichen Pferderassen übertragbar.

Die Ergebnisse waren wegen ständigen Auf- und Abbaus von Protein im Organismus ohne weitere Markermethoden sehr schwer zu interpretieren, denn alle am Proteinturnover des gesamten Körpers beteiligten AS fanden sich im Plasma der Tiere wieder. Erwartungsgemäß wurde, als ein großer Einflussfaktor, die Leberregulation der PFAA benannt, aber auch der Verbrauch an AS durch die Enterocyten im Dünndarm selbst konnte nur sehr schwer ermittelt werden. Für eine Weiterbearbeitung dieser Fragestellung wäre eine wesentlich höhere Blutentnahmefrequenz mit sehr kleinen Zeitabständen nötig gewesen. Gemäß der Aussage der Autoren fand 2 Stunden nach der Fütterung, im Bereich des Dünndarmes, die Hauptabsorption der Aminosäuren statt, daher wurde dieser Zeitpunkt als optimal benannt, um Maximalwerte der Darmabsorption, aus der Digesta, im Plasma messen zu können.

In dem Versuch von ESSEN-GUSTAVSSON *et al.* (2010) führte viel Protein in Weidefutter (16,6 % in der (Weide-) Gesamtration) zu höheren Muskelgehalten an Leucin nach einer standardisierten Belastung. Als Vergleich diente in dem Versuch eine Pferdegruppe, welche mit Weidefutter mit geringem Proteingehalt (12,5%) in der Tagesration versorgt wurde. Schlussfolgernd wurde angemerkt, dass dieser Umstand des erhöhten Leucins Vorteile in einer Erholungsphase nach einer Belastung bringen konnte. Nach den Autoren hatte das Training selbst einen wesentlich geringeren Effekt auf die AS im Plasma als die AS aus der Ration. Die Versuchsanstellung mit den beiden Proteinstufen sowie das Training hatten keine Auswirkungen auf den Glycogengehalt der Muskulatur.

GRAHAM-THIERS *et al.* (2010) schlussfolgerten aus ihren Versuchen, dass Blutproben für die Bestimmung der PFAA drei bis vier Stunden nach der Fütterung abgenommen werden sollten, um aussagekräftige Werte zu erlangen. Bei Betrachtung der Aminosäurenratio im Plasma wurde festgestellt, dass Lysin in dem Versuch limitierend war und Histidin im Vergleich mit dem Ratio Muskel (gemäß BRYDEN, 1991) auch im relativen Mangel bei den Tieren im Organismus zur Verfügung stand. In dem Versuch wurde nur ein Blutentnahmezeitpunkt, 3 Stunden nach der Morgenfütterung, zur Auswertung herangezogen, damit waren keine Rückschlüsse auf Basiswerte bzw. Anstiege im Vergleich zu den Werten nüchtern möglich.

Der relative Mangel an bestimmten AS aus der Ration führte nachweislich zu einem Mangel an Aminosäuren in der Muskulatur an einem späteren Messzeitpunkt im Versuchsverlauf. Ein hoher Forschungsbedarf zum Idealprotein Pferd, im Vergleich zwischen Aminosäurenratio Futter, dem Ratio Plasma und dem des Muskels, für Bedarfsableitungen in Abhängigkeit vom Lysin als Leitaminosäure, wurde angemerkt.

Die PFAA wurden in vielen Versuchen in Abhängigkeit zu Leistungsabforderungen zur möglichen Energielieferung und einer Grundlage für eine Verringerung des Aminosäurenabbaus bei Ausdauerleistungen bzw. Höchstleistungen von Pferden untersucht. Anhand des erlangten Wissens sollten optimale Fütterungsstrategien für eine optimierte AS-Aufnahme vor und während solcher Wettkämpfe bzw. Arbeitsbelastungen entwickelt werden. Den verzweigtkettigen Aminosäuren (BCAA), bezüglich möglicher positiver Wirkungen in der Muskulatur (analog zu den Nutztieren) und dem Tryptophan, bezüglich dem Einfluss auf den Serotoninstoffwechsel und damit einem Einfluss auf die Ermüdung, wurden immer wieder Untersuchungen beim Pferd gewidmet.

CASINI *et al.* (2000) arbeiteten in ihrem Versuch mit vier Pferden und untersuchten Wirkungen einer Supplementation mit verzweigtkettigen Aminosäuren (BCAA). Als Ergebnis stellten sie fest, dass die Supplementation keine positiven Leistungseffekte im Vergleich mit einer Kontrolle hervorrief. Die Tiere in der BCAA-Supplementgruppe wiesen im Gegensatz eher mehr Harnstoff im Plasma auf. Der BCAA-Gehalt im Plasma und im Muskel stieg durch die Supplementation und die Belastung beim Pferd stärker an als beim Menschen oder bei Labortieren. Die Autoren schlussfolgerten aber, dass eine BCAA-Supplementation bei gesunden, gut gefütterten Pferden gemäß den Bedarfsempfehlungen keine positiven Effekte erzielen konnte. Forschungsbedarf wurde für andere Effekte bei andersartigen Leistungsabforderungen wie z. B. Kurzzeitbelastungen gesehen. Auch für die Betrachtung der BCAA zusammen mit der Aminosäure Tryptophan erhofften sich die Autoren weitere Erkenntnisse.

Die Forschergruppe ESSEN-GUSTAVSSON *et al.* (2002) führte Untersuchungen zum AS-Gehalt in der Muskulatur bei Pferden unter Dauerbelastungen durch. Nach Belastungen wurde kein Rückgang an Lysin- und BCAA-Gehalten in der Muskulatur beobachtet. Die Gehalte dieser AS blieben auf einem hohen Niveau, während die Gehalte anderer Aminosäuren, vor allem der des Tryptophans, wieder abnahmen. Die Autoren stellten zudem fest, dass Glutamat zur Aufnahme und Ausschleusung von Ammoniak in der Muskulatur genutzt werden konnte. Der Protein- und Aminosäurenabbau in der Muskulatur begann während der Ausdauerleistung, dem Distanzritt, und hielt bis in die Erholungsphase an.

Der Stoffwechsel der Aminosäuren im Körper von Pferden während Ausdauerleistungen war auch bei ASSENZA *et al.* (2004) Thema der durchgeführten Untersuchungen. Bei erhöhten Ausdauerleistungen wurden auch hier Proteine im Gesamtkörper des Pferdes abgebaut. Der Aminosäurenstoffwechsel sollte grundlegend unter Belastung beim Pferd erforscht werden. Ziel des Versuchs war, auf Ausdauerleistungen optimierte Futterergänzungen für die Praxis zu entwickeln. Der beobachtete Proteinabbau während der Belastungen erfolgte durch eine geringere Körperproteinsynthese und durch einen erhöhten Proteinabbau in der Leber. In der Muskulatur waren die PFAA die Hauptquellen für die Deckung des Glutamin- und Alaninbedarfs, welche für weitere Stoffwechselprozesse gebraucht wurden. Im Versuch stieg unter Trainingsbelastungen die Aufnahme an BCAA in der Muskulatur an. Die BCAA wurden dafür aus der Leber geliefert. Die relative Menge an BCAA wurde aber währenddessen in der Muskulatur nicht erhöht, daher lag der Schluss nahe, dass die BCAA zur Energielieferung in der Muskulatur genutzt wurden. Da Tryptophan und die BCAA den gleichen Transportmechanismus nutzten, um die Blut-Hirn-Schranke zu überwinden, wurden Effekte des TRY auf die Ermüdung der Tiere vermutet. Daher wurde im Versuch eine Messung des Tryptophan- und BCAA-Stoffwechsels unter Dauerbelastung beim Pferd durchgeführt.

Alle unentbehrlichen Aminosäuren, vor allem Tryptophan sowie die BCAA, wurden mobilisiert, bei der größten Belastung stiegen im Blut die BCAA-Gehalte an, die Tryptophangehalte wurden im Blut sogar signifikant erhöht. Damit wurde der Nachweis eines möglichen Zusammenhangs zwischen Ermüdung und dem Tryptophan auch beim Pferd erbracht. Schlussfolgernd kamen die Autoren zu der Aussage, dass BCAA-Ergänzungen sinnvoll sein konnten, um Energiesubstrate für die Muskulatur zu liefern und um die Muskulatur dauerhaft leistungsfähig zu halten. Für die Messung von Tryptophan- und Serotonineffekten beim Sportpferd sollten weitere Untersuchungen vorgenommen werden. Auch anderen Effekten von weiteren Parametern, wie Hormonwirkungen und Stoffwechselmarkern, unter Training sollte in diesem Kontext, in weiteren Versuchen, erhöhte Beachtung geschenkt werden.

BERGERO *et al.* (2005) und BERGERO (2005) befassten sich ebenfalls mit dem Thema der Leistungsabforderung während Ausdauerleistungen (Distanzritten). Die Langzeitbelastung hatte einen signifikanten Einfluss auf den Aminosäurenpool im Blut (PFAA) der Tiere. Es wurde davon ausgegangen, dass ab bestimmten Zeitpunkten, wenn die Belastung sehr stark wurde, die Aminosäuren energetisch genutzt wurden. Der Frage der Verschwindensrate bestimmter Aminosäuren aus dem Blut in Verbindung mit der Ermüdung sollte untersucht werden.

Beim Menschen wurde dieser Zusammenhang vorher nachgewiesen, beim Pferd stand ein entsprechender Nachweis noch aus. Beim Menschen zögerte das Vorhandensein von BCAA im Blut eine Ermüdung heraus, Tryptophan stieg im Blut an und unterstützte damit Ermüdungserscheinungen. Im Versuch mit Pferden war kein Bezug zur Aminosäureaufnahme aus der Fütterung möglich, dieser konnte einen starken Einfluss auf die Basiswerte vor dem Start der Belastung gehabt haben. Während der Langzeitbelastung stieg der AS-Gehalt im Blut an, mit weiterem zeitlichem Verlauf nahm der Gehalt wieder ab. Dieser Abbau startete ab einer Streckenlänge von über 17 km. Im Versuch dienten Aminosäuren als Transporter für Ammoniak zur Entgiftung der Muskelzellen und als Energiequelle. Es wurde geschlussfolgert, dass Aminosäuren über Zusatzfutter vor dem Start gegeben werden können, um einem Proteinabbau entgegenzuwirken. Weiterer Forschungsbedarf zur Aminosäurelieferung aus den Futtermitteln in der Ration wurde ausgewiesen. Auch eine Entwicklung von besser geeigneten Messmethoden sowie kombinierte Messungen mit weiteren Stoffwechselfparametern bzw. Indikatoren des Proteinstoffwechsels wurden als Möglichkeiten benannt.

WATERMÜLDER (2002) und VERVUERT *et al.* (2005) führten über vier Monate einen Versuch mit zweijährigen Trabern (n=5) mit einer standardisierten Trainingsbelastung auf dem Laufband durch. Dabei sollte die Rolle aller Aminosäuren und besonders das Tryptophan unter einer Trainingsbelastung mit Augenmerk auf den Energiestoffwechsel untersucht werden. Es wurde der Fragestellung nachgegangen, ob verzweigtkettige Aminosäuren (BCAA), wie beim Menschen, die körperliche Leistungsfähigkeit des Pferdes steigern konnten; Leucin wurde als primäre Quelle der oxidativen Energiebereitstellung angegeben. Als mögliche Gründe für Anstiege der PFAA unter Belastung wurden (1.) eine vermehrte Freisetzung aus der Muskulatur, (2.) eine verlangsamte Aufnahme durch die Leber und (3.) ein Rückgang der gesamten Plasmamenge im Blutkreislauf der Tiere selbst genannt. Die BCAA-Gehalte stiegen im Versuch unter der Belastung zunächst deutlich an, dies wurde mit einer möglichen Energielieferung für die Muskulatur begründet, denn die BCAA waren bezüglich einer Energielieferung, nach den Autoren, der der Glukose gleichzusetzen. Aus einem Mol BCAA konnten 30 bis 40 Mol ATP entstehen, im Vergleich lieferte ein Mol Glucose 36 Mol ATP. Bei dieser Nutzung zur Energielieferung entstand allerdings zwangsläufig Ammoniak, welcher zusätzlich im Stoffwechsel abgebaut werden musste.

Der Gehalt an Tryptophan, welches über Nasen-Schlund-Sonde in Höhe von 50 g pro Tag verabreicht wurde, stieg im Plasma der Tiere an. Effekte der Belastung auf Plasmagehalte an Tryptophan wurden im Gegensatz dazu während der Leistungs-

abforderungen nicht gemessen. Damit konnte ein erwarteter Effekt des Tryptophans auf eine Ermüdung bei den Tieren nicht nachgewiesen werden. Während der Trainingsbelastung über vier Monate wurden keine Effekte auf den PFAA-Status beobachtet. Die Tiere im Versuch hatten erst ein mittleres Alter von zwei Jahren. Es wurde kein Bezug zum noch nicht abgeschlossenen Wachstum und dem Aminosäurebedarf der Tiere für dieses hergestellt. Der Aminosäurebedarf für das Wachstum konnte die Effekte der Behandlung verschleiert haben.

BALLARD und TOMAS (1983) arbeiteten im Humanbereich speziell am Indikator für Muskelproteinturnover, dem 3-Methyl-Histidin (3-MH). Die Autoren gaben an, dass Actin und Myosin 65 % des Muskelproteins beim Menschen ausmachten. Bezogen auf den gesamten Körper waren damit anhand dieses Indikators 30 bis 35 % des gesamten Proteinpools auf den Actin- und Myosinstoffwechsel zurückzuführen. Aus diesem Zusammenhang schlussfolgerten sie, dass mit dem Indikator bis zu einem Drittel des Proteinturnover des Gesamtkörpers beurteilt werden konnte. Die Vorteile der Nutzung des 3-MH als Indikator waren dabei: (1.) Die Verbindung kam nur in Muskelprotein vor (mehr als 90 % aus dem Muskelgewebe). Davon entstammten 80% aus Actin und 20% aus Myosin und konnte folglich hauptsächlich dem Actinabbau zugeschrieben werden. (2.) Nach der Freisetzung während des Muskelproteinabbaus fand keine Neusynthese im Organismus statt. (3.) Die in Blut und Harn messbaren Werte im Zeitverlauf konnten nicht verfälscht werden, da keine Neusynthese des 3-MH stattfand. Die Indikatorverbindung wurde vollständig und schnell über diesen Weg (Blut-Nieren-Harn) ausgeschleust. Dabei war (4.) die Methodik der Nutzung dieses Indikators nicht invasiv, wenn Urinproben gesammelt werden konnten. Damit konnten auf diesem Wege qualitativ und quantitativ Proben in großer Anzahl gewonnen werden.

Die Forschungsgruppe BATES *et al.* (1983) arbeitete mit Ratten, um die Nutzung dieses Muskelindikators weiter zu erforschen. Die Autoren schlussfolgerten, dass 3-MH bei den Tieren gut geeignet war für die Messung des Actinstoffwechsels. Über die in einem Versuchsteil markierten und verfütterten Aminosäuren Tyrosin und Methionin konnten Aussagen zu den Geschwindigkeiten der Proteinstoffwechselfvorgänge gemacht werden. Der 3-MH-Stoffwechsel war langsamer bzw. geringer und lag nur bei 36 bis 51 % im Vergleich zum Protein- bzw. Aminosäurestoffwechsel im Muskel selbst. Dieser Zusammenhang folgte aus dem langsamen gemessenen Turnover des Actins im Vergleich zum Myosin und den weiteren Aminosäuren des Muskels. Zwei weitere Erkenntnisse bezüglich des Wachstums der Tiere waren: (1.) Während des Muskelwachstums war der Actinstoffwechsel bzw. die Actinsyntheserate sensitiv in Bezug zur AS-Aufnahme aus der Nahrung der Tiere.

(2.) Intensives Wachstum eines Tieres selbst konnte Effekte des Actin bzw. 3-MH-Stoffwechsels maskieren, weil diese langsamer abliefen als der Proteinturnover bzw. die Proteinsynthese im Muskel allgemein. Diese Nachweise wurden von der Forschergruppe bei Laborkaninchen in einem weiteren Versuch zu dem Thema erbracht. Zusammenhänge mit der Methylierung des Histidins aus dem Muskel selbst, folgernd in den hohen Histidinmengen im Blut, wurden genannt, aber nicht kommentiert.

Das 3-MH war aus den beschriebenen Gründen ein gut geeigneter Marker für die Messung eines erhöhten Muskelproteinabbaus, welcher durch Training oder auch durch unphysiologische Proteinfütterung entstehen konnte (YOUNG *et al.*, 1971; GALLAGHER *et al.*, 1992; TRAPPE *et al.*, 2003; ALMEIDA *et al.*, 2008). Bei Tieren zur Fleischproduktion im Nutztierbereich wurde das 3-MH im Blut auch als Marker für den Muskelfleischanteil genutzt. Das 3-MH korrelierte dabei negativ mit einer Lysin-fütterung, demnach war durch einen Einsatz von Lysin in der Fütterung die 3-MH Menge herabgesetzt und Muskelprotein wurde besser synthetisiert bzw. in geringerem Maße abgebaut.

Bezüglich der Nutzung dieses Indikators beim Menschen und bei Labor- oder Nutztieren müssten auch adulte Pferde mit einer besseren Aminosäurenbalance weniger 3-MH im Blut aufweisen und damit einen geringeren Muskelproteinturnover und ein besseres Muskelproteinhaltevermögen, vor allem im Actin-Myosin-Stoffwechsel, aufweisen. In den Versuchen von GRAHAM-THIERS und KRONFELD (2005), mit adulten Pferden, wurden die größten Mengen an 3-MH beim Abbau von Muskelprotein im Actin-Myosin-Stoffwechsel analysiert.

Untersuchungen zum Muskelproteinturnover bei wachsenden Pferden mithilfe dieses Indikators wurden bis dato nur in geringem Umfang durchgeführt. In einem Versuch mit Junghengsten unter beginnendem Training wurden vergleichbare Ergebnisse zu einem verbesserten Proteinhaltevermögen durch eine Optimierung der Aminosäurebedarfsdeckung über die Tagesration nachgewiesen (KOSLOWSKI und LIEBERT, 2009).



### 3 Ableitung des Untersuchungszieles

Zielstellung der vorliegenden Arbeit war es, in Anlehnung an die oben genannten Untersuchungen den Einfluss einer qualitativ verbesserten Protein- und Aminosäurenversorgung auf Wachstums-, Gewebe- und Proteinstoffwechselfparameter beim wachsenden Pferd zu prüfen. Durch die Nutzung des Idealproteinkonzeptes Pferd für die Erstellung der Rationen sollte der Einfluss der Aminosäurenversorgung auf das Wachstum von Hengsten ab dem Jährlingsalter untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden eine Kontrollgruppe mit einer Standardration und eine Supplementgruppe mit einer gemäß Idealproteinkonzept optimierten Ration unter Institutsbedingungen gehalten. Die vorliegende Arbeit und der durchgeführte Langzeitversuch stützten sich weitestgehend auf zwei Arbeiten der Arbeitsgruppe GRAHAM *et al.* (1994; 2005), in denen die Idealproteinversorgung in der Aufzucht und bei adulten Pferden untersucht wurden. In der Arbeit aus dem Jahr 1994 wurde das Wachstum von Jährlingen in einem Zeitraum von 112 Tagen untersucht. Die Tiere in diesem Versuch zeigten durch die qualitativ verbesserte Proteinversorgung höhere tägliche Zunahmen und erreichten auch höhere Werte in der Körperumfangszunahme. Damit konnte nachgewiesen werden, dass die Jährlinge in dem Versuch schneller wuchsen und auch insgesamt einen höheren Lebendmassenzuwachs zeigten. Dabei war keine höhere Fettzunahme zu verzeichnen. Daraus schlussfolgerten die Autoren, dass diese Zunahmen direkt mit einer Zunahme an Muskelmasse in Verbindung stehen mussten. Im Versuch der genannten Arbeitsgruppe aus dem Jahr 2005 wurden adulte Pferde untersucht. Diesen Tieren wurden verschiedene proteinoptimierte Rationen gefüttert. Zwei der untersuchten Blutparameter, der Blutharnstoff und 3-Methyl-Histidin, gingen bei den adulten Pferden zurück. Aus diesen Ergebnissen wurde geschlussfolgert, dass auch adulte Pferde, bei einer Verabreichung einer optimierten Aminosäurendiät, die gebildete Muskelmasse besser fixieren konnten und der Organismus insgesamt weniger Aufwendungen für eine Ausschleusung von Ammoniak bzw. Harnstoff zu erbringen hatte.

Im Langzeitversuch sollte untersucht werden, ob derartige Ergebnisse auch bei wachsenden Pferden der Rasse Deutsches Sportpferd eintreten können. Analog zu den genannten Versuchen sollten im Gruppenvergleich verschiedene Wachstumsparameter sowie die physiologischen Aminosäuremengen (PFAA) in Abhängigkeit von der Fütterung im Blut der Versuchstiere bestimmt werden. Anhand der genannten Versuchsparameter wurden positive Effekte der Aminosäurenoptimierung im Sinne des Idealproteinkonzeptes im Vergleich der Gruppen erwartet.

### 4 Tiere, Material und Methoden

Das genutzte Tiermaterial und alle angewendeten Methoden bezüglich der Tierhaltung, der Erstellung der Versuchsrationen, der Optimierung dieser, der Messung der Wachstumsparameter und der Analyse der Proteinstoffwechselparameter wurden in diesem Kapitel dargestellt.

#### 4.1 Versuchsort und Zeitraum

Der Wachstumsversuch wurde in den Stallungen der Tierernährungsphysiologie der Georg-August-Universität Göttingen, Kellnerweg 6, 37077 Göttingen durchgeführt. Für diesen Standort wurde eine mittlere Luftfeuchte von 77,3 %, eine Jahresdurchschnittstemperatur von 8,7°C und eine Niederschlagsmenge in Höhe von 644,9 mm pro m<sup>2</sup> angegeben (Wetterstation Göttingen). Der Versuch erstreckte sich insgesamt über 72 Wochen zwischen dem 09.02.2011 und dem 27.06.2012.

#### 4.2 Tiermaterial und Tierhaltung

Für den Versuch standen zwölf Hengstfohlen der Rasse Deutsches Sportpferd (DSP) zur Verfügung. Das Alter der Tiere betrug beim Einstellen durchschnittlich 328 Tage  $\pm$  27 Tage (10,7 Monate). Die durchschnittliche Lebendmasse der Tiere betrug 328 kg  $\pm$  23 kg und die durchschnittliche Widerristhöhe lag bei 149  $\pm$  2 cm. Um einen Gruppenvergleich zu ermöglichen, wurden die Tiere bei Einstallung in zwei Gruppen zu sechs Individuen aufgeteilt. Diese Gruppen wurden im Weiteren als Kontrollgruppe (C) und Supplementgruppe (S) bezeichnet (Tabelle 4). Ziel bei der Gruppenbildung war, vergleichbare durchschnittliche Widerristhöhen, Lebendmassen und Alter der Tiere mit möglichst geringer Standardabweichung zu generieren, so dass im Versuchsablauf die Betrachtung dieser Parameter unabhängig von Einflüssen vor Versuchsbeginn möglich war.

Eine Beziehung bzw. Gruppenstruktur zwischen den Tieren, welche in der Haltung vor Versuchsbeginn entstanden war, wurde bei Einstallung berücksichtigt, um mögliche neue Rangkämpfe zu vermeiden. Bei Einstallung waren alle Versuchstiere klinisch unauffällig, die Tiere beider Gruppen unterlagen regelmäßiger tierärztlicher Kontrolle. Sie wurden ordnungsgemäß grundimmunisiert und in den ersten Wochen entwurmt. Bedingt durch die Gruppenhaltung und die Vitalität der Tiere traten kleinere mechanische Verletzungen auf, die ohne Separierung eines Einzeltieres von der Gruppe behandelt werden konnten. Die Hufe der Jungtiere wurden regelmäßig von einem Hufschmied begutachtet, die Stellung korrigiert und berundet.

Tabelle 4: Alter, Lebendmasse u. Widerristhöhe Versuchstiere beim Einstallen

Gruppe	Alter beim Einstallen (d)	Lebendmasse beim Einstallen (kg)	Widerristhöhe beim Einstallen (cm)
<b>Supplement</b>			
Tier Nr. 1	370	347	150
Tier Nr. 2	347	331	152
Tier Nr. 3	276	329	147
Tier Nr. 4	337	320	148
Tier Nr. 5	321	314	148
Tier Nr. 6	309	305	147
<b>MW + SD</b>	<b>327 ± 33</b>	<b>324 ± 15</b>	<b>149 ± 2</b>
<b>Kontrolle</b>			
Tier Nr. 7	313	382	152
Tier Nr. 8	321	357	151
Tier Nr. 9	342	325	150
Tier Nr. 10	295	311	148
Tier Nr. 11	344	314	149
Tier Nr. 12	358	304	150
<b>MW±SD</b>	<b>329 ± 23</b>	<b>332 ± 31</b>	<b>150 ± 1</b>

Für jede Gruppe stand im jeweiligen Laufstall ein Bereich von 43 m<sup>2</sup> zur Verfügung. Die Versuchstierhaltung wurde durch das niedersächsische Amt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES), dem Amtstierarzt und dem Tierschutzbeauftragten der Fakultät für Agrarwissenschaften vor Versuchbeginn geprüft und genehmigt.

Die Temperatur in den Stallungen folgte dem Außenklima. Bei Frostgefahr wurde die Stalltemperatur durch Heizung geregelt, um sicherzustellen, dass die Temperatur nicht unter 0°C fallen konnte. In den Sommermonaten, und abhängig von der Luftfeuchtigkeit, kam zeitweise eine Zwangsbelüftung des Stalles über Ventilatoren zum Einsatz. In den Sommermonaten sowie bei Bodenfrost gingen die Tiere täglich etwa 5 Stunden als Gruppe in den Auslauf. Dafür stand ein etwa 1800 m<sup>2</sup> großer Paddock am Hang pro Gruppe zur Verfügung (300 m<sup>2</sup> pro Tier). Bei ungünstigen und nassen Witterungsverhältnissen bewegten sich die Tiere mindestens 2 Stunden pro Tag auf einer 575 m<sup>2</sup> großen asphaltierten Fläche (95 m<sup>2</sup> pro Tier). Die Ortswechsel der Tiere wurden über Triebwege geregelt.

Zur Wasserversorgung *ad libitum* war in jedem der zwei Laufställe eine Selbsttränke installiert, auf der Hoffläche und in dem jeweiligen Paddock wurden offene Wasserbehälter zur freien Wasseraufnahme bereitgestellt. Zur Versorgung mit Salz war in jedem Laufstall ein Salzleckstein angebracht, den die Tiere je nach Bedarf nutzen konnten.

An jedem Morgen des Versuchszeitraums wurde der Laufstall gereinigt und mit etwa 60 kg Stroh (Weizen und Gerstenstroh) eingestreut. Das Stroh diente damit als Einstreumaterial der Liegefläche, welche gern genutzt wurde, aber auch als Beschäftigung bzw. Ausgleich des Raufutterbedarfs der Tiere. Eine vollständige Entmistung mit folgender Neueinstreu der Laufställe erfolgte wöchentlich.

### 4.3 Rationsgestaltung und Fütterung

Die Nährstoffgehalte wurden mittels Weender Rohnährstoffanalyse nach den Standardmethoden des VDLUFA (NAUMANN und BASSLER 1976 bis 1997) ermittelt. Die Bestimmung der Stickstoffgehalte in den Futtermitteln erfolgte nach der Methode Dumas. Für die Aminosäureanalytik nach VDLUFA wurde der Aminosäuren-Analysator Biochrom 30 (Biochrom, Cambridge, UK) genutzt. Dieses Gerät arbeitete mit der Methode Ionenaustauschchromatographie.

Zusätzlich wurde in ausgewählten Futtermitteln gemäß der Methode von LICITRA *et al.* (1996) die Neutrale Detergenzienfaser (NDF) mit dem Verfahren nach GOERING und VAN SOEST (1970) sowie das an die NDF gebundene Protein nach Kjeldahl bestimmt, um die dünn darmverdaulichen Anteile (pcvXP) des gesamten Rohprotein (XP) berechnen zu können. Neben der grundlegenden Betrachtung des XP konnten damit auch das verdauliche Rohprotein (DXP) und das potentiell *praececal* verdauliche Rohprotein (pcvXP) in den Futtermitteln ermittelt und betrachtet werden.

Aus der Differenz von XP und NDF gebundenem XP ergab sich das pcvXP in den Futtermitteln. Diese Vorgehensweise beruhte auf der Annahme, dass das Protein, welches nicht an die NDF gebunden ist, zu 90% *praececal* verdaulich war (ZEYNER *et al.* 2010). Nach REBOLÉ *et al.* (2001) und TEDESCHI *et al.* (2001) waren die Aminosäurenverhältnisse in den Fraktionen des NDF gebundenen Rohproteins mit denen aus dem nicht gebundenen vergleichbar.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wurde der Anteil an potentiell *praececal* verdaulichen Aminosäuren analog zum pcvXP berechnet (ZEYNER *et al.*, 2010):

$$\text{pcvXP (g/kg TS)} = (\text{XP} - \text{NDF}_{\text{XP}}) * 0,9$$

$$\text{pcvAS (g/kg TS)} = (\text{AS} - \text{NDF}_{\text{AS}}) * 0,9$$

Die Berechnung des DXP aus dem Gehalt an XP im Futter (in g pro kg TS) erfolgte nach ZEYNER und KIENZLE (2002) mit folgender Gleichung:

$$\text{DXP (g/kg TS)} = -27,2 + 0,917 * \text{XP}$$

Da nicht bei jedem Futterwechsel eine Analyse nach GOERING und VAN SOEST (1970) erfolgen konnte, wurde die Annahme getroffen, dass vergleichbare Futtermittel die gleichen Verhältnisse an pcvXP bzw. DXP am XP sowie an den pcvAS bzw. verdaulichen AS an den Gesamt-AS aufwiesen.

Auf diesem Zusammenhang beruhend sind die Gehalte in den entsprechenden Futtermittelchargen geschätzt worden (Tabelle 5). Für kristalline Aminosäuren wurde eine Verdaulichkeit von 100 % angenommen. Die Schätzung der Gehalte an pcvXP, DXP, pcvAS und DAS in den Rationen erfolgte durch eine Summierung der Gehalte aus den Komponenten und Futtermitteln in der Ration (additiv).

**Tabelle 5: Annahmen zur Verdaulichkeit des Proteins beschrieben als pcvXP sowie pcvAS und verdaulichem Rohprotein (DXP) u. verdaulichen Aminosäuren (DAS) der eingesetzten Futtermittel und Komponenten (eigene Berechnung und DLG, 1998)**

Futtermittel	pcvXP bzw. pcvAS (%)	DXP bzw. DAS (%)
Heu	47	63
Stroh	28	28
Hafer	78	79
Gerste	72	79
Apfeltrester	-	49
Apfeltrester entpektiniert	44	-
Kartoffelprotein	90	87
Sojaextraktionsschrot	86	91

- keine Angabe

Die Ermittlung des Energiegehalts in den Tagesrationen erfolgte mit Hilfe der folgenden Gleichungen. Für die Berechnung dienten analytisch bestimmte Rohnährstofffraktionen oder Tabellenwerte:

$$\text{DE (MJ/kg TS)} = -3,54 + 0,209 * (\text{XP}) + 0,42 * (\text{XL}) + 0,001 * (\text{XF}) + 0,185 * (\text{NFE})$$

(ZEYNER und KIENZLE 2002 in einer Modifikation, nach GFE, 2003)

$$\text{ME (MJ/kg TS)} = -3,54 + 0,129 * (\text{XP}) + 0,42 * (\text{XL}) - 0,019 * (\text{XF}) + 0,185 * (\text{NFE})$$

(KIENZLE und ZEYNER, 2010)

### 4.3.1 Bestimmung Trockensubstanzaufnahme im Versuch

Da für die Aufzucht von Pferden die Gruppenhaltung empfohlen wurde, musste diese auch im durchgeführten Versuch angewendet werden. Ein Problem stellte diese Haltungsform bezüglich der Raufutteraufnahme dar, denn diese war in einer Tiergruppe nicht individuell bestimmbar. Deshalb sollte anhand der n-Alkan Doppelmarkermethodik die tägliche Trockensubstanzaufnahme der Einzeltiere in der Gruppe geschätzt werden. Ein Nachteil der Methode war, dass die Analytik und damit die Auswertung Zeit brauchten und erst nachträglich Ergebnisse liefern konnten.

Für die Verabreichung der Markersubstanz des externen Markers Hexatriacontane (C36) (Sigma-Aldrich) mussten zunächst *Boli* hergestellt werden, welche dann frei von den Tieren aufgenommen wurden. Das n-Alkan C36 (Sigma-Aldrich) wurde zum Zwecke einer genauen Einwaage vor der Bearbeitung mit einer Kugelmühle für 30 Sekunden vermahlen. Nach diesem Vermahlen fand die Einwaage in Minibechergläser auf einer geeichten Waage in Höhe von 120 mg pro *Bolus* statt. Als Trägersubstanz für den Marker wurde eine Mischung aus Maisschrot, *gummi arabicum* und warmem Wasser verwendet. Diese Trägermischung wurde im Verhältnis 1,5 / 1 / 1 angerührt. Für die Herstellung des eigentlichen *Bolus* wurden ca. 2 g dieser Mischung in das Minibecherglas mit dem eingewogenen n-Alkan gegeben und solange vermischt, bis sich das n-Alkan vollständig an die Trägersubstanz gebunden hatte. Dieses Gemisch wurde im nächsten Schritt in Blister abgefüllt. Diese Blister mit den *Boli* wurden danach bei 50 °C, bis zum Erreichen der Gewichtskonstanz und der vollständigen Aushärtung der *Boli*, im Trockenschrank getrocknet.

Diese konnten dann nach Bedarf aus dem Blister entnommen werden, um sie den Tieren, gemäß dem Versuchsplan, in den Sammelphasen zu verabreichen. Mittels dieser Art der Herstellung und der eingesetzten Komponenten wurde sichergestellt, dass die Tiere die *Boli* selbstständig mit dem Futter aufnehmen, da eine Zwangsfütterung des Markers nicht in Betracht gezogen werden konnte.

Die Markerfütterung und die Kotsammlung fanden in Sammelphasen wie in einem Verdauungsversuch beim Pferd statt. Jede der insgesamt 8 Phasen zur Bestimmung der Trockensubstanzaufnahme im Gesamtversuch (Tabelle 6) bestand aus einer Vorperiode, welche 3,5 Tage durchgeführt wurde (ohne Kotsammlung), und einer Hauptperiode, welche 5 Tage andauerte. In der Hauptperiode wurden die Kotproben für die Auswertung gesammelt. Die Gruppen wurden, gemäß den Terminen, immer im Wechsel für die Untersuchung eingesetzt.

Das Fütterungsregime, die Fütterungszeiten sowie die Fütterungszeiträume der *Boli* wurden innerhalb des gesamten Zeitraumes nicht verändert. Die *Boli* wurden alle 12 Stunden gefüttert. Dies erfolgte gemäß einer festen Frequenz, morgens 7 Uhr mit dem Krafftutter bzw. Ergänzter und abends 19 Uhr. Bei der Abendfütterung wurde der *Bolus* mit einer Menge von 50 g Hafer, welcher von der Gesamtmenge der Tagesration an Hafer abgezogen wurde, verabreicht. Während der Fütterungszeiten waren die Tiere an ihrem Fressplatz fixiert, bei jedem Einzeltier wurde darauf geachtet, dass der *Bolus* sicher aufgenommen wurde.

**Tabelle 6:      Sammelphasen zur Bestimmung der TS-Aufnahme der Tiere während des Versuchs**

Termin	Gruppe	Termin	Gruppe
03/2011 - KW 11	S	11/2011 - KW 45	S
05/2011 - KW 18	C	01/2012 - KW 02	C
07/2011 - KW 28	S	03/2012 - KW 11	S
09/2011 - KW 36	C	05/2012 - KW 21	C

Die Sammlung der Kotproben erfolgte in den Phasen morgens ab 7:30 Uhr direkt nach der Krafftutterfütterung, wobei der Kot unmittelbar nach dem freiwilligen Absetzen von den Tieren vom Boden eingesammelt wurde. In der Sammelperiode wurden pro Tier und Tag 150 g FS von der abgesetzten Kotmenge eingewogen. Diese Probe wurde unmittelbar nach der Sammlung eingefroren, um eine weitere bakterielle Fermentation oder Trocknungs- bzw. Ammoniakverluste zu vermeiden. Nach 5 Tagen der Sammelperiode standen somit pro Tier 750 g FS an Probenmaterial zur Verfügung. Diese Mischprobe wurde im nächsten Schritt mittels Gefriertrocknung (Christ Alpha 1–4) bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die eigentliche Homogenisierung dieses *Aliquotes*, des Einzeltieres je Sammelphase, erfolgte nach dem Vermahlen der Probe. Für die Rohrnährstoffanalytik wurde das Probenmaterial aus Futter- und Kotproben auf 1 mm Siebdurchgang vermahlen. Für die Aminosäureanalytik und n-Alkan-Bestimmung wurden die Proben auf 0,5 mm Siebdurchgang vermahlen.

Nach der Vorbereitung der Proben konnte nun der n-Alkan-Gehalt bestimmt werden. Der n-Alkan-Gehalt der Futter- und Kotproben wurde an der Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg (Nutztierwissenschaftliches Zentrum Merbitz) in Anlehnung an ELWERT (2004) ermittelt. Den Proben wurden als Standard zwei Alkane zugeführt, welche bei der gaschromatographischen Analyse zur Bestimmung der Retenzionszeiten und der geräteinternen Diskriminanz als Standard dienen sollten.

Anschließend wurden die Proben mit Kaliumhydroxid und Ethanol verseift und mit n-Heptan extrahiert. Die extrahierte Lösung wurde verdampft und in Kieselgelsäulen gereinigt. Die Analyse der aufgeschlossenen Proben erfolgte mittels Gaschromatographie mit dem Gerät Shimadzu GC 2010 mit einer automatischen Probenzuführung. Dabei war die Temperatur der (on-Column-) Injektionseinheit programmierbar, was bedeutet, dass eine Ausfällung der n-Alkane durch Abkühlen vor der Injektion verhindert wurde. Als Trägergas wurde Helium eingesetzt.

Anhand der Analysenergebnisse konnte nun die Schätzung der Trockensubstanzaufnahme erfolgen. Die unbekannte Höhe der Trockensubstanzaufnahme wurde nach DOVE und MAYES (1996), mittels der Doppelmarkertechnik, mit folgender Formel bestimmt:

$$FA = \frac{C_j \cdot \frac{K_i}{K_j}}{F_i - \left( \frac{K_i}{K_j} \cdot F_j \right)}$$

Wobei: FA = Futtermittelaufnahme (kg/d)

C<sub>j</sub> = mg externer Marker (C36) / Tier / Tag

K = Konzentration des Markers im Kot (mg/kg)

F = Konzentration des Markers im Futter (mg/kg)

j, i = externer, interner Marker.

Dabei wurde gemäß der dargestellten Formel die Konzentration des internen Markers im Futter und im Kot ins Verhältnis zum externen Marker im Futter und im Kot gesetzt. Da die aufgenommene Ration im Vergleich zur Aufnahme von Weidegras bei weidenden Tieren sehr inhomogen war - es wurden Heu, Stroh und Kraftfutter aufgenommen - mussten zur Berechnung Korrekturen bezüglich der Gehalte an internen n-Alkanen (aus den Futtermitteln) vorgenommen werden. Diese Vorgehensweise war darin begründet, dass in die Formel nur ein Gehaltswert für die n-Alkan-Aufnahme als interner Marker eingehen konnte. Eine Verdünnung beziehungsweise Erhöhung des n-Alkan-Gehalts der Gesamtration, vor allem aus dem Stroh, wurde befürchtet. Für die Bestimmung der Trockensubstanzaufnahme wurden zunächst nur die Futter- und Kotproben aus den Sammelphasen 1 bis 3 auf ihren n-Alkan-Gehalt untersucht.



Die Ergebnisse aus den weiteren Sammelphasen standen noch aus, daher mussten die TS-Aufnahmen ab August 2011 aus der Tagesvorlage an Futter in der gesamten Gruppe geschätzt werden. Zu diesem Zweck wurde für den weiteren Versuchszeitraum die Raufutteraufnahme des Einzeltiers pro Gruppe unter der Annahme geschätzt, dass alle sechs Tiere pro Gruppe etwa die gleiche Menge an Heu und Stroh zu sich nahmen. Dabei war sichergestellt, dass die Tiere die gesamte eingewogene und vorgelegte Heumenge pro Gruppe vollständig aufnahmen. Die tägliche Aufnahme an Stroh pro Tier musste damit ab August 2011 auf 2,9 kg FS pro Tag gemittelt werden. Im nächsten Schritt konnte jeweils anhand der Ergebnisse der Rohnährstoffanalysen die Energie- und Nährstoffaufnahme der Einzeltiere gemäß den Bedarfsempfehlungen und weiterer Orientierungswerte zur Aminosäureversorgung über das Kraffutter (Hafer und Ergänzungsfutter) eingestellt werden.

#### **4.3.2 Versuchsrationen**

Ausgehend von einer mittleren Endmasse der Versuchstiere von 600 bis 700 kg wurden die Rationen der Tiere gruppenweise, altersabhängig und rassespezifisch für Warmblutpferde gemäß Versorgungsempfehlungen für die Energieaufnahme (DE), die Rohproteinaufnahme (XP) und den verdaulichen Rohprotein (DXP) erstellt. Die Versorgungsempfehlungen des NRC (2007) und der GFE (1994) wurden dafür von Versuchsbeginn bis zum 27.12.2011 als Grundlage herangezogen (Tabellen 5 u. 7).

**Tabelle 7: Versorgungsempfehlungen als Grundlage für die Rationsgestaltung (NRC, 2007; GFE, 1994 und 2014)**

<b>Alter der Tiere</b>	<b>13 – 18 Monate</b>	<b>19 – 24 Monate</b>
Quelle	NRC (2007); GFE (1994)	GFE (1994; 2014)
TS (kg/d)	10 – 12	10
DE (MJ/d)	77 – 92	79 – 96
ME (MJ/d)	*	66,3 – 79,5
XP (g/d)	800 – 1200	620 – 959
pcvXP (g/d)	*	383
DXP (g/d)	500 – 600	505 – 584
Lysin (g/d)	43,6	39,7 – 41,2

\*keine Angabe

Ab dem 28.12.2011 wurden für die Optimierung der Rationen zusätzlich Angaben aus den unveröffentlichten neuen Versorgungsempfehlungen Pferd der GFE genutzt (GFE, 2014). Die Werte ermöglichten eine Optimierung der Rationen nach umsetzbarer Energie (ME) sowie potentiell *praecaecal* verdaulichem Rohprotein (pcvXP) ab dem Versuchsabschnitt 6, im Alter von 19 bis 24 Monaten.

Die Anteile an verdaulichen Aminosäuren (DAS) und pcvAS wurden aus der Relation von DXP und pcvXP zu XP abgeleitet (Tabellen 5 und 7).

Die Einstellung der Lysinmenge in der Tagesration der Supplementgruppe (S) erfolgte nach den Angaben zum Bedarf gemäß NRC (2007). Die Proteinqualität und damit die Relation der unentbehrlichen Aminosäuren zu Lysin wurde gemäß den Angaben zum Muskelprotein nach BRYDEN (1999) und BADIANI *et al.* (1997) angepasst. Für die Darstellung des Aminosäurenmusters aus den Futtermitteln in der Ration wurden die verdaulichen bzw. für den letzten Altersabschnitt, 19 bis 24 Monate Lebensalter, die potentiell *praececal* verdaulichen Aminosäuregehalte genutzt (Tabelle 5).

Alle Tiere erhielten eine Tagesration aus Heu und ganzem Hafer. In der Supplementgruppe (S) wurde ein Teil des Hafers durch ein Ergänzungsfutter ersetzt, welches die Optimierung der Aminosäuremengen ermöglichte. Zu dem Zweck der Bedarfsdeckung der Tiere beider Gruppen und der Optimierung der Aminosäureversorgung in Gruppe S wurden 7 verschiedene Rationen für die einzelnen Versuchsabschnitte berechnet und angeboten (Tabelle 8).

**Tabelle 8: Versuchsabschnitte u. Zeitpunkte Einsatz neue Rationskomponenten**

Versuchsabschnitt	Beginn	Ende	Stroh	Heu	Hafer	Ergänzer	Apfel-trester
VVP*	09.02.2011	07.04.2011	x	x	x		
1	08.04.2011	11.05.2011	x	x	x	(mehrmals)	x
2	12.05.2011	26.07.2011		x		x	x
3	27.07.2011	17.08.2011				x	
4	18.08.2011	24.10.2011	x		x	x	
5	25.10.2011	27.12.2011				x	
6	17.01.2012	11.04.2012		x		x	
7	15.05.2012	27.06.2012	x			x	x

\*VVP=Vorversuchsphase

Die die Versorgung in den Versuchsabschnitten 1 bis 5 basierte auf den Versorgungsempfehlungen für Pferde im Alter von 13 bis 18 Monaten, die Tagesrationen in den Versuchsabschnitten 6 und 7 wurden für Pferde im Alter von 19 bis 24 Monaten konzipiert. Im gesamten Versuchszeitraum erfolgten altersabhängig Anpassungen der Mengen der vorgelegten Futtermittel. Die Bestandteile und Ihre Anteile an der Gesamtration sind in Tabelle 9 und Tabelle 10 dargestellt.

**Tabelle 9: Zusammensetzung der Versuchsrationen im Vergleich der Gruppen Supplement (S) und Kontrolle (C) (in kg FS/Tier und Tag)**

Gruppe	Ration	1	2	3	4	5	6	7
<b>S u. C</b>	Stroh	2,5	3,4	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
	Mineral	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>C</b>	Heu	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	7,60	8,50
	<b>Hafer</b>	<b>1,50</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>0,60</b>	<b>1,30</b>
<b>S</b>	Heu	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	7,60	8,50
	<b>Hafer</b>	<b>1,20</b>	<b>1,50</b>	<b>1,70</b>	<b>1,70</b>	<b>1,50</b>	<b>0,20</b>	<b>0,30</b>
	<b>Ergänzer</b>	<b>0,30</b>	<b>0,50</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,50</b>	<b>0,40</b>	<b>1,00</b>

Die Heufütterung erfolgte gruppenweise täglich um 8 Uhr und um 14.30 Uhr. Etwa ein Drittel der täglich angebotenen Heumenge wurde den Tieren während des Aufenthalts auf dem Paddock bzw. dem Hof in Form von loser Bodenfütterung angeboten.

**Tabelle 10: Zusammensetzung Ergänzungsfutter (Gr. S) je Versuchsabschnitt**

Versuchsabschnitt	Komponenten im Mischfutter (%)							
	VVP	1	2	3	4	5	6	7
<b>Sojaextraktionsschrot</b>	Akzeptanzversuche Proteinträger	50,0						
<b>Kartoffelprotein</b>			35,0	30,0	30,0	30,0	40,0	1,0
<b>Sojaöl</b>			5,0	5,0	5,0	5,0	8,0	5,8
<b>Apfeltrester</b>		40,0						67,5
<b>Apfeltrester (entpektiniert)</b>			25,0	35,0	35,0	35,0	40,0	
<b>Hafer (gequetscht)</b>			35,0	28,6	25,1	28,6	8,8	19,3
<b>Gerste (gequetscht)</b>		10,0						
<b>Apfelmelasse</b>								4,8
<b>L-Lysin HCl (78%)</b>				1,5	1,5	1,5	2,6	1,0
<b>DL-Methionin (99%)</b>							0,6	0,7
<b>L-Histidin (98,5%)</b>						3,5		

Die Fütterung des Kraftfutters (Hafer, Ergänzungsfutter und Mineralergänzungsfutter) fand täglich um 07.30 Uhr und um 14 Uhr statt. Das kommerzielle Mineralergänzungsfutter wurde in Höhe von 50 g pro Tier und Tag mit der morgendlichen Fütterung verabreicht. Der Einsatz sollte eine Unterversorgung mit Mengen- und Spurenelementen sowie Vitaminen ausschließen. Für eine sichere Aufnahme der gesamten Menge des verabreichten Kraftfutters wurde jedes Tier für den Zeitraum bis zum restlosen Verzehr angebunden. Futter welches während des Fressens aus dem jeweiligen Trog fiel, wurde vom Boden gesammelt und dem Tier nochmals bis zum restlosen Verzehr verabreicht.

### 4.4 Wachstumsparmeter

Im Versuchsverlauf wurden verschiedene pferdespezifische Wachstumsparmeter bei den Tieren wiederholt gemessen, um möglichst exakte und sichere Aussagen zum Wachstum und den Einflüssen auf dieses beschreiben zu können. Die angewandten Methoden werden hier dargestellt.

#### 4.4.1 Lebendmasse

Zur Ermittlung der Lebendmasse wurden die Versuchstiere wöchentlich immer am selben Tag und immer zur gleichen Uhrzeit auf die mobile Waage vom Typ BKSB 15000 mit einem Bedienpanel TWI von der Firma Bosche geführt. Vergleichende Tierwägungen sollten immer zur gleichen Tageszeit vorgenommen werden (SCHWARK, 1984). Die Waage wurde vor jedem Messdurchgang pro Woche neu geeicht und für jedes Tier neu austariert, da sie für eine tierfreundlichere Oberflächengestaltung mit Stroh bestreut wurde. Der Bediener der Waage war immer der gleiche, um Messfehler durch unterschiedliche Untersucher auszuschließen. Die auf diese Weise gewonnenen Daten wurde über den gesamten Versuchsablauf gesammelt und für spätere Analysen bereitgestellt. Berechnungen zu täglichen Zunahmen (g/d) sind für die wöchentlichen Wiegungen, für 28 Tage andauernde Versuchsabschnitte sowie für die Zeiträume der eingesetzten Rationen durchgeführt worden:

$$\text{tägliche Zunahme} = (y - x)/z$$

Wobei:  $y$  = LM aktueller Messtermin in kg

$x$  = LM vorheriger Messtermin (je Zeitraum) in kg

$z$  = Anzahl der Tage zwischen den betrachteten Messterminen.

Eine Betrachtung der Wachstumsleistungen im Parameter Lebendmasse für den Gesamtzeitraum des Versuchs mit einer Alterskorrektur erfolgte zusätzlich, um die Ergebnisse im Vergleich mit anderen Rassen bzw. weiteren Wachstumsdaten oder Fütterungs- und Haltungskonzepten aus anderen Versuchen vergleichen zu können. Weiterhin sollten mittels dieses Verfahrens Wachstumsdaten der Tiere mit Daten zur Energie- und Nährstoffaufnahme in Verbindung gebracht werden, um weitere Erkenntnisse zum Idealwachstum der Tiere im betrachteten Zeitraum zu gewinnen.

#### **4.4.2 Widerristhöhe**

Das Stockmaß zur Bestimmung der Widerristhöhe (WRH) bei den Versuchstieren, welches eine gebräuchliche Bestimmungsgröße für die Körpergrößenentwicklung bei Pferden ist, wurde alle 4 Wochen während des Versuchs bestimmt. Dabei wurde die Höhe des Widerrists an der höchsten Stelle mittels eines Messstocks mit integrierter Wasserwaage senkrecht, parallel zum Vorderbein, gemessen. Das jeweilige Tier wurde für die Messung auf ebenem Boden geschlossen (Beine parallel) aufgestellt. Als Untergrund diente bei allen Messungen der ebene Boden des Untersuchungsraums. Ziele dieser Messungen waren Ableitungen zum Körpergrößenwachstum der Tiere im Versuch allgemein und im Vergleich der Gruppen bezüglich der optimierten Ration. Die Messungen wurden immer von derselben Person durchgeführt. Die Messtermine sind in Tabelle 11 dargestellt.

Berechnungen des Lebensstagswachstums (LTW) im Parameter der Widerristhöhe (WRH) in cm sind für Alterszeiträume gemäß den Optimierungsphasen und für die Zeiträume der eingesetzten Rationen durchgeführt worden:

$$\text{LTW} = (y - x)/z$$

Wobei:            y = WRH beim aktuellen Messtermin in cm

                      x = WRH vorheriger Messtermin (Zeitraum) in cm

                      z = Anzahl der Tage zwischen den betrachteten Messterminen

Eine Betrachtung der Wachstumsleistungen im Parameter Widerristhöhe für den Gesamtzeitraum des Versuchs mit einer Alterskorrektur erfolgte zusätzlich, um die Ergebnisse im Vergleich mit anderen Rassen bzw. weiteren Wachstumsdaten aus anderen Versuchen vergleichen zu können.

**Tabelle 11:    Messtermine zur Bestimmung der Widerristhöhe im Versuch**

Datum	Datum
<b>16.02.11</b>	<b>28.09.11</b>
<b>16.03.11</b>	<b>16.11.11</b>
<b>13.04.11</b>	<b>14.12.11</b>
<b>11.05.11</b>	<b>11.01.12</b>
<b>08.06.11</b>	<b>29.02.12</b>
<b>06.07.11</b>	<b>11.04.12</b>
<b>03.08.11</b>	<b>16.05.12</b>
<b>31.08.11</b>	<b>13.06.12</b>

Weiterhin sollten mittels dieses Verfahrens Wachstumsdaten der Tiere mit Daten zur Energie- und Nährstoffaufnahme in Verbindung gebracht werden um neue Erkenntnisse zum Idealwachstum der Tiere im betrachteten Zeitraum zu gewinnen.

### 4.4.3 Körperlänge, Unterarmlänge und Unterarmumfang

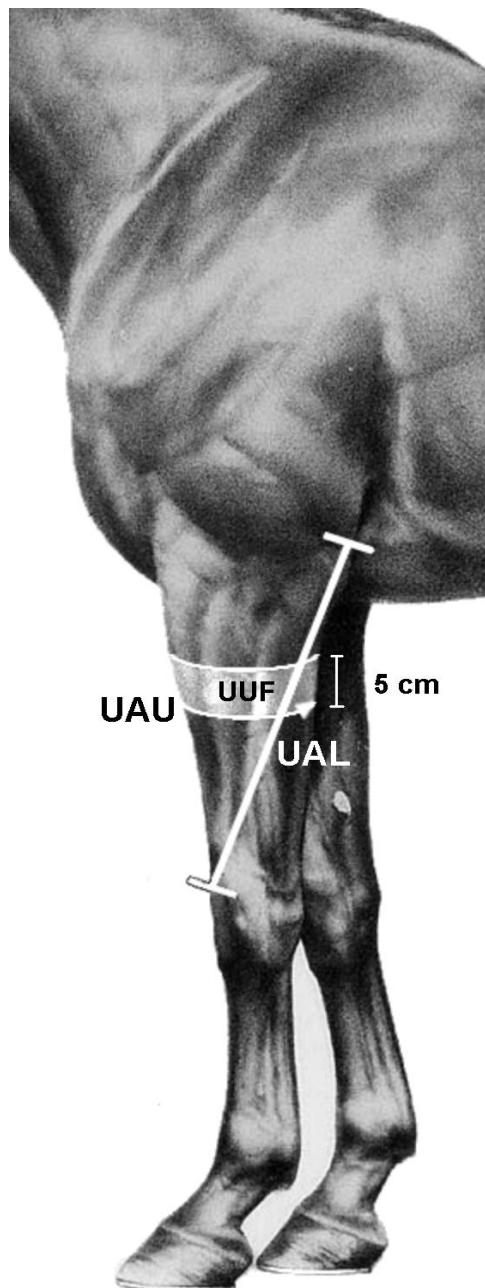
Die Körperlänge wurde im Versuchsablauf mehrmals im Rahmen der Messung der Impedanzanalyse (BIA) bestimmt. Hierfür wurden zunächst alle Tiere an ihrem jeweiligen Fressplatz fixiert. Bei der Aufstellung des Tieres bzw. direkt vor der Messung wurde darauf geachtet, dass das jeweilige Tier gerade und voll auf Fuß stand und die Beine parallel waren. Die Körperlänge wurde als Abstand von der Bugspitze zum Sitzbeinhöcker gemessen und hing von den auf dieser Messstrecke liegenden Körperpartien ab. Diese waren bestimmt durch die Ausdehnung der Schulter, Länge der Wirbelsäule selbst sowie Größe und der Ausdehnung des Beckens. Die Tiere sollten auch keine Wölbung in der Längslinie der Wirbelsäule aufweisen, was den Messwert verfälscht hätte.

Die Messung erfolgte immer mit zwei Personen auf der linken Seite des jeweiligen Tieres. Eine Person stand auf Schulterhöhe des Pferdes und platzierte ein Maßband (2 Meter Länge, Einheit 1 mm) an der Bugspitze (Buggelenk) des Tieres, die zweite Person befand sich auf Höhe der Hinterhand, um das Maßband am Sitzbeinhöcker des jeweiligen Pferdes anzuhalten und den Messwert abzulesen. Somit konnte die Körperlänge jedes Tieres bestimmt und für die Messungen der BIA bzw. für die Bestimmung von Wachstumsleistungen in dem Parameter bereitgestellt werden (EQUISTAT, 1999).

Zwei weitere Parameter zur Beurteilung des Wachstums stellen die Unterarmlänge und der Unterarmumfang jeweils am linken Vorderbein der Versuchstiere dar. Diese wurden an den Terminen 15.02.2012 während dem Versuchsabschnitt 6 und am 13.06.2012 während dem Versuchsabschnitt 7 ermittelt.

Für die Bestimmung der Unterarmlänge wurde mit einem Maßband die Strecke von den Knochen der oberen Reihe des Karpalgelenkes (*os carpi radiale*) und dem Griffelfortsatz der Speiche bis auf den Ellenbogenhöcker gemessen. Beide Ansatzpunkte für das Maßband waren dafür von außen am Pferdebein gut fühlbar (Abbildung 1). Das jeweilige Pferd hat für diese Untersuchung immer voll aufgefusst. Die Messung der Unterarmlänge fand im Versuch immer im Rahmen der Termine und zur Vorbereitung der Ultraschalluntersuchung (Muskelumfang) statt.

Für den Unterarmumfang wurde bei der Hälfte der Messstrecke für die Unterarmlänge das Pferdebein mittels einer Linie mit Kreide markiert. Anhand dieser Linie konnte an dieser Stelle der Unterarmumfang mit dem Maßband gemessen werden. Die Wiederfindung der Messstelle war gewährleistet, da oberhalb der Linie das Fell des Tieres in einem 5 cm breiten Streifen geschoren wurde. Diese geschorene Stelle diente im Weiteren als Ansatzstelle für den Ultraschall-Schallkopf.



**Abbildung 1:** Bestimmung der Messstellen für die Unterarmlänge (UAL), den Unterarmumfang (UAU) und das Ultraschall-Untersuchungsfenster (UUF) am jeweils linken Vorderbein der Versuchspferde (verändert, nach digicoll.library 2008)

### 4.5 Gewebeparameter

Zur Beurteilung des Wachstums der Gewebe der Tiere kamen drei verschiedene Methoden der Messung zum Einsatz. Hier werden die methodischen Vorgehensweisen detailliert dargestellt.

#### 4.5.1 Muskelumfang

Anhand der ultraschallgestützten Untersuchung sollte im vorliegenden Versuch geprüft werden ob sich das Muskelgewebe im Vergleich der Tiere der beiden Versorgungsgruppen unterschiedlich entwickelt. Damit sollte diese neue Methode genutzt und weiterentwickelt werden, um die Zunahmen an Lebendmasse wie sie bei Jungpferden zu erwarten waren, auch qualitativ auf Basis der Betrachtung von Einzelgeweben der Versuchstiere zu ermöglichen. Ein idealer Ort für die Untersuchung fand sich am Vorderbein eines jeden Pferdes, genauer am Unterarm des Pferdes mit den entsprechenden Muskelgruppen. Hierfür wurde der Lange-Gemeinsame-Zehenstrecker ausgewählt.

Im Alter der Tiere von 23 und 27 Monaten, an den Terminen 16.02. und 15.06.2012 wurde der Umfang des Langen-Gemeinsamen-Zehenstreckers (*Musculus extensor digitorum communis*) am Unterarm des linken Vorderbeins bei jedem Tier der beiden Gruppen bestimmt. Die Untersuchungen wurden im jeweiligen Laufstall durchgeführt, dafür wurden die Tiere an ihren gewohnten Futterplätzen angebunden und einzeln zur Untersuchung geführt. Keines der Tiere musste für die Untersuchung sediert werden. Die Bestimmung der Untersuchungsstelle und ihre Vorbereitung erfolgten gemäß den Messungen für die Unterarmlänge und den Unterarmumfang (siehe Kapitel 4.5.3). Oberhalb der Linie zur Bestimmung des Unterarmumfangs wurde ein Bereich mit einer Höhe von 5 cm mit einem Schergerät und einem Rasierer bis auf die Haut des Tieres rasiert (Abbildung 1).

Die Aufzeichnung der Bilder erfolgte mittels eines Ultraschallgerätes (Ultrasonic Diagnostic Instrument; Model: EUB- 405, Hitachi Medical Corporation Tokio, Japan) und einem 7,5 MHz Linearschallkopfes (Typ EUP- 033J, Hitachi Medical Corporation, Tokio, Japan). Die während der Untersuchung erzeugten Bilder wurden auf einen an das Ultraschallgerät angeschlossenen S-VHS Videorecorder (Sony Model SVO 9500 MDP, Sony Corporation, Japan) übertragen und auf einem Videofilm parallel aufgezeichnet. Mit dieser Vorgehensweise wurden Bilder von den Querschnitten der senkrecht am Pferdebein verlaufenden Muskel und Gefäße gewonnen.



Das Ultraschallgerät und der Schallkopf wurden identisch an beiden Untersuchungen verwendet. Auch die Einstellung der Schärfe, der Eindringtiefe und der Skala der aufgenommenen Bilder blieben identisch (Abbildung 2).



**Abbildung 2: Ultraschallaufnahme mit nachgezeichneten Muskelgrenzlinien (x) welche zur Analyse vermessen wurden (eigene Aufnahme, beispielhaft)**

Die Pferde fußten bei der Untersuchung immer voll auf. Durch das Freihalten der Untersuchungsstelle von Fell war somit bei beiden Messungen die Messstelle identisch.

Der Videofilm, auf welchem die Aufnahmen der Einzeltiere abgespeichert wurden, wurde im Institut für Tierzucht und Haustiergenetik (AG Ökologie der Nutztierhaltung, Universität Göttingen) mittels einer speziellen Software (Canopus Media Cruise) digitalisiert. Danach wurden aus dem erzeugten nun digitalen Film die entsprechenden Einzelbilder mit Skala herausgeschnitten und für die Vermessung bereitgestellt. Für die Vermessung kam ein frei verfügbares Messprogramm (ImageJ) zum Einsatz, welches speziell für die Vermessung digitaler Bilder entwickelt worden war. Für die Vermessung wurde die vorgegebene Skala von jedem Bild übernommen um mit dem Programm millimetergenau messen zu können. Eine möglichst hohe Genauigkeit wurde durch die Bildung eines Mittelwertes ( $\pm 0,55$  mm) aus jeweils sechs Messungen pro Bild bei jedem Tier und Termin erreicht.

Mithilfe dieser Methodik wurden die Muskelumfänge bei den Tieren des Versuchs an zwei Terminen bestimmt und die Muskelumfangszunahme zwischen den zwei Messterminen konnte berechnet werden. Im nächsten Schritt wurden Mittelwerte in Bezug zur Muskelumfangszunahme pro Gruppe in Millimeter und relativ vom Ausgangswert berechnet, die Gruppen konnten damit verglichen werden.

### 4.5.2 Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)

Für die Untersuchung der BIA zur Ermittlung des Gesamtwassergehaltes wurden zehn Tiere aus dem Versuch genutzt (n=10). Die Messungen erstreckten sich über einen Zeitraum von Dezember 2011 bis Juni 2012. Aus jeder der beiden Gruppen konnten jeweils fünf Tiere für die BIA genutzt werden. Die Untersuchungstermine wurden so geplant, dass alle Tiere in einem festen Rhythmus untersucht wurden. An den letzten drei Terminen wurden pro Tier und Termin sechs Einzelmessungen durchgeführt (Tabelle 12). Aus den Messwerten von jedem Einzeltier wurden Mittelwerte gebildet nachdem eventuelle Ausreißer mithilfe des Dixon-Ausreißertests eliminiert wurden.

**Tabelle 12: Messtermine zur Impedanzmessung im Versuch**

Datum	Datum	Datum
15.12.11	23.02.12	14.06.12
29.12.11	23.04.12	

Um sicher zu gehen, dass die Messergebnisse nicht verfälscht wurden, war eine sehr sorgfältige Vorbereitung der Tiere von hoher Bedeutung. Vor der Messung sollten die Tiere nicht fressen bzw. drei Stunden vor der Messung kein Raufutter oder Kraftfutter aufnehmen (Kapitel 2.5). Aus diesem Grund wurden an den Messterminen die Tiere nur an ihrem Fressplatz fixiert und der Morgenstall mit der Futtervorlage erst nach der Messung durchgeführt.

Der erste Schritt war bei jeder Messung die Bestimmung der Grunddaten der Tiere. Die aktuelle Lebendmasse, die Widerristhöhe und die Körperlänge mussten als Messparameter vor der Messung in das Gerät eingegeben werden (EQUISTAT, 1999). Für die Messung selbst mussten die Manschetten mit den Elektroden vorbereitet und am Pferd platziert werden. Das Gerät Equistat 2005 hatte zwei Manschetten mit je zwei Elektroden. Ein Elektrodenpaar wurde am Vorderbein oberhalb des Carpalgelenks platziert, das zweite Elektrodenpaar wurde am Hinterbein oberhalb des Sprunggelenks platziert. An den Stellen wo die Elektroden den Kontakt zur Haut bekommen sollten, wurde das Fell der Tiere geschoren. Dies musste dabei exakt auf eine Länge von 0,2 cm gekürzt werden.

Bevor die Manschetten angelegt wurden, wurden die Elektroden mit speziellem Elektrodenkontaktgel (Spectra 360, Parker Laboratorys Inc. USA) versehen, um den Kontakt zur Haut des Tieres sicherzustellen. Bei dieser Vorgehensweise musste sichergestellt werden, dass es zu keinem Kontakt zwischen den einzelnen Elektroden je Manschette kommen konnte. Das eigentliche Messgerät wurde dann über Kabel und Krokodilklemmen mit der festsitzenden Manschette verbunden. Nachdem die vorher ermittelten Tierdaten eingegeben waren, konnte die Messung, welche nun vollautomatisch durch das Gerät vorgenommen wurde, beginnen. Die Messwerte wurden entsprechend, nach erfolgter Messung, von dem Gerät angezeigt und erfasst und für weitere Berechnungen bereitgestellt.

### 4.5.3 Röntgen

Während des Versuchs wurde eine Röntgenuntersuchung bei jeweils fünf Tieren pro Gruppe durchgeführt. Diese Untersuchung erfolgte durch ein erfahrenes Tierärzteteam, welches dafür sorgte, dass auch bei den Jungpferden des Versuchs gute, leicht auswertbare Bilder erzeugt werden konnten. Die Beine der Pferde wurden zunächst gründlich gereinigt um mögliche Fragmente, wie sie durch etwaige Verschmutzungen auf den Bildern hätten auftreten können, zu verhindern. Für die Untersuchung selbst wurden die Tiere an ihrem jeweiligen Fressplatz angebunden und dann paarweise in den Untersuchungsraum geführt. Um die Untersuchung zu erleichtern, wurden die Pferde vor dem Röntgen leicht sediert. Bei jedem Pferd wurden zehn Aufnahmen der Gelenke an den Extremitäten gemäß Röntgenleitfaden (BUNDESTIERÄRZTEKAMMER, 2007) vorgenommen, vergleichbar mit der Röntgenuntersuchung wie sie für den Pferdekauf aber auch bei Körungen vorgenommen wurde.

Bei der Röntgenuntersuchung kam das Gerät Gierth HF 300 zum Einsatz, die Bilder wurden mittels einer Detektorplatte aufgefangen und sofort digital der Auswertung zur Verfügung gestellt. Mittels dieser Technik entstanden sehr scharfe und qualitativ hochwertige Bilder, welche dadurch aber gegebenenfalls mehr Fehl- bzw. Zubildungen am Knochengewebe im Vergleich zu analogen Röntgenmethoden sichtbar machen konnten. Die detaillierte Auswertung der gewonnenen Bilder erfolgte gemäß dem Röntgenleitfaden (BUNDESTIERÄRZTEKAMMER, 2007) und wurde von einem erfahrenen Tierarzt aus dem Untersuchungsteam betreut.

#### **4.6 Indikatoren Proteinstoffwechsel**

Die Gehalte an Harnstoff und Aminosäuren im Blut der Tiere wurden mehrfach bestimmt (Tabelle 13). Zu diesem Zweck wurde den Hengsten venöses Blut aus der *Vena jugularis externa* abgenommen. Die Blutabnahmen erfolgten an den Terminen jeweils zwei Stunden nach der Morgenfütterung gemäß den Literaturangaben (Kapitel 2.6). An einem Termin während dem Versuchsabschnitt 4 erfolgte die Entnahme nüchtern, vor der morgendlichen Kraft- und Raufutterfütterung, um einen Basiswert für alle Indikatoren bestimmen zu können.

**Tabelle 13: Termine Blutproben im Versuch (je Versuchsabschnitt)**

<b>Datum</b>	<b>Versuchsabschnitt</b>	<b>Datum</b>	<b>Versuchsabschnitt</b>
09.05.11	<b>1</b>	16.11.11	<b>5</b>
13.07.11	<b>2</b>	11.01.12	<b>Uebergang</b>
17.08.11	<b>3</b>	14.03.12	<b>6</b>
14.09.11	<b>4</b>	23.05.12	<b>7</b>
21.09.11	<b>4</b>		

##### **4.6.1 Blutharnstoff**

Die Blutharnstoffbestimmung erfolgte immer sofort nach der Abnahme des Blutes am jeweiligen Entnahmetag, das Blutplasma und das Blutserum, welche für weitere Untersuchungen benötigt wurden, wurden von den weiteren Bestandteilen mittels einer Zentrifuge getrennt und sofort bei -80 °C eingefroren.

Der Harnstoffgehalt des Serums (SUN) wurde mit dem Gerät Konelab 20i (Firma Thermo Fischer scientific inc., Dreieich Deutschland) bestimmt. Dieses Gerät arbeitete mittels einer nasschemischen und einer photometrischen Bestimmungsmethode. Im ersten Schritt wurden im Serum vorhandener Harnstoff und Wasser mit Hilfe des Enzyms *Urease* zu Ammoniak und Kohlendioxid umgebaut. Im zweiten Schritt wurde der Ammoniak durch das Enzym Glutamatdehydrogenase und reduzierten Nikotinamidadenindinucleotiden an alpha-Ketogluterat gebunden. Dabei entstanden L-Glutamat und nicht reduzierte Nikotinamidadenindinucleotide. Bei einer Wellenlänge von 340 nm wurde danach photometrisch der Anteil des Harnstoffs in der Probe gemessen.

#### 4.6.2 Freie Aminosäuren (PFAA) und 1-Methylhistidin

Die freien Aminosäuregehalte sowie die 1- und 3-Methylhistidin-Gehalte im Plasma der gewonnenen Blutproben wurden mit dem Gerät Amino Acid Analyser LC3000 (Eppendorf Biotronik), welches mit einem physiologischen Trennprogramm bestückt war, bestimmt. Um die Plasmaproben analysieren zu können, mussten sie vorbereitet und mit einem internen Standard (ISTD) versehen werden. Als ISTD wurde Norleucin (200 nmol/ml) verwendet. Für den speziellen ISTD für diese Analyse der PFAA wurden 2,5 ml Norleucin (20 nmol/ml) mit 2,913 g 5-Sulfosalicylsäure \* 2 H<sub>2</sub>O versetzt und dieses Gemisch in jeweils 25 ml Li-PVP-Puffer überführt.

Hierfür wurden im ersten Schritt 400 µl Plasma mit 100 µl von dem beschriebenen ISTD versetzt. Danach wurde dieses Gemisch für 30 Minuten im Kühlschrank gelagert, sodass das Protein ausfiel. Nach dem Zentrifugieren (10 min bei 14.000 U/min) konnte der zweite Schritt folgen. In diesem wurden 200 µl vom Überstand der Probe abgenommen und mit 200 µl Li-PVP-Puffer gemischt, dieses Gemisch konnte nun auf das Gerät mit dem physiologischen Trennprogramm gegeben werden. Mittels eines speziellen physiologischen „Laufes“ wurden im Chromatogramm die folgenden Verbindungen mit den jeweiligen Gehalten in den Proben dargestellt: Methionin, Isoleucin, Leucin, (Norleucin), Tyrosin, Phenylalanin, Histidin, 1-Methylhistidin, 3-Methylhistidin, Carnitin/Anserin, Tryptophan, Ornithin, Lysin und Arginin.

Die 1- und 3-Methyl-Histidin-Gehalte (1-MH und 3-MH) im Plasma wurden gegen verschiedene Standards gemessen um eine zweifelsfreie und sichere Bestimmung der analysierten Messwerte zu gewährleisten. 1-MH wurde mit dem Standard: Aldrich (67520) LOT BCBC5786V bestimmt. 3-MH wurde mit dem Standard: SIGMA (M9005) LOT 119K1104 gemessen. Gemäß dem Vorschlag zu einer Änderung der Nomenklatur der beiden existierenden Formen des Methylhistidin (SÜNDER *et al.*, 2012) wurde in der vorliegenden Arbeit der ehemals in der Literatur als 3-Methyl-Histidin bezeichnete Indikatorstoff mit 1-Methyl-Histidin benannt.

#### 4.7 Darstellende und statistische Auswertung

Die Rationsberechnungen inklusive Umrechnungen von Angaben aus der Literatur erfolgten mit dem Programm Microsoft Excel. Erfasste Daten aus den Messungen der verschiedenen Parameter der deskriptiven Statistik wurden sortiert, zusammengestellt und in Tabellen sowie Diagrammen zusammengefasst. Alle Wachstumsdaten und Stoffwechselfparameter der Versuchstiere wurden durch Einzeltiermessungen ermittelt.

Für weitere statistische Auswertungen, die im Folgenden beschrieben werden, wurde das Programmpaket SPSS 20.0 (IBM) verwendet.

Die Daten der Einzeltiere in der Gruppenbetrachtung (Mittelwerte) wurden zunächst auf ihre Normalverteilung mittels des Kolmogorov-Smirnow-Tests untersucht. Danach wurde die Varianzgleichheit der Gruppen mittels des F-Tests bzw. Levene Tests bestimmt. Im nächsten Schritt wurden t-Tests bei unabhängigen Stichproben durchgeführt.

Um zu vermeiden, dass mehrere Messergebnisse eines Tieres für einen Test genutzt werden, fand eine Aufteilung des Datensatzes nach Zeitpunkten (Messtermin oder Alter) statt. Als Gruppenvariable diente die Gruppenzugehörigkeit der Tiere. Die verschiedenen Messergebnisse der Parameter oder die errechneten Zunahmen und der errechnete Zuwachs in bestimmten Zeiträumen dienten als Testvariablen. Wurden signifikante Unterschiede nachgewiesen ( $p \leq 0,05$ ), so wurden diese im Text benannt und mit Sternen gekennzeichnet.

Zur detaillierten Aufstellung von Zusammenhängen zwischen der Ration, dem Zuwachs und Blutparametern dienten einfaktorielle Varianzanalysen (ANOVA) mit post-hoc-Tests (Scheffé-Prozedur). Für die statistische Auswertung wurden einige Variablen gebildet, um die Betrachtung dieser zu vereinfachen (Tabelle 14).

**Tabelle 14: Darstellung der gebildeten Variablen zur Auswertung**

Variable	Berechnung
Alter in Monaten	$\frac{\text{Alter in Tagen}}{30,5}$
Alter in Tagen	Geburtsdatum – Datum der Messung (jeweils im Gruppendurchschnitt und für das Einzeltier)
tägliche Zunahme	$\frac{\text{Zunahme in einem Zeitraum}}{\text{Anzahl der Tage des betrachteten Zeitraums}}$
Zunahme	$\frac{(LM_1 - LM_0)}{(\text{Datum}_1 - \text{Datum}_0)}$
Zuwachs	$\frac{(WRH_1 - WRH_0)}{(\text{Datum}_1 - \text{Datum}_0)}$ jeweils für verschiedene Zeiträume (Woche, Monat, Ration)

## 5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden zunächst die Ergebnisse zur Trockensubstanz-, Energie- und Nährstoffaufnahme in den einzelnen Versuchsabschnitten ausgewiesen. Die Reaktionen der Tiere, gemessen anhand der verschiedenen erhobenen Parameter zum Wachstum, der Gewebe und des Proteinstoffwechsels im Vergleich der Gruppen in den verschiedenen Zeiträumen, werden danach detailliert dargestellt.

### 5.1 Trockensubstanz-, Energie- und Nährstoffaufnahme

Die Trockensubstanzaufnahme war für die Tiere beider Gruppen über den gesamten Versuchszeitraum identisch, damit war auch die Aufnahme an verdaulicher Energie im Gesamtversuch zwischen den Gruppen ausgeglichen.

Die Rohproteinaufnahme war in Gruppe S bei Betrachtung des Gesamtversuchs höher als in Gruppe C. Die Tiere der Gruppe S hatten über den Gesamtversuch eine um 11 g/d höhere Lysinaufnahme gegenüber Gruppe C. Die aufgenommenen mittleren Mengen der weiteren unentbehrlichen Aminosäuren (AS) waren in Gruppe S höher (Tabelle 15).

**Tabelle 15: Mittlere Tagesaufnahme je Tier u. Gruppe (Gesamtzeitraum) an verd. Energie (DE in MJ), Rohprotein (XP in g), unentbehrlicher Aminosäuren (g) und Ursprung (%) (\*Ursprung AS aus Raufutter identisch XP)**

	<b>Gruppe S</b>	<b>Gruppe C</b>	<b>aus Raufutter (%)<sup>*1</sup></b>
<b>DE</b>	98	98	76,8 bis 90,3
<b>XP</b>	<b>1028</b>	<b>942</b>	<b>74,3 bis 93,4</b>
<b>Lysin</b>	<b>44</b>	<b>33</b>	<b>identisch XP*</b>
<b>Methionin</b>	13	11	*
<b>Threonin</b>	34	30	*
<b>Histidin</b>	19	16	*
<b>Valin</b>	41	36	*
<b>Isoleucin</b>	32	28	*
<b>Leucin</b>	58	50	*

<sup>\*1</sup>anteilig (%): Energie-, Nährstoffe u. AS geliefert aus Heu und Stroh

Im Mittel des Gesamtversuchs waren die Verhältnisse der AS des Futterproteins der Supplementgruppe stärker an die Verhältnisse des Muskelproteins nach BRYDEN (1991), BDIANI *et al.* (1997) und GRAMBERG (2012) angenähert.

Das jeweilige ermittelte Ratio ist in Tabelle 16 dargestellt. Die Anpassung auf Grundlage des Muskelproteins war das Optimierungsziel der AS Versorgung im Versuch.

**Tabelle 16: Mittlere Gehalte der unentbehrlichen Aminosäuren in Relation zu Lysin (Ratio) im Gesamtversuch in den Gruppen im Vergleich mit dem Muskelprotein (Ratio MW Literatur)**

	Supplementgruppe (S)	Kontrollgruppe (C)	MW (Muskel)
<b>Lysin</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Methionin</b>	29	33	29
<b>Threonin</b>	77	91	55
<b>Histidin</b>	43	48	56
<b>Valin</b>	93	109	58
<b>Isoleucin</b>	72	85	55
<b>Leucin</b>	132	152	99

### 5.1.1 Schätzung der Trockensubstanzaufnahme

Aus den insgesamt acht durchgeführten Phasen zur Schätzung der Trockensubstanzaufnahme (TS) im Gesamtversuch wurden zunächst die Phasen 1 bis 3 bezüglich der n-Alkan-Gehalte in den Futter- sowie Kotproben analysiert. Anhand der gewonnenen Ergebnisse konnten danach die individuellen TS-Aufnahmen für die weiteren Phasen berechnet werden.

Für diesen Zweck wurden die Gehalte der internen Marker C31 und C33 herangezogen, da diese Verbindungen konstant und in ausreichend hohen Mengen in den Futtermitteln der Ration der Tiere enthalten waren (Anhangstabelle 4).

Die tierindividuellen Ergebnisse in der Phase 1 wurden in Tabelle 17 dargestellt. Die Analysenergebnisse von einem der Tiere (S2) der Gruppe S konnten für die Berechnungen nicht verwendet werden, da bei diesem Tier die Bolusaufnahme und damit die externe Markeraufnahme immer wieder verwehrt wurde bzw. unsicher war. Im Mittel nahmen die Tiere damit 12 kg TS pro Tag auf.

**Tabelle 17: Tagesaufnahme an TS (kg) in Sammelphase (SP) 1 im Vergleich der Tiere mit Mittelwert  $\pm$  SD (n=5)**

Sammelphase 1		MW $\pm$ SD n = 5
Tier	kg TS/d	
<b>S1</b>	12,8	<b>12,0 <math>\pm</math> 3,1</b>
<b>S3</b>	15,0	
<b>S4</b>	9,9	
<b>S5</b>	14,7	
<b>S6</b>	7,8	

Bezogen auf die aktuelle Lebendmasse (LM) ergab sich damit ein Wert in Höhe von 3,6 % der LM für die Trockensubstanzaufnahme pro Tag.

In Phase 2 wurde die Bolusfütterung und Kotsammlung in der Gruppe C durchgeführt (Tabelle18).



**Tabelle 18: Tagesaufnahme an TS (kg) in Sammelphase (SP) 2 im Vergleich der Tiere mit Mittelwert  $\pm$  SD (n=4)**

Sammelphase 2		MW $\pm$ SD
Tier	kg TS/d	n = 4
<b>C1</b>	10,9	<b>12,8 <math>\pm</math> 3,4</b>
<b>C4</b>	13,2	
<b>C5</b>	17,4	
<b>C6</b>	9,7	

Eines der Tiere der Gruppe verweigerte die Bolusaufnahme, ein anderes Tier wies an drei der fünf Tage der Kotsammelphase durchfallartigen bzw. dünnflüssigen Kot auf, so dass die Analysenergebnisse dieser zwei Tiere nicht in die Berechnungen einbezogen werden konnten. Der Mittelwert zur TS-Aufnahme von 12,8 kg TS pro Tier und Tag wurde auf die gestiegene aktuelle Lebendmasse bezogen, damit ergab sich in dieser Phase ein Wert in Höhe von 3,59 % der LM.

Im Juli 2011 wurde die dritte Phase (Phase 3) zur Bestimmung der TS-Aufnahme bei den Tieren der Gruppe S durchgeführt. Dasselbe Tier (S2), welches in der ersten Phase die Bolusaufnahme verweigerte, verhinderte damit auch in dieser Phase die Nutzung seiner Analysenergebnisse. Somit gingen die Ergebnisse von fünf Tieren in die Berechnungen ein (Tabelle 19).

**Tabelle 19: Tagesaufnahme an TS (kg) in Sammelphase (SP) 3 im Vergleich der Tiere mit Mittelwert  $\pm$  SD (n=5)**

Sammelphase 3		MW $\pm$ SD
Tier	kg TS/d	n = 5
<b>S1</b>	12,4	<b>14,3 <math>\pm</math> 2,9</b>
<b>S3</b>	12,1	
<b>S4</b>	17,9	
<b>S5</b>	16,9	
<b>S6</b>	12,1	

Im Mittel nahmen damit die Tiere in dieser Phase 14,3 kg TS pro Tier und Tag auf. Bezogen auf die aktuelle Lebendmasse (LM) der Tiere ergab sich zu dem Zeitpunkt ein Wert von 3,63 % der LM für die tägliche TS-Aufnahme.

Um Aussagen zur mittleren Krafffutter- und Heuaufnahme zu ermöglichen, wurden Berechnungen anhand der Gesamtmenge der vorgelegten Futtermittel in der jeweiligen Gruppe vorgenommen. Danach konnte die TS-Aufnahme aus dem Stroh bestimmt werden.

Grundbedingungen dafür waren, dass das Krafffutter, Ergänzungsfutter und das Heu gemäß der Versuchsanstellung von den Tieren pro Tag immer vollständig aufgenommen wurden. Die Mengen an Krafffutter und die Heumenge, welche in die

jeweilige Gruppe verabreicht wurden, war bekannt. Lediglich das Stroh diente als Einstreu und war durch diesen Zusammenhang zunächst eine Unbekannte in der Bilanzierung der Futterraufnahme der Tiere pro Tag, da immer individuelle Mengen an Stroh von den Tieren aufgenommen wurden. Stroh wurde in einer Menge von 60 kg FS pro Tag und pro Gruppe in den jeweiligen Laufstall eingestreut.

In den Phasen 1 und 2 nahmen die sechs Pferde pro Gruppe insgesamt 9 kg Kraftfutter (1,5 kg/Tier und Tag) und 57 kg Heu (9,5 kg/Tier und Tag) an Frischsubstanz auf. Für die Trockensubstanzaufnahme in der Gruppe ergaben sich damit insgesamt 60,5 kg TS als Summe aus Kraftfutter (7,95 kg TS/d) und aus Heu (52,6 kg TS/d). Umgerechnet auf das Einzeltier bedeutete dies eine mittlere tägliche TS-Aufnahme aus Kraftfutter und Heu in Höhe von 10,1 kg TS pro Tier und Tag. Dieser Wert stellte damit das Maximum für die mögliche Kraftfutter- und Heuaufnahme dar. Er lag damit bezogen auf die Lebendmasse bei 2,93 %. Die mittlere gesamte Trockensubstanzaufnahme in Höhe von 12,4 kg pro Tier und Tag war durch die Markermethode bekannt. Über Kraftfutter und Heu wurden im Mittel 10,1 kg pro Tier und Tag an TS aufgenommen. Die Differenz aus diesen beiden Werten stellte eine sehr genaue Annäherung an die wirkliche TS-Aufnahme aus dem Stroh dar, diese lag im Mittel dieser zwei Phasen bei 2,3 kg pro Tier und Tag (0,67 % der LM).

Für die Phase 3 musste eine veränderte Berechnung angewendet werden, da die Kraftfuttermenge in dieser Ration auf 2 kg FS pro Tier und Tag erhöht worden war, die Heumenge in den Gruppen blieb gleich. Daraus summierte sich eine Gesamtaufnahme an Trockensubstanz aus Kraftfutter und Heu in der Gruppe auf einen Wert von 63 kg TS pro Tag. Heruntergerechnet auf das Einzeltier ergab sich damit eine maximale mögliche TS-Aufnahme aus Kraftfutter und Heu in Höhe von 10,5 kg TS pro Tier und Tag (2,66 % der LM). Aus den zwei Werten, 14,3 kg TS mittlere Gesamtaufnahme ermittelt mit der Markermethode und dem maximalen Wert der möglichen TS-Aufnahme aus Kraftfutter und Heu 10,5 kg TS pro Tier und Tag, wurde wieder eine Differenz für die Strohaufnahme gebildet. Diese lag damit in Phase 3 höher als in den anderen Phasen, bei 3,7 kg TS pro Tier und Tag (0,96 % der LM).

Diese ermittelten Werte für die zusätzliche Strohaufnahme aus der Einstreu bildeten die Grundlage für die Berechnungen der Energie- und Nährstoffaufnahmen in den weiteren Versuchsabschnitten 3 bis 7, die Strohaufnahme wurde dafür gemittelt und auf 2,9 kg TS pro Tier und Tag festgelegt.

### 5.1.2 Energie- und Nährstoffversorgung in den Versuchsabschnitten

Während der Vorversuchsphase wurde im Zeitraum vom 09.02.2011 bis zum 07.04.2011 aus methodischen Gründen eine Standardration an alle Tiere beider Gruppen verfüttert. Die Aufnahme an Frischsubstanz, Trockensubstanz, Energie, Protein (auch relativ nach Herkunft) und der PEQ wurden in Tabelle 20 dargestellt.

**Tabelle 20: Gehalte der Tagesration an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ im Vergleich der Gruppen in der Vorversuchsphase**

Gruppe	Supplement- und Kontrollgruppe		
<b>FS (kg)</b>	13,5		
<b>TS (kg)</b>	12,5		
<b>DE (MJ)</b>	97,9		
<b>ME (MJ)</b>	81,5		
		<b>aus Heu (%)</b>	<b>aus Stroh (%)</b>
<b>XP (g)</b>	993,9	75,2	10,0
<b>DXP (g)</b>	570,3	78,4	4,9
<b>pcvXP (g)</b>	490,9	70,9	5,7
<b>PEQ</b>	5,8		

Die Gehalte an verdaulicher Energie (DE) und Rohprotein (XP) bzw. verdaulichem Rohprotein (DXP) waren in der Tagesration gemäß Versorgungsempfehlungen eingestellt. Bezüglich dem Lysin- und Histidingehalt traten erhebliche direkte bzw. indirekte Defizite auf (Tabelle 21).

**Tabelle 21: Gehalte der Tagesration an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit Ratio (Muskel) in der Vorversuchsphase**

AS	AS (g/d)	DAS (g/d)	Ratio (DAS)	Ratio (Muskel)
<b>Lys</b>	<b>29,7</b>	<b>17,5</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Met</b>	9,3	5,5	31	29
<b>Thr</b>	26,3	15,3	87	55
<b>His</b>	<b>9,9</b>	<b>5,9</b>	<b>34</b>	56
<b>Val</b>	31,9	18,8	107	58
<b>Ileu</b>	24,7	14,6	83	55
<b>Leu</b>	45,9	27,2	155	99

Gemäß der Versuchsanstellung sollten diese festgestellten Aminosäuredefizite in den folgenden Rationen in der Supplementgruppe (S) verringert bzw. ausgeschlossen werden. Der Zeitraum der Vorversuchsphase diente dazu, etwaige Unterschiede bezüglich der Futteraufnahme zwischen den Tieren im eigentlichen Versuch auszuschließen. Die Tiere mussten an die Abläufe im Versuchsgeschehen, das Anbinden zur geregelten und sicheren Krafffutteraufnahme und den täglichen Gang auf den Paddock gewöhnt werden.

Auch bezüglich des Alters der Tiere wurde mit der passenden Tagesration für den nächsten Alterszeitraum abgewartet, denn die Tiere hatten noch nicht durchgängig den 12. bzw. 13. Lebensmonat abgeschlossen. Da in den Rationen der Supplementgruppe (S) die Proteinqualität optimiert werden sollte, wurden in dem Zeitraum verschiedene Proteinträger bei den Tieren auf Akzeptanz in verschiedenen Darreichungsformen getestet. Diese waren Erbsen, Ackerbohnen, Sojaextraktionsschrot, Sojaproteinkonzentrat und Kartoffelprotein.

Die Pferde lehnten zunächst alle genannten Proteinquellen zur Optimierung ab. Nach einigen Versuchen bezüglich einer Beimischung von Apfeltrester und Hafer bzw. Gerste wurde die beste Akzeptanz in einem pelletierten Ergänzungsfuttermittel für Sojaextraktionsschrot und für Kartoffelprotein ermittelt. Apfeltrester und entpektinierter Apfeltrester eigneten sich sehr gut als Komponenten des Ergänzungsfutters, um andere, wenig schmackhafte Komponenten zu maskieren.

Im Versuchsabschnitt 1 wurde Sojaextraktionsschrot im Ergänzungsfutter der Supplementgruppe eingesetzt. Die Energie- und Proteingehalte der Rationen im Vergleich der Gruppen wurden in Tabelle 22 dargestellt.

**Tabelle 22: Gehalte der Tagesrationen an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 1**

<b>Gruppe S</b>	<b>FS (kg)</b>	13,9		
	<b>TS (kg)</b>	12,7		
<b>C</b>	<b>FS (kg)</b>	13,9		
	<b>TS (kg)</b>	12,7		
<b>S</b>	<b>DE (MJ)</b>	101,2		
	<b>ME (MJ)</b>	84,1		
<b>C</b>	<b>DE (MJ)</b>	99,9		
	<b>ME (MJ)</b>	83,2		
<b>S</b>			<b>aus Heu (%)</b>	<b>aus Stroh (%)</b>
	<b>XP (g)</b>	1066,1	70,1	9,3
	<b>DXP (g)</b>	631,3	70,8	4,5
	<b>pcvXP (g)</b>	605	62,3	4,9
	<b>PEQ</b>	6,2		
<b>C</b>			<b>aus Heu (%)</b>	<b>aus Stroh (%)</b>
	<b>XP (g)</b>	1010,6	74,4	10,6
	<b>DXP (g)</b>	580,2	77,5	5,2
	<b>pcvXP (g)</b>	545,5	69,4	5,9
	<b>PEQ</b>	5,8		

Beide Gruppen waren bedarfsgerecht mit Energie (DE) versorgt, in der Gruppe S war die Energieaufnahme geringfügig höher.

Bedarfsgerecht, aber geringfügig unterschiedlich gestaltete sich die Proteinaufnahme im Vergleich der Gruppen. Dieser Unterschied wirkte sich auch auf die Aminosäurenlieferung aus den Rationen aus (Tabelle 23).

Die Versorgungsempfehlung für Lysin wurde in der Gruppe S während dieser Ration um 10 g/d unterschritten (76% von der Empfehlung erreicht), in der Gruppe C war der Unterschied höher. Auch der Histidingehalt der Tagesration war in beiden Gruppen bei der Betrachtung des jeweiligen Ratio zu gering.

**Tabelle 23: Gehalte der Tagesrationen an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit Ratio (Muskel) im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 1**

Gruppe	AS	AS (g/d)	DAS (g/d)	Ratio (DAS)	Ratio (Muskel)
<b>S</b>	<b>Lys</b>	<b>33,5</b>	<b>20,7</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
	<b>Met</b>	10,1	6,2	30	29
	<b>Thr</b>	28,8	17,4	84	55
	<b>His</b>	<b>11,5</b>	<b>7,3</b>	<b>35</b>	56
	<b>Val</b>	34,6	20	101	58
	<b>Ileu</b>	27,3	16,7	81	55
	<b>Leu</b>	50,6	31,1	150	99
<b>C</b>	<b>Lys</b>	<b>30,3</b>	<b>17,8</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
	<b>Met</b>	9,4	5,6	31	29
	<b>Thr</b>	26,8	15,5	87	55
	<b>His</b>	<b>10,1</b>	<b>6,1</b>	<b>34</b>	56
	<b>Val</b>	32,4	19,1	107	58
	<b>Ileu</b>	25,1	14,8	83	55
	<b>Leu</b>	46,7	27,6	155	99

Um die Ration im Versuchsabschnitt 2 in der Gruppe S zu optimieren, wurde erstmals Kartoffelprotein im Ergänzungsfutter eingesetzt. Durch den vergleichsweise hohen Gehalt an Lysin und den hohen Gehalt an Histidin im Kartoffelprotein sollte sich dieses Produkt hervorragend für die Ergänzung der ermittelten Aminosäuredefizite in der Tagesration der Tiere eignen.

Die Akzeptanz des Kartoffelproteins im Ergänzungsfutter wurde vorher in der Vorversuchsphase geprüft, die Tiere nahmen das Produkt im Ergänzender, in einer Mischung mit Apfeltrester, gern auf.

Die Gruppe C erhielt als Kraftfutter weiterhin ganzen Hafer, die Energie- und Proteingehalte der Rationen sowie der PEQ im Vergleich der Gruppen sind in Tabelle 24 dargestellt.

**Tabelle 24: Gehalte der Tagesrationen an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 2**

<b>Gruppe S</b>	<b>FS (kg)</b>	15,4		
	<b>TS (kg)</b>	14,1		
<b>C</b>	<b>FS (kg)</b>	15,4		
	<b>TS (kg)</b>	14,1		
<b>S</b>	<b>DE (MJ)</b>	106,1		
	<b>ME (MJ)</b>	87,6		
<b>C</b>	<b>DE (MJ)</b>	108,8		
	<b>ME (MJ)</b>	90,9		
<b>S</b>			<b>aus Heu (%)</b>	<b>aus Stroh (%)</b>
	<b>XP (g)</b>	1164,1	64,2	11,6
	<b>DXP (g)</b>	701,4	63,7	5,5
	<b>pcvXP (g)</b>	617,8	56,3	6,1
	<b>PEQ</b>	6,6		
<b>C</b>			<b>aus Heu (%)</b>	<b>aus Stroh (%)</b>
	<b>XP (g)</b>	1077	69,4	12,6
	<b>DXP (g)</b>	611,7	73,1	6,2
	<b>pcvXP (g)</b>	537,8	64,7	7,0
	<b>PEQ</b>	5,6		

Die Energie- und Proteinversorgung war in beiden Gruppen bedarfsdeckend bzw. war der Bedarf leicht überschritten. Bezüglich der Aminosäurenversorgung wurden dennoch Defizite bezüglich der Versorgungsempfehlungen ermittelt (Tabelle 25).

**Tabelle 25: Gehalte der Tagesrationen an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit Ratio (Muskel) im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 2**

<b>Gruppe</b>	<b>AS</b>	<b>AS (g/d)</b>	<b>DAS (g/d)</b>	<b>Ratio (DAS)</b>	<b>Ratio (Muskel)</b>
<b>S</b>	<b>Lys</b>	<b>40,8</b>	<b>26,5</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
	<b>Met</b>	12,5	8,1	30	29
	<b>Thr</b>	35,6	22,7	86	55
	<b>His</b>	<b>13,2</b>	<b>8,6</b>	<b>32</b>	56
	<b>Val</b>	41,2	26,2	99	58
	<b>Ileu</b>	32,7	21,1	79	55
	<b>Leu</b>	61,6	39,9	150	99
<b>C</b>	<b>Lys</b>	<b>32,6</b>	<b>19,1</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
	<b>Met</b>	10,3	6,1	32	29
	<b>Thr</b>	28,9	16,7	87	55
	<b>His</b>	<b>11,2</b>	<b>6,7</b>	<b>35</b>	56
	<b>Val</b>	35,0	20,5	107	58
	<b>Ileu</b>	27,1	15,9	83	55
	<b>Leu</b>	50,6	29,8	156	99

Für Lysin wurde in Gruppe S damit nahezu eine Bedarfsdeckung gemäß Versorgungsempfehlungen erzielt, in Gruppe C wurde der Bedarf um knapp 10 g/d unterschritten. Die Histidinlieferung war in beiden Gruppen (Bezug Ratio) zu gering.

Die Leitaminosäure Lysin kam in Versuchsabschnitt 3 in kristalliner Form erstmals, zusammen mit dem Kartoffelprotein, im Ergänzungsfutter für die Gruppe S zum Einsatz. Damit sollte das Defizit an Lysin, wie es in den vorherigen Versuchsabschnitten auftrat, ausgeschlossen werden. Die Energie- und Nährstofflieferung aus der Ration der Gruppe S wurde in Tabelle 26 dargestellt.

**Tabelle 26: Gehalt der Tagesration an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ in der Gruppe S in Versuchsabschnitt 3**

<b>Gruppe</b>	<b>FS (kg)</b>	14,5			
	<b>TS (kg)</b>	13,3			
	<b>DE (MJ)</b>	106,3			
	<b>ME (MJ)</b>	88,5			
	<b>S</b>			<b>aus Heu (%)</b>	<b>aus Stroh (%)</b>
		<b>XP (g)</b>	1118,7	66,8	10,3
		<b>DXP (g)</b>	665,8	67,2	4,9
		<b>pcvXP (g)</b>	585,8	59,4	5,5
		<b>PEQ</b>	6,3		

Der Energiegehalt und der Proteingehalt in der Tagesration wurden bezüglich der verwendeten Versorgungsempfehlungen in diesem Versuchsabschnitt durch die hohen TS-Aufnahmen überschritten. Bei Betrachtung der Aminosäurenversorgung konnte erstmals eine Bedarfsdeckung für Lysin erzielt werden (Tabelle 27).

**Tabelle 27: Gehalt der Tagesration an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit dem Ratio (Muskel) in Gruppe S in Versuchsabschnitt 3**

<b>Gruppe</b>	<b>AS</b>	<b>AS (g/d)</b>	<b>DAS (g/d)</b>	<b>Ratio (DAS)</b>	<b>Ratio (Muskel)</b>
<b>S</b>	<b>Lys</b>	<b>46,2</b>	<b>30,3</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
	<b>Met</b>	<b>13,7</b>	8,5	<b>28</b>	29
	<b>Thr</b>	37,6	23,2	77	55
	<b>His</b>	<b>21,1</b>	<b>13,1</b>	<b>43</b>	56
	<b>Val</b>	45,5	28,1	93	58
	<b>Ileu</b>	35,1	21,8	72	55
	<b>Leu</b>	64,0	40,0	132	99

Durch die höhere Lysinversorgung kam es beim Histidin zu einem indirekten Defizit in der Tagesration, die Tiere waren um 3,9 g/d unterversorgt. Das Methionin wurde gemäß Idealproteinbetrachtung relativ knapp aus der Tagesration bereitgestellt. Die weiteren unentbehrlichen Aminosäuren wurden in ausreichenden Mengen geliefert.

Die Tagesration der Kontrollgruppe (C) wurde während der Versuchsabschnitte 3 bis 5 (der Supplementgruppe (S)) gemäß dem Versuchsziel nicht verändert. In Tabelle 28 wird die Energie- und Nährstofflieferung in dem Zeitraum dargestellt.

**Tabelle 28: Gehalt der Tagesration an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ in der Kontrollgruppe (C) (Versuchsabschnitte 3 bis 5 in S)**

<b>C</b>	<b>FS (kg)</b>	14,5		
	<b>TS (kg)</b>	13,3		
	<b>DE (MJ)</b>	106,0		
	<b>ME (MJ)</b>	88,7		
			<b>aus Heu (%)</b>	<b>aus Stroh (%)</b>
	<b>XP (g)</b>	1057,1	70,7	10,9
	<b>DXP (g)</b>	608,3	73,5	5,4
	<b>pcvXP (g)</b>	532,3	65,4	6,1
	<b>PEQ</b>	5,7		

Der Gehalt der Tagesration an Energie war gemäß der Versuchsanstellung mit dem der Gruppe S vergleichbar. Die Tiere beider Gruppen waren damit gemäß Versorgungsempfehlungen mit Energie überversorgt. Bezüglich der Proteinversorgung erhielten die Pferde in der Gruppe C tendenziell geringere Mengen an Rohprotein (XP). Die Proteinmengen, welche aus den Tagesrationen geliefert wurden, waren für beide Gruppen in dem Zeitraum über dem Bedarf eingestellt.

Bezüglich der AS-Versorgung ergab sich ein abweichendes Bild, die AS-Gehalte der Tagesration waren durch die Verwendung von Hafer als Kraftfutter, ohne qualitative Verbesserung durch einen Proteinträger bzw. kristalline AS, geringer. In Tabelle 29 wurden die AS-Mengen, geliefert aus der Tagesration der Gruppe C, dargestellt.

**Tabelle 29: Gehalt der Tagesration an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit dem Ratio (Muskel) in Gruppe C (Versuchsabschnitte 3 bis 5 in Gruppe S)**

<b>Gruppe</b>	<b>AS</b>	<b>AS (g/d)</b>	<b>DAS (g/d)</b>	<b>Ratio (DAS)</b>	<b>Ratio (Muskel)</b>
<b>C</b>	<b>Lys</b>	<b>38,2</b>	<b>22,6</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
	<b>Met</b>	12,5	7,4	33	29
	<b>Thr</b>	34,1	19,9	88	55
	<b>His</b>	<b>20,1</b>	<b>12,1</b>	<b>53</b>	56
	<b>Val</b>	42,2	24,9	110	58
	<b>Ileu</b>	32,1	19,0	84	55
	<b>Leu</b>	58,1	34,5	152	99

Für das Lysin zeigte sich eine defizitäre Lage in der Versorgung, die tägliche Lysinmenge aus der Ration wich um 5,4 g/d von der Versorgungsempfehlung ab. Bei Betrachtung der AS-Ratio aus dem Futter im Verhältnis zum Ratio Muskel wurden nur beim Histidin Defizite ausgemacht. Umgerechnet fehlten in dieser Ration in



Bezug zur Lysinlieferung 0,6 g/d zur Bedarfsdeckung für Histidin. Die weiteren unentbehrlichen Aminosäuren, auch das Methionin, wurden aus der Tagesration in ausreichenden Mengen geliefert. Hiermit war eine Vergleichsbasis, gemäß der Versuchsanstellung, in den Versuchsabschnitten in Bezug zu den Rationen der Gruppe S geschaffen.

In Versuchsabschnitt 4 wurde der Histidinmangel in der Ration der Gruppe S ausgeschlossen. Es wurde kristallines Histidin im Rahmen dieses Versuchs als Zusatzstoff im Ergänzungsfutter eingesetzt. Die Tagesration entsprach bis auf die Histidinergänzung der Tagesration des Versuchsabschnitts 3 (Tabelle 30 und 31).

**Tabelle 30: Gehalt der Tagesration an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ in der Gruppe S in Versuchsabschnitt 4**

<b>S</b>	<b>FS (kg)</b>	14,5		
	<b>TS (kg)</b>	13,3		
	<b>DE (MJ)</b>	104,1		
	<b>ME (MJ)</b>	86,4		
			<b>aus Heu (%)</b>	<b>aus Stroh (%)</b>
	<b>XP (g)</b>	1129,2	66,2	10,2
	<b>DXP (g)</b>	676,3	66,1	4,8
	<b>pcvXP (g)</b>	595,3	58,4	5,4
	<b>PEQ</b>	6,5		

Die Energieversorgung war bedarfsdeckend, die Proteinlieferung war über dem Bedarf. Die TS-Aufnahmen waren sehr hoch, über 60 % des XP und DXP sowie über 50 % des pcvXP lieferte das Heu in der Tagesration.

Die Lysinmenge aus der Ration war höher als der Bedarf, der Histidinbedarf wurde in Bezug zum Lysin (Ratio) in dieser Ration gedeckt (31,5 g/d) (Tabelle 31).

**Tabelle 31: Gehalt der Tagesration an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit dem Ratio (Muskel) in Gruppe S in Versuchsabschnitt 4**

Gruppe	AS	AS (g/d)	DAS (g/d)	Ratio (DAS)	Ratio (Muskel)
<b>S</b>	<b>Lys</b>	<b>46,2</b>	<b>30,3</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
	<b>Met</b>	<b>13,7</b>	<b>8,5</b>	<b>28</b>	29
	<b>Thr</b>	37,6	23,2	77	55
	<b>His</b>	31,5	23,4	77	56
	<b>Val</b>	45,5	28,1	93	58
	<b>Ileu</b>	35,1	21,8	72	55
	<b>Leu</b>	64,0	40,0	132	99

Durch die hohe Menge an Lysin kam es zu einer knappen Versorgung mit Methionin in Bezug zum Ratio der Muskulatur

Um Auswirkungen der optimierten Protein- und Aminosäurenversorgung im Vergleich der Gruppen auf das Wachstum zu messen und um zu prüfen, welche Reaktionen die Proteinstoffwechselfparameter, das 1-MH, die freien AS im Plasma (PFAA) und der Harnstoff im Blut zeigen, wurde die Tagesration des Versuchsabschnitts 5 eingesetzt (Tabelle 32).

**Tabelle 32: Gehalt der Tagesration an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ der Gruppe S in Versuchsabschnitt 5**

<b>Gruppe</b>    <b>S</b>	<b>FS (kg)</b>	14,5		
	<b>TS (kg)</b>	13,3		
	<b>DE (MJ)</b>	106,7		
	<b>ME (MJ)</b>	88,5		
			<b>aus Heu (%)</b>	<b>aus Stroh (%)</b>
	<b>XP (g)</b>	1161,4	64,4	9,9
	<b>DXP(g)</b>	705,2	63,4	4,6
	<b>pcvXP (g)</b>	622,8	55,9	5,2
	<b>PEQ</b>	6,6		

Der Energie- und Proteinbedarf gemäß den Versorgungsempfehlungen wurde in diesem Versuchsabschnitt überschritten. Die Aminosäureversorgung erreichte in diesem Zeitraum, über die Erhöhung des Anteils an Ergänzungsfutter, die höchsten Werte im gesamten Versuch. Die Gehalte an Aminosäuren in der Tagesration der Supplementgruppe (S) wurden in Tabelle 33 dargestellt.

**Tabelle 33: Gehalt der Tagesration an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und verdaulichen AS (DAS), Vergleich Ratio (DAS) mit dem Ratio (Muskel) in Gruppe S in Versuchsabschnitt 5**

<b>Gruppe</b>	<b>AS</b>	<b>AS (g/d)</b>	<b>DAS (g/d)</b>	<b>Ratio (DAS)</b>	<b>Ratio (Muskel)</b>
<b>S</b>	<b>Lys</b>	<b>51,7</b>	<b>35,5</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
	<b>Met</b>	<b>14,4</b>	<b>9,2</b>	<b>26</b>	29
	<b>Thr</b>	40,1	25,4	72	55
	<b>His</b>	<b>21,9</b>	<b>13,8</b>	<b>39</b>	56
	<b>Val</b>	47,8	30,2	85	58
	<b>Ileu</b>	37,1	23,6	67	55
	<b>Leu</b>	68,1	43,8	123	99

Begründet in der hohen Lysinversorgung kam es in Bezug zum Ratio-Muskel auch in diesem Versuchsabschnitt zu einem indirekten relativen Methioninmangel, dieser lag für das verdauliche Methionin bei 1,1 g/d. Da in dieser Ration kein Histidin mehr eingesetzt wurde, war auch ein indirekter relativer Histidinmangel in Höhe von 6,1 g/d zu verzeichnen.

Vor den Versuchsabschnitten 6 und 7 wurde aus versuchsmethodischen Gründen jeweils eine identische Übergangsration an die Tiere beider Gruppen verabreicht. Die zwei Tagesrationen wurden im Tabellenanhang dargestellt.

Die Tagesration des Versuchsabschnitts 6 wurde gemäß den neuen Versorgungsempfehlungen für Pferde (GfE, 2014) für den Alterszeitraum 19 bis 24 Monate Lebensalter erstellt. Die entsprechenden neuen Orientierungswerte wurden in Kapitel 4.3 dargestellt. Die Optimierung erfolgte für die Energieversorgung nach der umsetzbaren Energie (ME) und für die Proteinversorgung nach pcvXP (Tabelle 34).

**Tabelle 34: Gehalte der Tagesrationen an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 6**

<b>Gruppe S</b>	<b>FS (kg)</b>	11,2		
	<b>TS (kg)</b>	10,1		
<b>C</b>	<b>FS (kg)</b>	11,2		
	<b>TS (kg)</b>	10,1		
<b>S</b>	<b>DE (MJ)</b>	77,9		
	<b>ME (MJ)</b>	64,7		
<b>C</b>	<b>DE (MJ)</b>	76,9		
	<b>ME (MJ)</b>	64,8		
<b>S</b>			<b>aus Heu (%)</b>	<b>aus Stroh (%)</b>
	<b>XP (g)</b>	753,9	62,3	15,3
	<b>DXP(g)</b>	418,5	58,4	7,8
	<b>pcvXP (g)</b>	399,1	56,1	8,1
	<b>PEQ</b>	5,4		
<b>C</b>			<b>aus Heu (%)</b>	<b>aus Stroh (%)</b>
	<b>XP (g)</b>	626,1	75,0	18,4
	<b>DXP(g)</b>	299,3	81,7	10,9
	<b>pcvXP (g)</b>	286,7	78,1	11,3
	<b>PEQ</b>	3,9		

Der Energiebedarf an umsetzbarer Energie (ME) gemäß den Versorgungsempfehlungen wurde in den eingesetzten Tagesrationen für beide Gruppen nicht erreicht. Der Bedarfswert an pcvXP in Höhe von 383 g pro Tag wurde nur in der Supplementgruppe (S) erreicht bzw. leicht überschritten. In der Tagesration der Kontrollgruppe (C) war ein Mangel an pcvXP zu verzeichnen.

Bei Betrachtung des Rohproteingehalts (XP) der Ration der Kontrollgruppe (C) wurde festgestellt, dass dieser bedarfsdeckend war. Dieser Zusammenhang unterstreicht die erforderliche Konzentration auf die Proteinqualität in Pferderationen, wie sie gemäß den neuen Versorgungsempfehlungen Pferd der GfE (2014) erfolgen soll.

Der Aminosäuregehalt der Rationen wurde in Tabelle 35 dargestellt. In der Supplementgruppe (S) war der Lysinbedarf über die Ration mit dem Ergänzungsfutter gedeckt, beim Histidingehalt war ein Mangel im Bezug zum Ratio zu verzeichnen.

Bei Betrachtung des Ratio der unentbehrlichen Aminosäuren (pcvAS) insgesamt, wie sie aus der Ration in der Gruppe S geliefert wurden, wurde eine optimale Annäherung an den Bedarf der Tiere erzielt, das Ratio (Muskel) wurde als Optimierungsziel mit angegeben.

**Tabelle 35: Gehalte der Tagesrationen an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und pcvAS, Vergleich Ratio (pcvAS) mit Ratio (Muskel) im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 6**

Gruppe	AS	AS (g/d)	pcvAS (g/d)	Ratio (pcvAS)	Ratio (Muskel)
<b>S</b>	<b>Lys</b>	<b>42,9</b>	<b>28,3</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
	<b>Met</b>	12,9	8,3	29	29
	<b>Thr</b>	30,5	17,2	61	55
	<b>His</b>	<b>15,8</b>	<b>8,5</b>	<b>30</b>	56
	<b>Val</b>	35,4	19,6	69	58
	<b>Ileu</b>	27,7	15,6	55	55
	<b>Leu</b>	50,5	29,0	102	99
<b>C</b>	<b>Lys</b>	<b>25,2</b>	<b>11,8</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
	<b>Met</b>	8,0	3,7	32	29
	<b>Thr</b>	23,0	10,6	90	55
	<b>His</b>	<b>13,1</b>	<b>6,2</b>	<b>53</b>	56
	<b>Val</b>	27,9	13,0	110	58
	<b>Ileu</b>	21,1	9,8	83	55
	<b>Leu</b>	37,4	17,5	148	99

In Gruppe C wurde keine Bedarfsdeckung für Lysin und Histidin erreicht. Das Defizit an Lysin lag bei 14,47 g/d, für Histidin nahm es einen Wert von 7,89 g/d an.

Die Tagesrationen des Versuchsabschnitts 7 wurden bis zum Versuchsende eingesetzt. Der Energiegehalt (ME) war in diesem Zeitraum bedarfsgerecht eingestellt. Auch der Proteinbedarf an pcvXP gemäß Versorgungsempfehlungen wurde in diesen Rationen in beiden Gruppen gedeckt (Tabelle 36).

Der Lysinbedarf wurde in Gruppe S um 1,1 g/d unterschritten. Auch das Histidin zeigte sich in Bezug zum Ratio (Muskel) im Vergleich mit Ratio (pcvAS) indirekt im Mangel, es fehlten 4,9 g/d zur Bedarfsdeckung. Für die verzweigtkettigen Aminosäuren Isoleucin und Leucin wurde die Bedarfsdeckung gemäß dem Ratio (Muskel) nur annähernd erreicht (Tabelle 37).

**Tabelle 36: Gehalte der Tagesrationen an Trockensubstanz, Energie und Protein sowie der PEQ im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 7**

<b>Gruppe S</b>	<b>FS (kg)</b>	12,8		
	<b>TS (kg)</b>	11,7		
<b>C</b>	<b>FS (kg)</b>	12,8		
	<b>TS (kg)</b>	11,6		
<b>S</b>	<b>DE (MJ)</b>	90,9		
	<b>ME (MJ)</b>	75,6		
<b>C</b>	<b>DE (MJ)</b>	89,3		
	<b>ME (MJ)</b>	74,4		
<b>S</b>			<b>aus Heu (%)</b>	<b>aus Stroh (%)</b>
	<b>XP (g)</b>	914,5	67,4	12,6
	<b>DXP(g)</b>	531,6	66,9	6,1
	<b>pcvXP (g)</b>	473,3	62,1	6,8
	<b>PEQ</b>	5,8		
<b>C</b>			<b>aus Heu (%)</b>	<b>aus Stroh (%)</b>
	<b>XP (g)</b>	873,5	70,5	13,2
	<b>DXP(g)</b>	486,1	73,2	6,7
	<b>pcvXP (g)</b>	439,3	66,9	7,4
	<b>PEQ</b>	5,4		

Aus der Ration der Gruppe C wurden 32,1 g Lysin pro Tag geliefert, dies entsprach einem Lysinmangel in Höhe von 6,8 g/d. Ein indirekter relativer Histidinmangel war weiterhin zu verzeichnen, dieser trat trotz der niedrigeren Lysinmenge auf. Die weiteren unentbehrlichen Aminosäuren wurden aus der Tagesration eher in zu hohen Mengen in Bezug zum Vergleichsratio der Muskulatur geliefert (Tabelle 37).

**Tabelle 37: Gehalte der Tagesrationen an unentbehrlichen Aminosäuren (AS) und pcvAS, Vergleich Ratio (pcvAS) mit Ratio (Muskel) im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 7**

<b>Gruppe</b>	<b>AS</b>	<b>AS (g/d)</b>	<b>pcvAS (g/d)</b>	<b>Ratio (pcvAS)</b>	<b>Ratio (Muskel)</b>
<b>S</b>	<b>Lys</b>	<b>38,6</b>	<b>22,7</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
	<b>Met</b>	16,7	11,6	51	29
	<b>Thr</b>	27,7	13,2	58	55
	<b>His</b>	<b>15,9</b>	<b>7,7</b>	<b>34</b>	56
	<b>Val</b>	33,8	16,2	71	58
	<b>Ileu</b>	25,7	<b>12,3</b>	<b>54</b>	55
	<b>Leu</b>	45,7	<b>22,1</b>	<b>98</b>	99
<b>C</b>	<b>Lys</b>	<b>32,1</b>	<b>16,3</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
	<b>Met</b>	10,4	5,4	33	29
	<b>Thr</b>	28,8	14,4	88	55
	<b>His</b>	<b>16,8</b>	<b>8,6</b>	<b>53</b>	56
	<b>Val</b>	35,4	17,9	110	58
	<b>Ileu</b>	26,9	13,7	84	55
	<b>Leu</b>	48,4	24,8	153	99

## 5.2 Wachstumsparameter

In diesem Ergebnisteil werden die verschiedenen gemessenen Wachstumsparameter in verschiedenen Zeiträumen detailliert betrachtet und dargestellt.

### 5.2.1 Lebendmasseentwicklung Gesamtversuch und in den Versuchsabschnitten

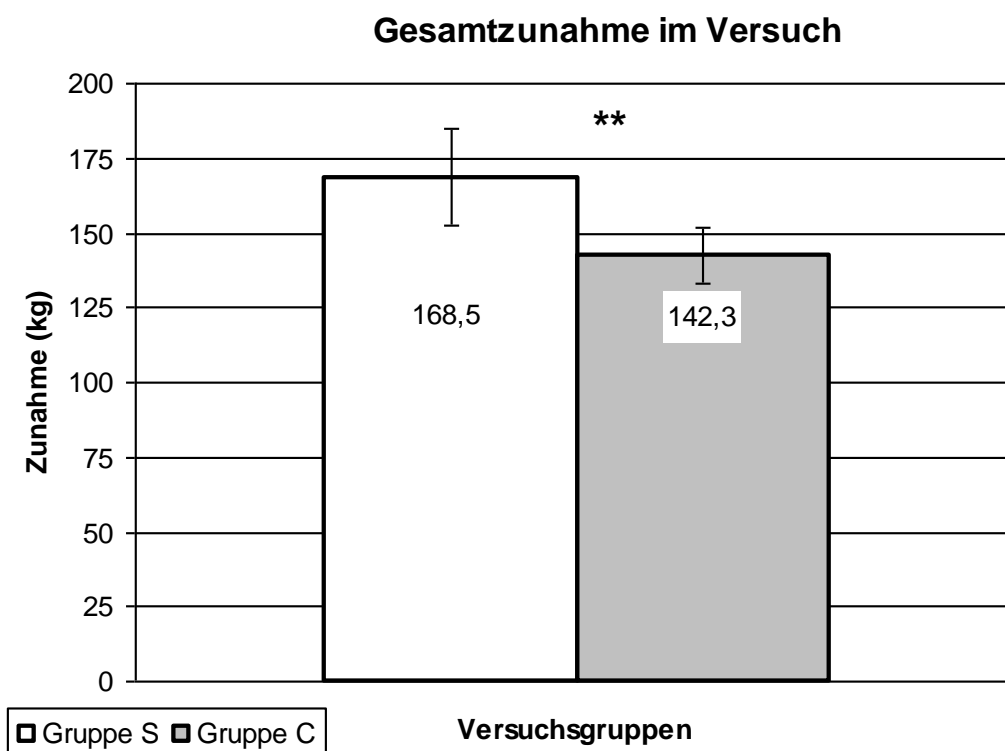
Zunächst wurde die Entwicklung der Gesamtlebendmasse und der Gesamtzunahmen der Tiere in den Vergleichsgruppen betrachtet. Zu Beginn des Versuchs hatte die Supplementgruppe (S) eine durchschnittliche LM von  $324,33 \pm 14,69$  kg. Die Kontrollgruppe (C) wies eine LM von  $332,17 \pm 30,73$  kg auf. Im Monat August 2011 waren die LM der Gruppen im Mittel identisch. Bei Versuchsende wies Gruppe S mit  $492,83 \pm 27,92$  kg eine tendenziell höhere mittlere LM auf als Gruppe C mit  $474,50 \pm 30,66$  kg ( $p > 0,05$ ). Im Versuchsverlauf steigerte sich die LM-Relation zu einer angenommenen adulten Masse von 600 kg von anfänglich 54 % in Gruppe S bzw. 55 % in Gruppe C zu 82 % bzw. 79 % (Tabelle 38).

**Tabelle 38: Lebendmasseentwicklung der Gruppen absolut (kg) sowie relativ (%) in Bezug zur Adultlebendmasse (600 kg) in Abhängigkeit vom Messtermin**

Messtermin	S			C		
	MW	SD	% adult	MW	SD	% adult
16.02.11	321,5	17,4	54	332,5	24,8	55
16.03.11	327,5	21,0	55	338,8	24,0	56
13.04.11	342,7	21,0	57	350,3	25,5	58
11.05.11	353,2	22,2	59	361,8	24,9	60
08.06.11	372,7	22,0	62	379,3	23,4	63
06.07.11	387,8	20,9	65	391,2	23,3	65
03.08.11	399,8	20,9	67	402,2	25,0	67
31.08.11	416,2	21,2	69	415,3	24,9	69
28.09.11	434,5	23,2	72	431,3	27,4	72
26.10.11	446,3	24,4	74	439,8	24,5	73
23.11.11	453,5	25,2	76	447,3	27,6	75
21.12.11	457,3	26,2	76	452,5	26,9	75
18.01.12	455,2	28,9	76	459,5	27,1	77
15.02.12	471,5	25,9	79	464,0	28,8	77
14.03.12	475,2	23,9	79	462,8	27,5	77
11.04.12	473,7	23,6	79	459,8	24,6	77
09.05.12	479,0	26,3	80	465,0	26,0	78
06.06.12	484,8	26,6	81	469,3	28,8	78
27.06.12	492,8	27,9	82	474,5	30,7	79

Es gab zu keinem Zeitpunkt im Versuchsverlauf signifikante Unterschiede der mittleren Gesamtlebendmasse im Vergleich der Gruppen.

Die Gesamtzunahme der Lebendmasse im Versuchszeitraum war in der Supplementgruppe (S) mit  $168,50 \pm 16,08$  kg signifikant höher als in der Kontrollgruppe (C) mit  $142,33 \pm 9,31$  kg ( $p \leq 0,01$ ) (Abbildung 3).



\* = signifikant  $p \leq 0,05$ ; \*\* = hoch signifikant  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* = höchst signifikant  $p \leq 0,001$

**Abbildung 3: Durchschnittliche Gesamtzunahme (kg)  $\pm$  SD der Gruppen im Versuch**

Wurden die täglichen Zunahmen nach den Zeiträumen der Jahreszeiten ausgewertet, waren die Zunahmen in den Sommermonaten (April bis September) in beiden Gruppen höher als in den Wintermonaten ( $p < 0,01$ ). Die Tiere der Gruppe S wiesen in den Sommermonaten durchschnittliche Zunahmen in Höhe von  $448 \pm 52$  g/d und im Winter von  $216 \pm 45$  g/d auf. Die Tiere der Gruppe C wiesen durchschnittliche Zunahmen von  $380 \pm 33$  g/d im Sommer und  $166 \pm 43$  g/d im Winter auf.

Um Aussagen zur altersabhängigen Lebendmasseentwicklung zu ermöglichen, wurden die Lebendmasseentwicklung und das Alter der Tiere gemäß der Beschreibung des Wachstums von Pferden zusammen betrachtet. Mittels dieser Auswertung war auch ein Gruppenvergleich möglich.

Die Tiere im Versuch wiesen allerdings Altersunterschiede auf, da beim Pferd eine Gruppenbildung mit Tieren, welche am selben Tag geboren wurden, nahezu unmöglich war.

Bis zu ihrem 16. Lebensmonat waren die Tiere der Gruppe S leichter als die Tiere der Gruppe C, danach wiesen sie höhere LM auf. Diese Unterschiede waren nicht signifikant. Zu Versuchsbeginn war die maximale LM in Gruppe C mit 382 kg höher als in Gruppe S mit 347 kg. Die minimale LM war in beiden Gruppen mit 305 bzw. 304 kg nahezu identisch. Der Median der LM bei Versuchsbeginn lag in Gruppe C bei 319,5 kg, in Gruppe S bei 324,5 kg. Nach einem Monat im Versuchsablauf war der Median beider Gruppen bei 326 kg identisch. Das Maximum und das Minimum blieben bei gleichen Medianen zunächst in Gruppe C über 15 kg höher als in Gruppe S, nahmen dann jedoch ähnliche Werte an.

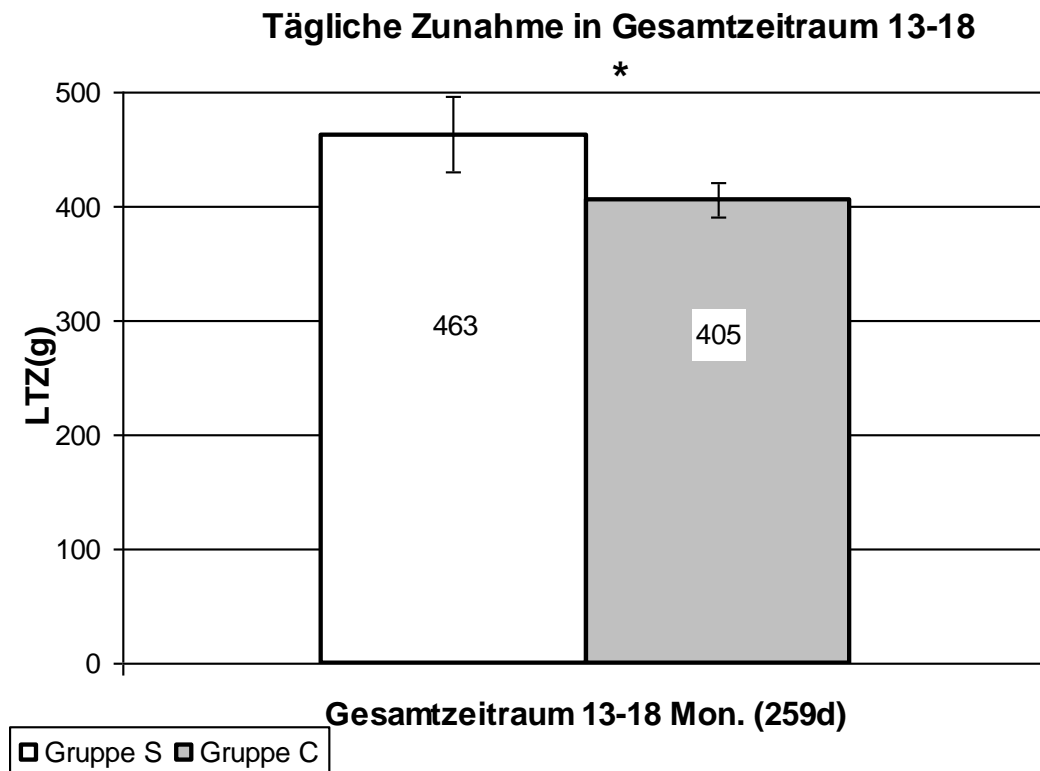
Ab dem 16. März waren sowohl das Maximum als auch das Minimum in Gruppe S höher als in Gruppe C. Der Median verlief im gesamten Versuchszeitraum in Gruppe S in einem höheren Bereich als in Gruppe C. Am Versuchsende lag der Median der Gruppe S bei 487 kg. Der Median der Gruppe C lag zu diesem Zeitpunkt bei 456 kg und damit sogar unter dem Lebendmasseminimum, welches in Gruppe S zu diesem Zeitpunkt erreicht wurde.

Den Effekten der vorgenommenen Rationsoptimierungen im Sinne des Idealprotein-konzeptes Pferd wurde bei der Auswertung der Daten zur Lebendmasseentwicklung besonderes Augenmerk gewidmet. Dafür wurden die Lebendtagszunahmen zunächst in Bezug zu den zwei durchgeführten Optimierungszeiträumen in den Altersphasen 13 bis 18 Monate und 19 bis 24 Monate berechnet, geprüft und dargestellt. In der Auswertung erfolgte ein Vergleich der Wachstumsleistungen gemäß den beiden Versuchsgruppen, die unterschiedliche Protein- und Aminosäurenlieferung aus den Rationen ließ unterschiedliche Wachstumsleistungen erwarten.

Der erste Zeitraum, in welchem die Rationen für den Altersabschnitt 13 bis 18 Monate eingesetzt wurden, hatte eine Länge von 259 Tagen. Die Tiere der Gruppe S erreichten in der täglichen Zunahme einen Wert von  $463 \pm 33$  g/d und die Tiere der Gruppe C  $405 \pm 15$  g/d.



Damit wiesen die Tiere der Gruppe S in diesem Zeitraum signifikant höhere tägliche Zunahmen auf ( $p = 0,003$ ) (Abbildung 4).



\* = signifikant  $p \leq 0,05$ ; \*\* = hoch signifikant  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* = höchst signifikant  $p \leq 0,001$

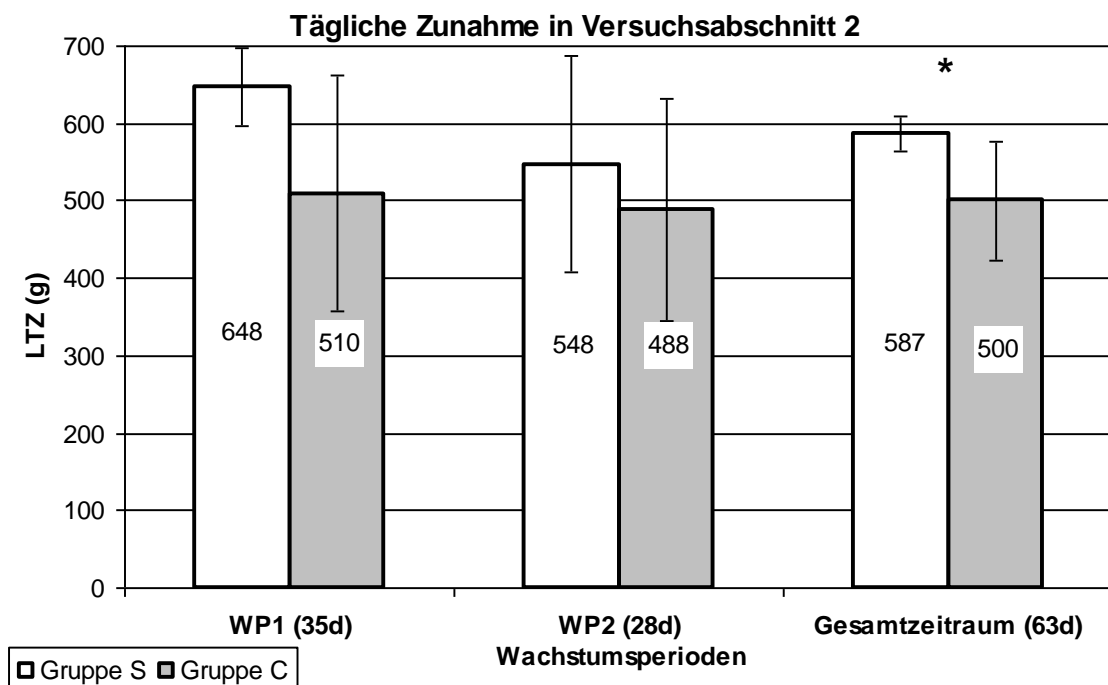
**Abbildung 4: Entwicklung der Lebendtagszunahme (g)  $\pm$  SD im Vergleich der Gruppen im Altersabschnitt 13-18 Monate**

Im Optimierungszeitraum für den Altersabschnitt 19 bis 24 Monate erreichten die Tiere der Gruppe S im Mittel eine tägliche Zunahme von  $201 \pm 21$  g/d und die Tiere der Gruppe C eine tägliche Zunahme in Höhe von  $133 \pm 63$  g/d. Damit wurde ein Unterschied von 70 g/d in der täglichen Zunahme in dem Zeitraum ermittelt, welcher statistisch nicht abzusichern war.

Die Lebendmasseentwicklung in Bezug zu den Versuchsabschnitten. Der engste Bezug der Lebendmasseentwicklung zur Optimierung der Aminosäurenversorgung konnte bei Betrachtung der täglichen Zunahmen im Vergleich mit der Kontrollgruppe (Gruppe C) während der einzelnen Abschnitte des Versuchs hergestellt werden. Die tägliche Zunahme war für eine Beurteilung dieser schnell auftretenden Effekte im Vergleich der Gruppen die optimale Messgröße, um beim Pferd Wachstumsleistungen in Abhängigkeit zur Energie- und Nährstoffversorgung beurteilen zu können (Kapitel 2.2).

Die tägliche Zunahme während Versuchsabschnitt 1, welcher eine Länge von 35 Tagen hatte, unterschied sich nicht zwischen den Gruppen. Sie lag bei  $447 \pm 145$  g/d in Gruppe S und bei  $409 \pm 223$  g/d in Gruppe C. Damit wurde kein Effekt des Sojaextraktionsschrotes im Ergänzungsfutter der Gruppe S (Kapitel 4.3.2) in diesem Parameter ermittelt.

Während dem Versuchsabschnitt 2 (63d) wiesen die Gruppen im Gesamtzeitraum des Einsatzes der spezifischen Rationen einen signifikanten Unterschied im Parameter der täglichen Zunahme auf ( $p = 0,039$ ) (Abbildung 5). Die Tiere der Gruppe S erreichten eine tägliche Zunahme von  $587 \pm 22$  g/d, die Tiere der Gruppe C erreichten einen Wert von  $500 \pm 78$  g/d.



**Abbildung 5: Entwicklung der Lebendtagszunahme (LTZ in g)  $\pm$  SD im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 2**

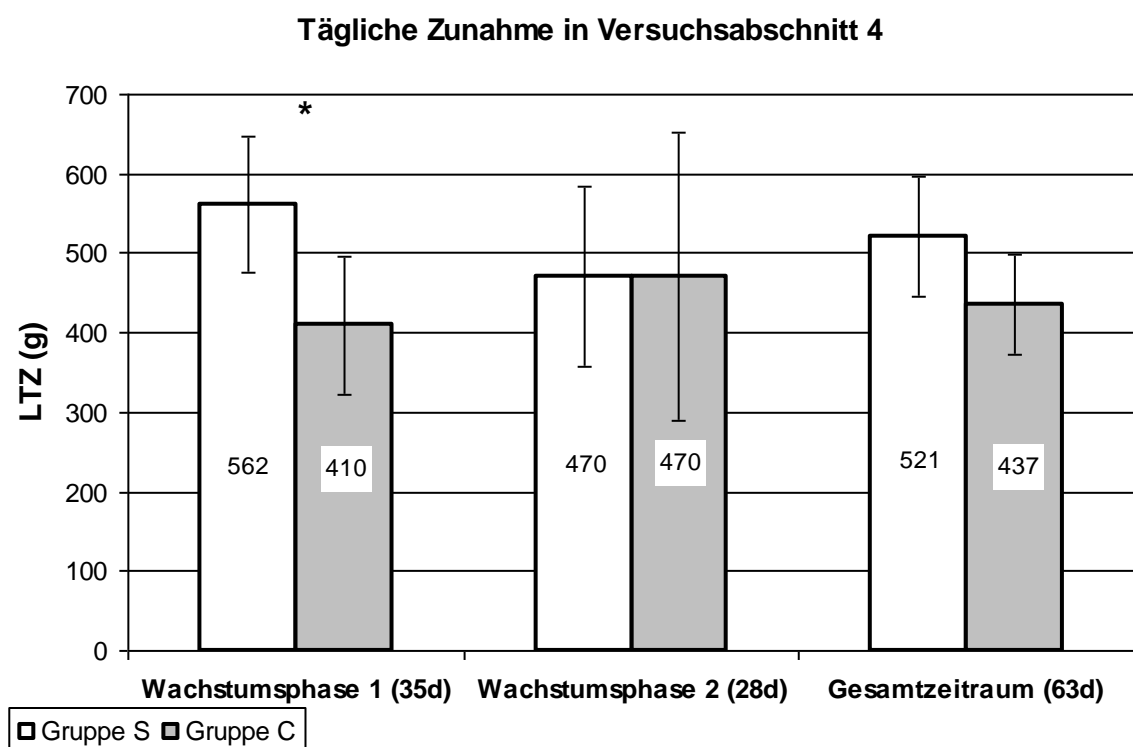
Aufgrund der Länge dieses Versuchsabschnittes wurde dieser zusätzlich in zwei Wachstumsphasen (WP 1 und WP 2) unterteilt und ausgewertet. In Wachstumsphase 1 (35d) und Wachstumsphase 2 (28d) wurden tendenziell höhere Werte für die Gruppe S ermittelt.

In der Gruppe S konnten für die Auswertung nur die Wachstumsdaten von fünf Tieren eingesetzt werden ( $n = 5$ ), da ein Tier der Gruppe verletzt war und durch den Tierarzt behandelt werden musste. Die Futteraufnahme dieses Tieres war durch die Verletzung herabgesetzt.

Die täglichen Zunahmen während des Versuchsabschnitts 3, mit einer Länge von 35 Tagen, lagen in Gruppe S bei  $611 \pm 104$  g/d, sie waren damit tendenziell höher als in Gruppe C, wo die täglichen Zunahmen  $500 \pm 157$  g/d erreichten.

Der Versuchsabschnitt 4 wurde in seiner Gesamtlänge und in zwei Wachstumsphasen (WP) ausgewertet. In Wachstumsphase 1 (35d) wurden in Gruppe S signifikant höhere Zunahmen mit  $562 \pm 86$  g/d im Vergleich zu Gruppe C mit  $410 \pm 86$  g/d ermittelt ( $p = 0,012$ ).

In Wachstumsphase 2 erreichten die Tiere in den Gruppen gleiche Werte für die tägliche Zunahme in Höhe von 470 g/d (Abbildung 6).



\* = signifikant  $p \leq 0,05$ ; \*\* = hoch signifikant  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* = höchst signifikant  $p \leq 0,001$

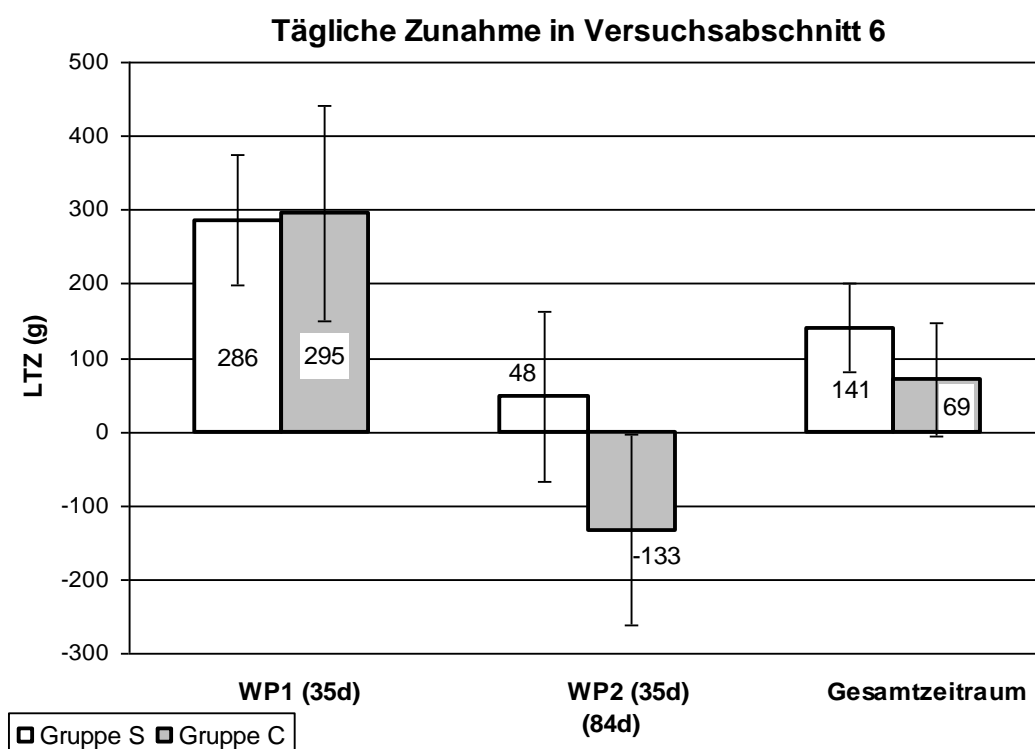
**Abbildung 6: Entwicklung der Lebendtagszunahme (LTZ in g)  $\pm$  SD im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 4**

Bei der Betrachtung der Wachstumsleistungen im Gesamtzeitraum (63d) zeigten die Tiere der Gruppe S tendenziell höhere Zunahmen. Die Ergebnisse der Gruppe S lagen bei  $521 \pm 76$  g/d und bei  $437 \pm 63$  g/d in Gruppe C.

In Versuchsabschnitt 5 erreichten die Tiere der Gruppe S in dem Zeitraum von 63 Tagen eine tägliche Zunahme in Höhe von  $212 \pm 76$  g/d und die Tiere der Gruppe C in Höhe von  $225 \pm 56$  g/d, es waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in dem Zeitraum nachweisbar.

Ab dem Versuchsabschnitt 6 wurden die neuen Versorgungsempfehlungen für die Energie- und Proteinversorgung nach GFE (2014) genutzt. Diese wurde für Pferde im Alterszeitraum 19-24 Monate erstellt, da die Tiere den 19. Lebensmonate erreicht hatten. Dieser Versuchsabschnitt hatte eine Länge von 84 Tagen. Die Tiere der Gruppe S erreichten im Mittel eine tägliche Zunahme in Höhe von  $141 \pm 61$  g/d und die Tiere der Gruppe C von  $69 \pm 77$  g/d.

Auch der Gesamtzeitraum dieser Ration wurde in Wachstumsphasen (WP) unterteilt. Für die Auswertung wurden die Wachstumsleistungen in den ersten beiden Zeiträumen mit einer Länge von 35 Tagen verglichen (Abbildung 7).



**Abbildung 7: Entwicklung der Lebendtagszunahme (LTZ in g)  $\pm$  SD im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 6**

In der Wachstumsphase 1 (WP1) wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt (Abbildung 7). In WP2 hatte die Gruppe C  $-133 \pm 115$  g/d an Abnahme zu verzeichnen, die Tiere der Gruppe S zeigten im Mittel eine geringe Zunahme und erreichten ein positives Ergebnis von  $48 \pm 129$  g/d.

Die Ration des Versuchsabschnitts 7 wurde bis zum Versuchsende am 27. Juni für einen Zeitraum von insgesamt 42 Tagen eingesetzt. Die tägliche Zunahme in Gruppe S war mit  $317 \pm 94$  g/d tendenziell höher als in Gruppe C (Abbildung 8).

### Tägliche Zunahme in Versuchsabschnitt 7

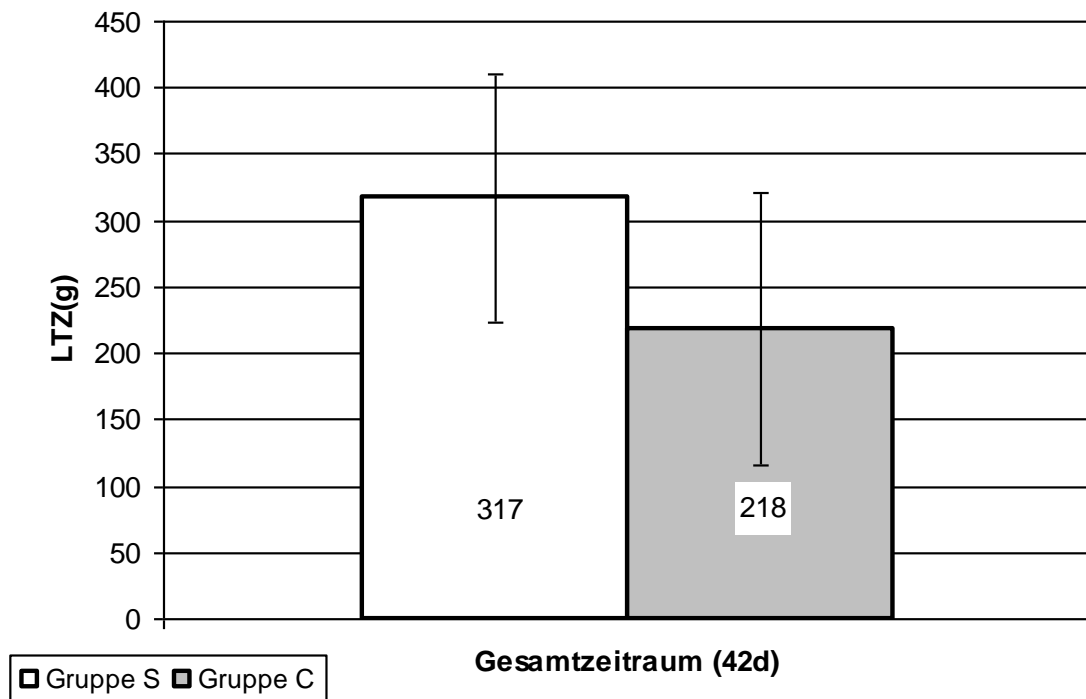


Abbildung 8: Entwicklung der Lebendtagszunahme (LTZ in g)  $\pm$  SD im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 7

Die täglichen Zunahmen der Gruppen lagen in dem Zeitraum bei  $317 \pm 94$  g/d für Gruppe S und bei  $218 \pm 103$  g/d für Gruppe C (Abbildung 8).

#### 5.2.2 Widerristhöhenentwicklung Gesamtversuch und in den Versuchsabschnitten

Bei Betrachtung der Entwicklung der Widerristhöhe (WRH) im Gesamtversuch, dem Parameter für das Größenwachstum von Pferden im Vergleich der Gruppen, wurde ein positiver Effekt der Optimierung der Rationen in der Gruppe S im Sinne des Idealproteinkonzeptes ersichtlich.

Zu Versuchsbeginn wiesen die Tiere der Gruppe S mit  $148,67 \pm 1,97$  cm im Mittel eine geringere WRH auf als die Tiere der Gruppe C mit  $150 \pm 1,41$  cm. Dieser Unterschied verringerte sich bis zum 31. August 2011, an dem die WRH beider Gruppen im Mittel bei  $157,17 \pm 2$  cm lag. Ab diesem Zeitpunkt im Versuch war die WRH der Tiere in der Gruppe S tendenziell höher als in der Gruppe C.

Zu Versuchsende wiesen die Tiere der Gruppe S im Mittel mit  $164 \pm 0,63$  cm eine tendenziell höhere WRH auf als die Tiere der Gruppe C mit  $162,83 \pm 1,17$  cm (Tabelle 39).

**Tabelle 39: Widerristhöhenentwicklung der Gruppen absolut (cm)  $\pm$  SD in Abhängigkeit vom Messtermin**

Messtermin im Versuch	Supplementgruppe		Kontrollgruppe	
	MW	SD	MW	SD
16.02.11	149	2,0	150	1,4
16.03.11	149	1,8	151	1,5
13.04.11	152	1,3	151	1,3
11.05.11	153	1,2	153	1,3
08.06.11	153	1,2	154	1,6
06.07.11	155	1,7	156	1,6
03.08.11	156	1,5	156	1,6
31.08.11	157	2,4	157	1,7
28.09.11	158	2,2	158	2,2
26.10.11	160	2,0	158	1,9
23.11.11	160	1,8	159	1,6
21.12.11	160	1,6	159	1,2
18.01.12	161	1,3	161	1,9
15.02.12	161	1,0	162	1,8
14.03.12	162	0,9	162	1,5
11.04.12	162	0,5	162	1,5
09.05.12	163	1,0	162	1,4
06.06.12	164	1,0	162	1,0
27.06.12	164	0,6	163	1,2

MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung

Bei der Betrachtung von Median, Maximum und Minimum der Widerristhöhenentwicklung im Gesamtversuch war auch hier die Tendenz erkennbar, dass Gruppe S in diesem Parameter ein stärkeres Wachstum zeigte. Die Werte dieser Gruppe wiesen zu Beginn einen geringeren Median sowie ein geringeres Minimum auf.

Ab dem 16. September 2011 waren jedoch Median und Minimum in dieser Gruppe höher. Am Versuchsende war das Minimum der Gruppe S gleich dem Median der Gruppe C (Abbildung 9).

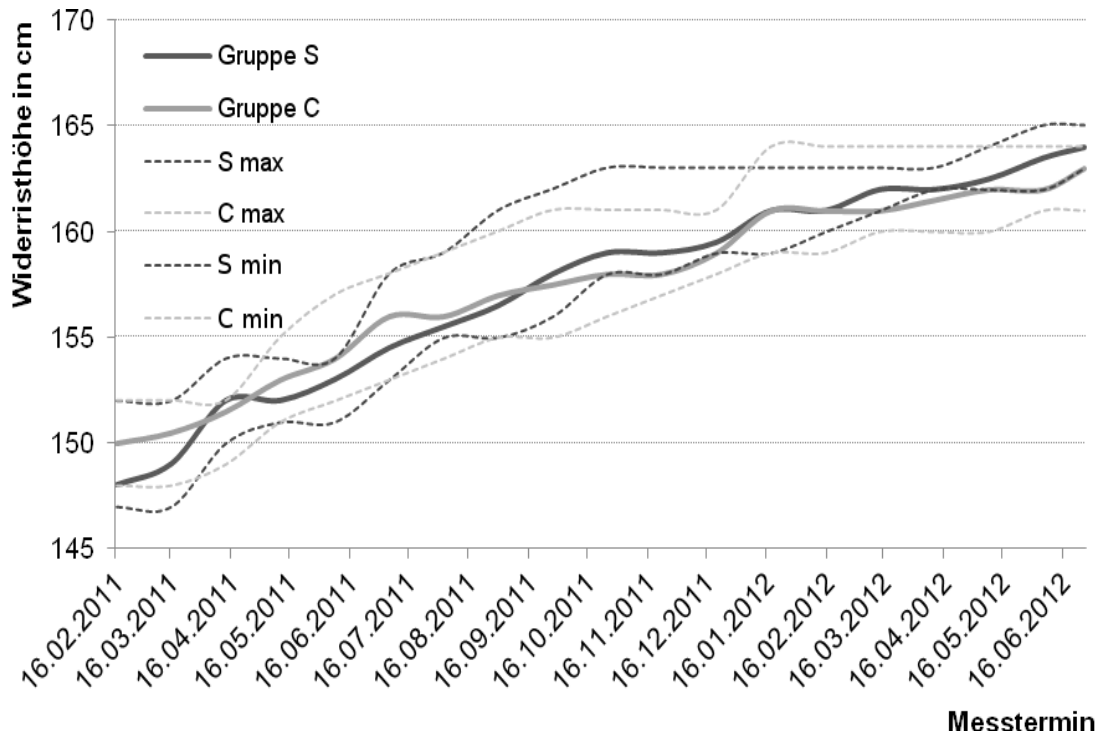
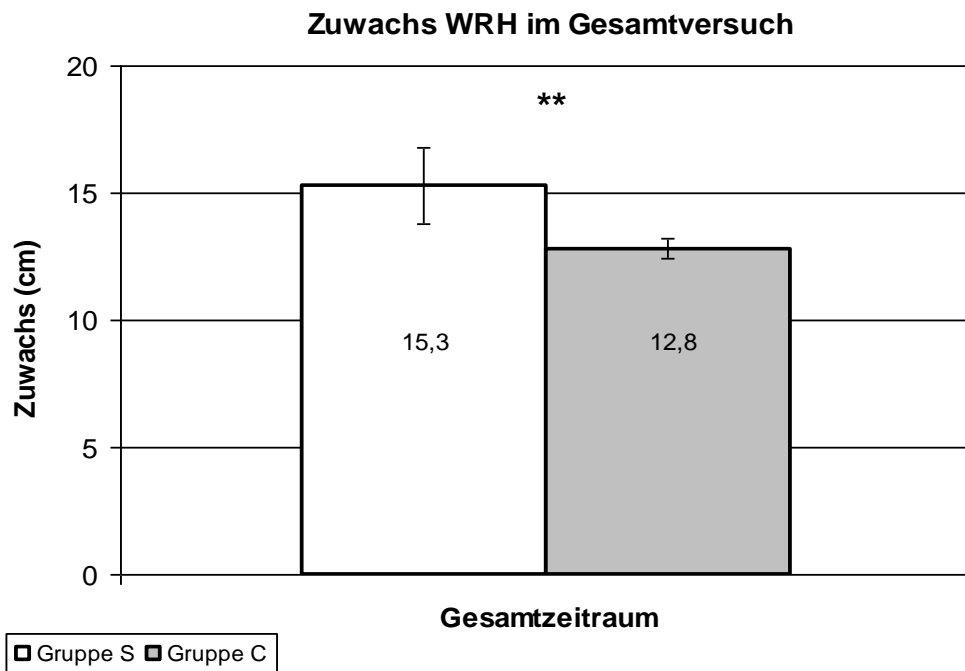


Abbildung 9: Entwicklung des Medians der Lebendmasse der Gruppen mit Maximum und Minimum im Versuchsverlauf

Bei Betrachtung des Zuwachses im Parameter der Widerristhöhe im Gesamtversuch wurde ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen erfasst (Abbildung 10).



\* = signifikant  $p \leq 0,05$ ; \*\* = hoch signifikant  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* = höchst signifikant  $p \leq 0,001$

Abbildung 10: Mittlerer Gesamtzuwachs in der Widerristhöhe (cm)  $\pm$  SD im Vergleich der Gruppen (Gesamtversuch)

Der mittlere Zuwachs in Gruppe S erreichte einen Wert von  $15,3 \pm 1,5$  cm, in der Gruppe C wurde im Gegensatz dazu ein Wert von  $12,8 \pm 0,4$  cm ermittelt (Abbildung 10). Im Mittel der Gruppe S konnte damit ein signifikant höheres Wachstum in diesem Parameter nachgewiesen werden ( $p < 0,01$ ).

Die Entwicklung der Widerristhöhe in Bezug zum Alter der Tiere hatte einen sehr ähnlichen Verlauf. Tendenziell waren die Tiere der Gruppe S ab dem 543. Lebensstag um 1 cm größer (Tabelle 40).

**Tabelle 40: Widerristhöhenentwicklung der Gruppen absolut (cm)  $\pm$  SD in Abhängigkeit vom Lebensalter**

Alter (d) $\pm$ 7	Supplementgruppe		Kontrollgruppe	
	MW	SD	MW	SD
347	150	2	150	2
403	152	2	152	2
459	154	2	155	2
515	156	2	157	2
543	158	3	157	2
571	159	2	158	2
627	160	2	159	1
683	162	1	161	2
795	163	1	162	1
821	164	1	163	1

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung

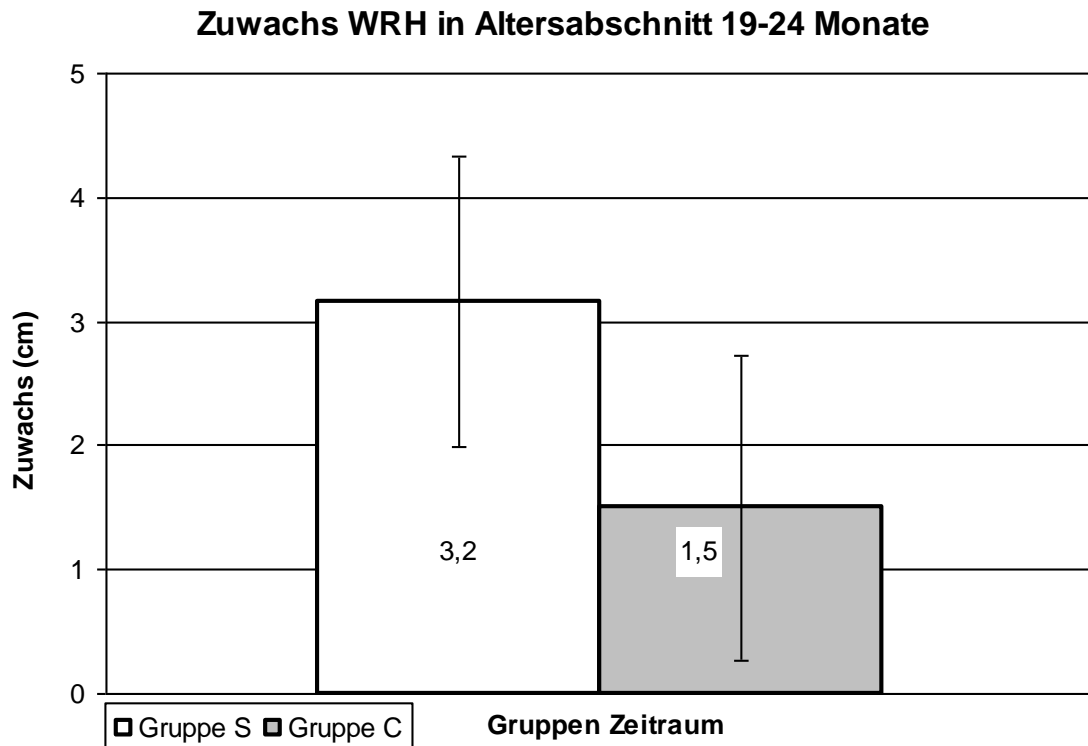
Die Widerristhöhenentwicklung der Tiere in den Altersabschnitten 13-18 Monate und 19-24 Monate wurde verglichen, um einen Einfluss der eingesetzten Rationen auf das Größenwachstum in ihrer Gesamtheit, in der Summe der enthaltenen Versuchsabschnitte, beurteilen zu können.

Während des Zeitraums 13-18 Monate wurde bei den Tieren in Gruppe S ein Wert von  $8,3 \pm 0,8$  cm und in der Gruppe C ein Wert von  $8,2 \pm 0,8$  cm für das Wachstum ermittelt. Damit wiesen die Wachstumsleistungen in der Betrachtung dieses langen Zeitraums keine signifikanten Unterschiede auf, das Wachstum war ausgeglichen.

Im Altersabschnitt 19-24 Monate, in welchem Werte der neuen Versorgungsempfehlungen der GfE (GFE, 2014) für die Erstellung der Rationen genutzt wurden, konnte für die Gruppe S ein mittleres Wachstum in Höhe von  $3,2 \pm 1,2$  cm ermittelt werden.



Die Gruppe C erreichte in dem Parameter im genannten Zeitraum einen niedrigeren Wert von  $1,5 \pm 1,2$  cm (Abbildung 11). Damit war auch hier eine starke Tendenz für höhere Wachstumsleistungen in der Gruppe S zu beobachten.



**Abbildung 11: Entwicklung des mittleren Gesamtwachses (cm)  $\pm$  SD im Vergleich der Gruppen im Altersabschnitt 19-24 Monate**

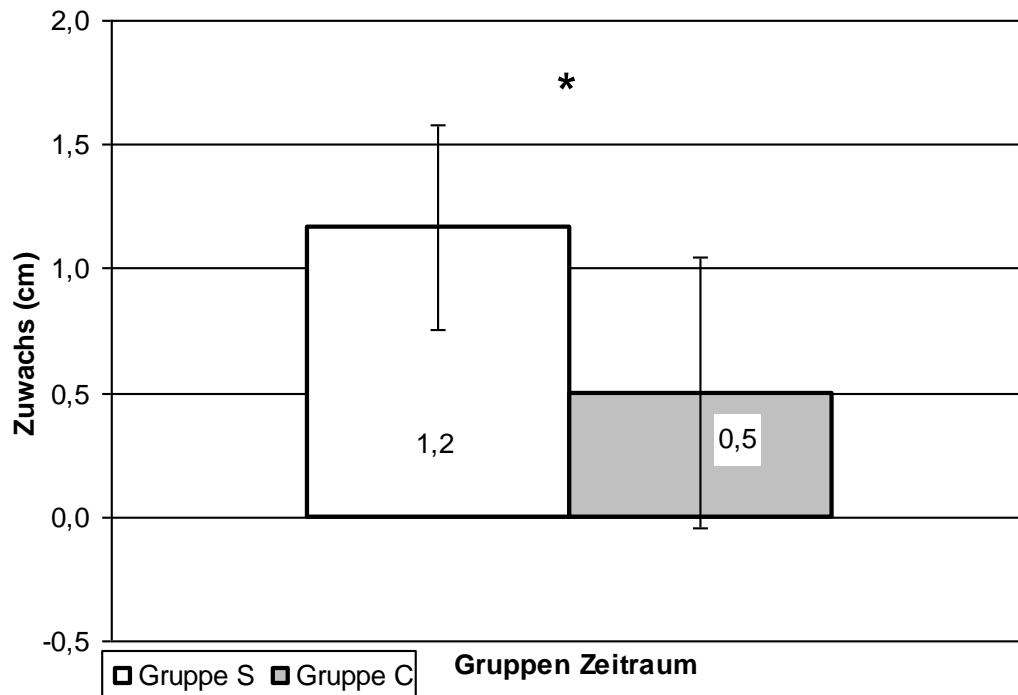
Die Widerristhöhenentwicklung in den Versuchsabschnitten wurde in Abhängigkeit der eingesetzten Rationen betrachtet. Da die Versuchsabschnitte relativ lange Zeiträume umfassten, war zu erwarten, dass Effekte der Optimierungen in der Gruppe S auch im Parameter der Widerristhöhe zu ermitteln waren. Der Parameter WRH beschrieb das Größenwachstum von Pferden und reagierte damit eher langsam auf veränderte Umwelteffekte (Kapitel 2.2).

Im Versuchsabschnitt 1 erreichten die Tiere der Gruppe S einen mittleren Wert in Höhe von  $0,7 \pm 1,0$  cm und die Tiere der Gruppe C in Höhe von  $2,2 \pm 0,8$  cm in diesem Wachstumsparameter.

Die Wachstumsleistung in dem Parameter im Vergleich der Gruppen für den Versuchsabschnitt 2 war ausgeglichen, sie lag für die Gruppe S bei  $2,3 \pm 1,2$  cm und für Gruppe C bei  $2,7 \pm 0,5$  cm.

Ab dem Versuchsabschnitt 3 zeigten die Tiere der Gruppe S im Mittel ein signifikant höheres Wachstum ( $p = 0,038$ ), welches bei  $1,2 \pm 0,4$  cm lag. Die Wachstumsleistung im Mittel der Gruppe C bewegte sich in diesem Zeitraum bei einem Wert von  $0,5 \pm 0,5$  cm (Abbildung 12).

### Zuwachs WRH in Versuchsabschnitt 3



\* = signifikant  $p \leq 0,05$ ; \*\* = hoch signifikant  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* = höchst signifikant  $p \leq 0,001$

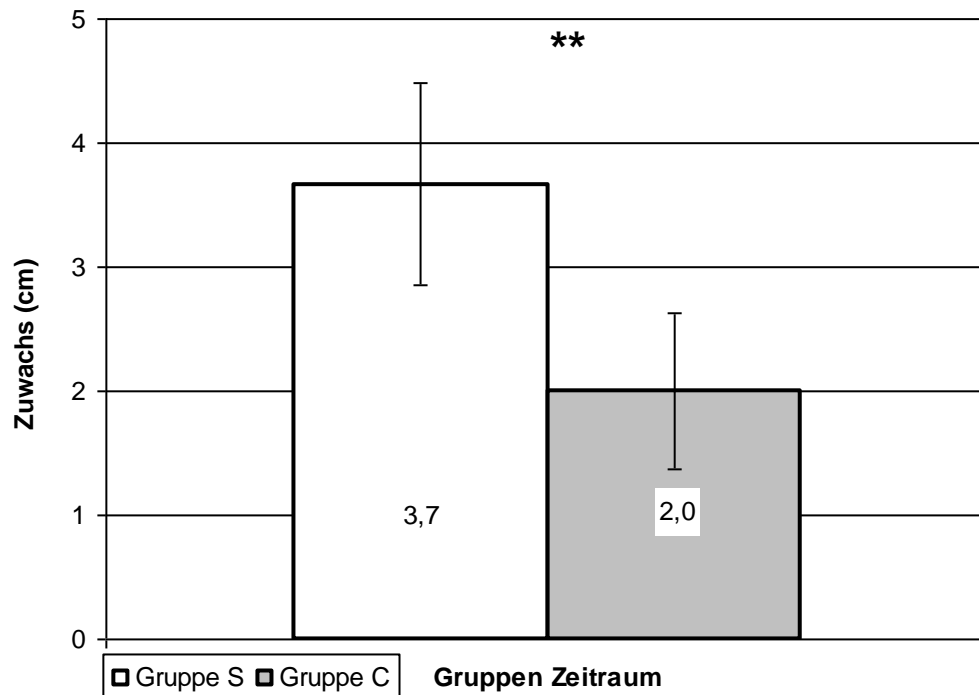
**Abbildung 12: Entwicklung des mittleren Gesamtzuwachses (cm)  $\pm$  SD im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 3**

Im Zeitraum des Versuchsabschnitts 4 wurde in der Supplementgruppe erstmals der Lysinbedarf der Tiere gemäß den Versorgungsempfehlungen gedeckt.

Diese hohe Versorgung erfolgte über die Ergänzung von Kartoffelprotein und kristallinem Lysin im Ergänzungsfutter dieser Gruppe.

Während des Versuchsabschnitts zeigten sich hoch signifikant ( $p = 0,002$ ) höhere Wachstumsleistungen in der Supplementgruppe, welche einen Wert für diesen Wachstumsparameter in Höhe von  $3,7 \pm 0,8$  cm erreichte. Die Tiere der Gruppe C erreichten im Mittel einen Wert von  $2,0 \pm 0,6$  cm in diesem Parameter (Abbildung 13).

## Zuwachs WRH in Versuchsabschnitt 4



\* = signifikant  $p \leq 0,05$ ; \*\* = hoch signifikant  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* = höchst signifikant  $p \leq 0,001$

**Abbildung 13: Entwicklung des mittleren Gesamtwachses (cm)  $\pm$  SD im Vergleich der Gruppen in Versuchsabschnitt 4**

Im Versuchsabschnitt 5 wurde in der Gruppe S ein Wachstum in Höhe von  $0,5 \pm 0,8$  cm und in der Gruppe C von  $0,8 \pm 0,8$  cm ermittelt, die Wachstumsleistungen in dem Parameter unterschieden sich damit nicht zwischen den Gruppen.

Ab dem 18. Januar 2012 wurden in den zwei folgenden Versuchsabschnitten Rationen für den Alterszeitraum 19-24 Monate eingesetzt. In dem ersten Abschnitt dieses Zeitraums, dem Versuchsabschnitt 6, erreichten die Tiere der Gruppe S einen Zuwachs von  $1,5 \pm 1,1$  cm und die Tiere der Gruppe C einen Zuwachs von  $0,5 \pm 0,5$  cm. Die Ergebnisse im Vergleich der Gruppen zeigten damit in dem Zeitraum eine starke Tendenz zu einer höheren Wachstumsleistung in Gruppe S im Vergleich zur Gruppe C.

Im Zeitraum des Versuchsabschnitts 7 erreichten die Tiere der Gruppe S ein mittleres Wachstum in der WRH von  $1,2 \pm 0,8$  cm und die Tiere der Gruppe C von  $0,8 \pm 1,2$  cm. Damit wiesen die Wachstumsleistungen im Vergleich der Gruppen in diesem Zeitraum keine signifikanten Unterschiede auf.

### 5.2.3 Wachstum in Körperlänge, Unterarmlänge und Unterarmumfang

Für die Messungen der BIA als Gewebeparameter wurden ab dem 15. Dezember 2011 während des Versuchsabschnitts 5 ausgewählte Körpermaße der Tiere als Parameter für die jeweilige Messung bestimmt. Einer dieser Parameter war die Körperlänge der Tiere. Da dieses Körpermaß in anderen Wachstumsversuchen beim Pferd für die Beurteilung von Wachstumsleistungen aufgeführt wurde (KRUMBIEGEL, 2011), wurden diese Wachstumsleistungen im vorliegenden Versuch zwischen den Gruppen verglichen.

Die erste Messung im Versuch fand am 15. Dezember 2011 statt, die letzte Messung der Körperlänge wurde am 14. Juni 2012 während dem Versuchsabschnitt 7 durchgeführt. Bei der Betrachtung des Gesamtzeitraums zwischen diesen beiden Messterminen wiesen die Tiere der Supplementgruppe im Mittel ein Wachstum von  $7,2 \pm 4,9$  cm auf. Die Wachstumsleistung im Mittel der Kontrollgruppe (C) war in diesem Parameter tendenziell höher. Sie lag bei  $10,4 \pm 2,9$  cm. Diese ermittelten Wachstumsleistungen, ausgewertet im Vergleich der Gruppen, unterschieden sich nicht signifikant.

Zu beiden Messterminen während der Versuchsabschnitte 6 und 7 waren keine signifikanten Unterschiede der Unterarmlänge (UAL) im Mittel zwischen den Gruppen erkennbar (Tabelle 41). Der Zuwachs der UAL unterschied sich nicht signifikant zwischen den Gruppen, war aber im Mittel der Gruppe S mit  $1,3 \pm 0,8$  cm tendenziell höher als in Gruppe C mit  $0,8 \pm 1,3$  cm.

**Tabelle 41: Unterarmlänge der Hengste je Messtermin im Mittel der Gruppen (MW), mittlerer Zuwachs, Standardabweichung (SD) (in cm)**

Supplementgruppe	Messtermin 1	Messtermin 2	Zuwachs
<b>MW</b>	47,5	48,8	<b>1,3</b>
SD	1,5	1,5	0,8
<b>Kontrollgruppe</b>			
<b>MW</b>	47,8	48,5	<b>0,8</b>
SD	2,0	1,1	1,3

Der Zuwachs im Parameter Unterarmumfang (UAU) war in Gruppe S mit  $2,4 \pm 1,4$  cm im selben Zeitraum tendenziell höher als in Gruppe C mit  $1,7 \pm 0,4$  cm.

Der UAU war damit zu beiden Messzeitpunkten in Gruppe S höher und nahm bei allen Tieren zwischen dem ersten Messtermin am 15. Februar 2012 (Versuchsabschnitt 6) und dem zweiten Messtermin am 13. Juni 2012 (Versuchsabschnitt 7) zu.

Einzeltiere der Supplementgruppe (S) zeigten Zuwächse von über 3 cm in diesem Parameter, während der maximale Zuwachs in der Kontrollgruppe (C) bei 2 cm lag. Beim zweiten Messtermin war der Unterarmumfang in Gruppe S mit  $41 \pm 0,9$  cm signifikant höher als in Gruppe C welche im Mittel einen Wert von  $38,7 \pm 1,2$  cm aufwies (Tabelle 42).

**Tabelle 42: Unterarmumfang der Hengste je Messtermin im Mittel der Gruppen (MW), mittlerer Zuwachs, Standardabweichung (SD) (in cm)**

Supplementgruppe	Messtermin 1	Messtermin 2	Zuwachs
<b>MW</b>	38,6	<b>41,0 *</b>	<b>2,4</b>
SD	1,1	0,9	1,4
<b>Kontrollgruppe</b>			
<b>MW</b>	37,0	<b>38,7 *</b>	<b>1,7</b>
SD	1,5	1,2	0,4

\* markieren signifikante Unterschiede in den Spalten

### 5.3 Gewebeparameter

In diesem Ergebnisteil werden die verschiedenen untersuchten Gewebeparameter Muskelumfang, BIA und Röntgen in den verschiedenen Zeiträumen detailliert betrachtet und die Ergebnisse dargestellt.

#### 5.3.1 Muskelumfang

Der Umfang des Muskels, welcher als Indikator für das Muskelwachstum des Gesamtkörpers bei den Tieren genutzt wurde, nahm in Gruppe S mit  $10,95 \pm 3,6$  mm signifikant stärker zu als in Gruppe C mit  $4,79 \pm 2,9$  mm (Tabelle 43).

**Tabelle 43: Muskelumfang der Hengste je Messtermin im Mittel der Gruppen (MW), mittlerer Zuwachs und Standardabweichung (SD) (in mm)**

Supplementgruppe	Messtermin 1	Messtermin 2	Zuwachs
<b>MW</b>	140,7	151,6	<b>10,95 *</b>
SD	7,4	6,1	3,57
<b>Kontrollgruppe</b>			
<b>MW</b>	142,2	147,0	<b>4,79 *</b>
SD	9,1	8,3	2,90

\* markieren signifikante Unterschiede in den Spalten

Am ersten Messtermin war der Muskelumfang im Mittel der Gruppe C im Vergleich zur Gruppe S tendenziell höher. Im Gegensatz dazu zeigte dieser Messwert im Mittel der Gruppe S am zweiten Messtermin tendenziell einen höheren Wert. Die Standardabweichung innerhalb der Gruppen war in Gruppe S geringer und sank in beiden Gruppen vom ersten zum zweiten Messtermin ab.

### 5.3.2 Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)

Die Menge an verwertbaren Ergebnissen dieser Untersuchung war nicht zufriedenstellend. Gründe dafür waren in der schwierigen Nutzung des Messgerätes selbst zu finden, weil es immer wieder Fehlmessungen bzw. Werte außerhalb der nötigen geräteeigenen Referenzwerte produzierte.

Der Zeitraum jeder Einzeluntersuchung verlangte dem jeweiligen Tier und den Personen, welche die Messungen durchführten, allerhöchste Konzentration ab. Jederzeit hätten die Jungtiere die Messung durch Austreten oder Steigen verwehren können.

Nach bis zu 20 Minuten Zeitbedarf je Tier für mehrere Versuche, Messwerte im Referenzbereich zu produzieren, wurde die Messung abgebrochen und zum nächsten Tier mit der entsprechenden Messung übergegangen. Eine längere Untersuchungsdauer pro Tier war aus Arbeitsschutzgründen nicht vertretbar.

Die wenigen Werte, welche innerhalb des Referenzbereichs ermittelt wurden und damit als sichere Messwerte gelten konnten, wurden in Tabelle 44 dargestellt.

**Tabelle 44: Parameter der BIA an drei Untersuchungsterminen, relativer Wasser- und Fettgehalt sowie die Magermasse der Tiere (kg)**

Messtermin Datum	Tier Nr.	LM kg	Gesamtwasser % der LM	Körperfett % der LM	Magermasse kg
<b>23.02.2012</b>	S3	500	70,1	4,2	479,1
	C3	454	72,2	1,4	446,4
	C5	445	65,5	10,5	398,4
<b>23.04.2012</b>	S4	460	70,9	3,1	445,6
	S5	455	67,3	8,1	418,2
	S6	446	71,1	2,9	433,1
	C1	496	68,2	6,8	461,9
	C6	442	70,6	3,6	426,5
<b>14.06.2012</b>	S4	471	70,1	4,2	450,0
	S6	460	69,5	5,1	436,8
	C1	512	66,5	9,2	465,2
	C3	454	71,8	1,9	445,1

Die ermittelten Werte konnten damit nur als Orientierungswerte bezüglich der Gewebeverteilung bei den Tieren dienen, eine Betrachtung im Gruppenvergleich wurde nicht durchgeführt. Der Wassergehalt der wachsenden Pferde bewegte sich im Bereich zwischen 65,5 % und 72,2 %, der Fettgehalt zeigte eine scheinbare starke Abhängigkeit vom Wassergehalt und führte zu Werten zwischen 1,4 % und 10,5 %. Anhand dieser Messwerte konnte die Magermasse der Tiere berechnet werden.

### 5.3.3 Röntgen

Die Röntgenuntersuchung der Versuchstiere erfolgte während dem Versuchsabschnitt 6 an einem Termin im gesamten Versuch. Die Ergebnisse konnten damit nur einen orientierenden Charakter haben. Von den Tieren war kein Röntgenstatus vor dem Versuchsbeginn, in der wichtigen Phase der Entwicklung in den ersten sechs Lebensmonaten, bekannt. Die Pferde befanden sich am Untersuchungstermin bereits mehr als zwölf Monate im Versuch, damit war für einen vergleichsweise langen Zeitraum die Umwelt für die Tiere standardisiert und zwischen den Gruppen vergleichbar.

Dem Wunsch des Besitzers der Tiere entsprechend, sollte keine Zuordnung von Einzelwerten zu einzelnen Tieren des Versuchs möglich sein. Aus diesem Grund wurde diese allgemeine Darstellungsform gewählt. Für die durchgeführte Röntgenuntersuchung konnten jeweils fünf Tiere pro Gruppe genutzt werden ( $n = 5$ ). Die Ergebnisse, eingeteilt in Röntgenklassen (BUNDESTIERÄRZTEKAMMER, 2007) sind in Tabelle 45 dargestellt.

**Tabelle 45: Anzahl der Tiere pro Gruppe gemäß Röntgenklassen**

Röntgen- klasse	Gruppen und Anzahl Tiere je Klasse	
	Supplementgruppe ( $n = 5$ )	Kontrollgruppe ( $n = 5$ )
<b>1</b>	-	1
<b>2</b>	1	-
<b>2 bis 3</b>	2	2
<b>3</b>	1	-
<b>4</b>	1	2

Die Befunde, welche zu einer Einordnung der Tiere in Röntgenklasse 4 führten, waren, gemäß Röntgenleitfaden, zystoide Defekte. Diese traten bei bestimmten Tieren an verschiedenen Untersuchungsstellen zum Teil mehrmals auf. Chips (isolierte Verschattungen) führten immer zu Klasse 2 bis 3 oder 3.

Bei Betrachtung der Gruppen war eine gleichmäßigere Verteilung der Tiere der Supplementgruppe zwischen den Röntgenklassen zu beobachten, keines der Tiere dieser Gruppe konnte in Röntgenklasse 1 eingeordnet werden. Die Anzahl der Tiere, welche in Röntgenklasse vier eingeordnet wurden, war in Gruppe C höher.

Ein eindeutiger Effekt der optimierten Protein- und Aminosäurenversorgung in der Supplementgruppe auf diesen Gewebeparameter konnte mit dieser Methode, einer einmaligen Messung im Versuch und der vergleichsweise geringen Tierzahl, nicht nachgewiesen werden.

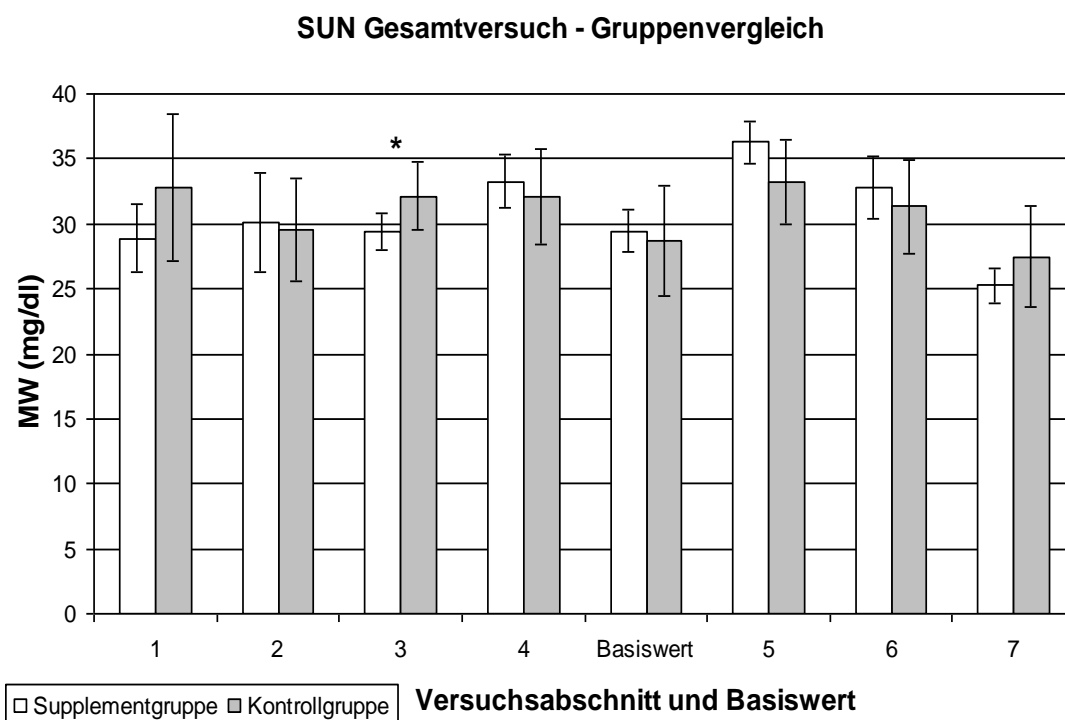
## 5.4 Indikatoren Proteinstoffwechsel

Alle Ergebnisse der im Versuchsverlauf analysierten Verbindungen zur Beschreibung des Proteinstoffwechsels wurden in diesem Abschnitt detailliert gruppenweise dargestellt.

### 5.4.1 Blutharnstoff

Die Ergebnisse der Gehaltsermittlung an Harnstoff-Stickstoff im Serum (SUN) der Tiere lagen in einem Bereich zwischen min. 22,5 und max. 42,3 mg/dl. Beide Extremwerte traten in der Kontrollgruppe (C) auf. Die SUN-Gehalte waren an einem Termin, bei der Messung am 17. August 2011 während dem Versuchsabschnitt 3, mit  $29,40 \pm 1,37$  mg/dl im Mittel der Gruppe S signifikant niedriger als in Gruppe C, die im Mittel  $32,13 \pm 2,65$  mg in diesem Parameter aufwies ( $p < 0,05$ ).

Tendenziell ergaben die Analysen während der Versuchsabschnitte 1 und 7 in Gruppe S geringere Gehalte als in der Gruppe C (Abbildung 14).



\* = signifikant  $p \leq 0,05$ ; \*\* = hoch signifikant  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* = höchst signifikant  $p \leq 0,001$

**Abbildung 14: Mittlere Serumharnstoff-N Gehalte  $\pm$  SD in den Versuchsabschnitten und der Basiswert im Vergleich der Gruppen**



Während der Versuchsabschnitte 4, 5 und 6 verhielt es sich umgekehrt, Gruppe C wies tendenziell geringere Gehalte auf. In Versuchsabschnitt 2 wurden keine Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt.

Bei der Bestimmung des Basiswertes am 21. September 2011 wurden unabhängig von der Fütterung, nach einer Nüchternungsperiode, keine Unterschiede im Blutharnstoffgehalt im Vergleich der Gruppen ermittelt (Abbildung 14).

Tendenziell waren die Standardabweichungen bei allen Messterminen in der Supplementgruppe geringer.

#### 5.4.2 Freie Aminosäuren (PFAA) und 1-Methylhistidin

In Versuchsabschnitt 1 wurde der erste Blutentnahmetermine bei allen Tieren durchgeführt. Die Gehalte an freien Aminosäuren im Blutplasma (PFAA) der Tiere, zwei Stunden nach der Morgenfütterung, sind in Tabelle 46 dargestellt.

**Tabelle 46: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen  $\pm$  SD in Versuchsabschnitt 1**

09.05.2011	Gruppe			
	S		C	
	MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD	MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD
<b>Lys</b>	97,82*	10,27	<b>115,03*</b>	16,76
<b>Met</b>	35,04	6,05	37,80	5,40
<b>Thr</b>	-	-	-	-
<b>His</b>	107,30*	3,37	<b>124,71*</b>	10,67
<b>Trp</b>	95,67	13,73	103,62	9,79
<b>Val</b>	-	-	-	-
<b>Ileu</b>	73,04	9,10	77,17	11,09
<b>Leu</b>	100,16	12,72	97,40	17,15
<b>Phe</b>	86,45	6,80	91,57	13,08
<b>Arg</b>	221,50	17,78	235,93	19,19
<b>Orn</b>	60,69	3,17	74,48	12,38

\*markieren signifikante Unterschiede in den Zeilen ( $p < 0,05$ )

Die Gehalte an Lysin und an Histidin unterschieden sich signifikant zwischen den Gruppen, sie erreichten in Gruppe C höhere Werte als in Gruppe S.

Am 13. Juli 2011 wurde die zweite Blutabnahme durchgeführt. Die Gehalte an PFAA in Abhängigkeit der Ration des Versuchsabschnitt 2 sind im Vergleich der Gruppen in Tabelle 47 dargestellt. Der Gehalt an Methionin, Phenylalanin und Arginin sowie die Gehalte der verzweigtkettigen Aminosäuren Isoleucin und Leucin waren im Mittel der Tiere der Gruppe S signifikant höher als bei den Tieren der Gruppe C. Im Gehalt an Lysin zeigte sich im Ergebnis tendenziell eine Erhöhung in der Supplementgruppe.

Tabelle 47: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen  $\pm$  SD in Versuchsabschnitt 2

13.07.2011	Gruppe			
AS	S		C	
	MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD	MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD
Lys	174,77	48,32	121,76	7,22
Met	<b>54,28*</b>	6,77	41,39*	4,29
Thr	-	-	-	-
His	114,66	8,95	121,86	6,28
Trp	82,44	13,86	79,45	4,69
Val	-	-	-	-
Ileu	<b>99,64*</b>	19,39	55,70*	4,60
Leu	<b>168,41*</b>	21,98	96,81*	8,07
Phe	<b>122,75*</b>	14,53	77,23*	5,06
Arg	<b>222,97*</b>	39,30	177,69*	17,14
Orn	91,36	14,95	83,87	16,65

\*markieren signifikante Unterschiede in den Zeilen ( $p < 0,05$ )

Während dem Versuchsabschnitt 3 wurde die Blutabnahme am 17. August 2011 durchgeführt. Ab der Ration dieses Versuchsabschnitts wurde kristallines Lysin in der Ration der Gruppe S eingesetzt. Lysin und Isoleucin lieferten in der Gruppe S signifikant höhere Werte als in der Gruppe C (Tabelle 48). Für freies Lysin und Ornithin im Mittel der Gruppe C, wurden im Plasma geringere Werte als in der vorherigen Blutentnahme (Versuchsabschnitt 2) ermittelt.

Tabelle 48: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen  $\pm$  SD in Versuchsabschnitt 3

17.08.2011	Gruppe			
AS	S		C	
	MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD	MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD
Lys	<b>136,97*</b>	13,77	90,92*	7,50
Met	45,74	6,45	41,69	5,38
Thr	-	-	-	-
His	99,52	14,47	110,23	7,92
Trp	89,70	8,89	84,89	8,90
Val	-	-	-	-
Ileu	<b>79,69*</b>	8,26	65,25*	4,19
Leu	121,11	19,94	104,04	12,75
Phe	94,81	8,12	91,09	11,51
Arg	194,81	22,88	175,68	10,38
Orn	65,57	9,30	60,13	6,06

\*markieren signifikante Unterschiede in den Zeilen ( $p < 0,05$ )

Am Blutentnahmetag während dem Versuchsabschnitt 4 wurde ein signifikanter Unterschied im Gehalt an Histidin in Gruppe S festgestellt, dieser war in Bezug zur Ration erwartungsgemäß höher als in Gruppe C. Der erhöhte Lysingehalt in Gruppe S zeigte eine starke Tendenz, war aber nicht abzusichern.

Die mittleren Gehalte an freien Aminosäuren im Plasma im Vergleich der Gruppen wurden in Tabelle 49 dargestellt.

Im Gruppenvergleich des mittleren Histidingehaltes im Plasma der Tiere am 17. August 2011 (Versuchsabschnitt 3), fiel dieser gemäß der vorgenommenen Histidinerdüngung mit 145,62 µmol/l in Gruppe S signifikant höher aus ( $p = 0,007$ ). Der Lysingehalt im Plasma der Tiere im Mittel der Gruppe C stieg tendenziell an, die weiteren PFAA in dieser Gruppe bewegten sich innerhalb der Schwankungsbreiten.

**Tabelle 49: Mittlere Gehalte an PFAA (µmol/l) im Mittel der Gruppen ± SD in Versuchsabschnitt 4**

14.09.2011	Gruppe			
AS	S		C	
	MW (µmol/l)	SD	MW (µmol/l)	SD
Lys	156,61	19,16	123,83	13,82
Met	47,30	7,64	43,78	3,40
Thr	-	-	-	-
His	<b>145,62*</b>	30,15	105,70*	6,13
Trp	96,01	5,06	93,98	9,99
Val	-	-	-	-
Ileu	74,66	9,32	71,93	7,01
Leu	120,67	17,33	109,07	11,03
Phe	87,47	11,22	81,70	3,78
Arg	214,68	16,06	198,55	23,94
Orn	63,64	10,20	65,04	16,39

\*markieren signifikante Unterschiede in den Zeilen ( $p < 0,05$ )

Während dem letzten Versuchsabschnitt im Alterszeitraum 13-18 Monate, dem Versuchsabschnitt 5, fand ein Blutentnahmeterrn am 16. November 2011 statt (Tabelle 50).

**Tabelle 50: Mittlere Gehalte an PFAA (µmol/l) im Mittel der Gruppen ± SD in Versuchsabschnitt 5**

16.11.2011	Gruppe			
AS	S		C	
	MW (µmol/l)	SD	MW (µmol/l)	SD
Lys	142,26	12,50	121,46	19,09
Met	47,53	4,29	43,55	5,61
Thr	-	-	-	-
His	92,86	8,61	112,67	13,67
Trp	96,99	8,38	103,12	8,14
Val	-	-	-	-
Ileu	81,61	9,55	75,41	9,57
Leu	127,21	11,28	124,80	17,16
Phe	97,06	3,76	95,75	6,15
Arg	85,56	56,44	87,25	59,16
Orn	170,46	54,50	191,34	54,52

\*markieren signifikante Unterschiede in den Zeilen ( $p < 0,05$ )

Für Lysin wurde eine starke Tendenz zu einem höheren Wert in der Gruppe S im Vergleich zur Gruppe C ermittelt.

Während dem ersten Versuchsabschnitt des Alterszeitraumes 19-24 Monate, in Versuchsabschnitt 6, wurde am 14. März 2012 die Blutentnahme durchgeführt. Die Gehalte an freiem Lysin, Methionin, Isoleucin und Phenylalanin im Plasma waren zu dem Zeitpunkt im Mittel der Gruppe S signifikant höher als in der Gruppe C. Für Leucin war eine starke Tendenz für einen höheren Gehalt erkennbar (Tabelle 51).

**Tabelle 51: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen  $\pm$  SD in Versuchsabschnitt 6**

14.03.2012	Gruppe			
	S		C	
AS	MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD	MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD
Lys	<b>171,59*</b>	21,48	112,35*	24,02
Met	<b>56,17*</b>	11,16	32,57*	4,51
Thr	-	-	-	-
His	116,78	8,74	106,50	17,80
Trp	97,70	8,27	85,42	12,35
Val	-	-	-	-
Ileu	<b>79,39*</b>	12,41	56,49*	10,91
Leu	137,28	23,26	103,25	20,29
Phe	<b>109,96*</b>	12,03	86,23*	13,07
Arg	223,87	32,38	181,83	43,05
Orn	75,93	10,37	60,52	17,09

\*markieren signifikante Unterschiede in den Zeilen ( $p < 0,05$ )

Am 23. Mai 2012 wurde die Blutabnahme für Versuchsabschnitt 7 durchgeführt. Für Lysin und Methionin wurden signifikant höhere Werte im Mittel der Gruppe S ermittelt (Tabelle 52).

**Tabelle 52: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen  $\pm$  SD in Versuchsabschnitt 7**

23.05.2012	Gruppe			
	S		C	
AS	MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD	MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD
Lys	<b>112,28*</b>	10,95	69,39*	20,62
Met	<b>77,59*</b>	14,54	50,68*	7,28
Thr	-	-	-	-
His	80,48*	8,71	<b>110,01*</b>	13,10
Trp	74,10*	5,94	<b>98,72*</b>	9,57
Val	-	-	-	-
Ileu	54,62	6,17	60,27	9,48
Leu	81,53	4,21	95,75	20,23
Phe	67,91*	3,29	<b>87,64*</b>	12,46
Arg	78,24*	34,25	<b>136,16*</b>	23,21
Orn	107,04	41,02	81,89	27,10

\*markieren signifikante Unterschiede in den Zeilen ( $p < 0,05$ )

Die weiteren freien Aminosäuren mit signifikant höheren Gehalten im Blutplasma waren Histidin, Tryptophan, Phenylalanin und Arginin, diese höheren Gehalte wurden in Gruppe C ausgewiesen.

Während Versuchsabschnitt 4, am 21. September 2011, wurde eine Blutprobe nüchtern, vor der Fütterung der Tiere, vorgenommen. Damit wurde ein Basiswert (nüchtern) für den Gehalt an PFAA unabhängig von der Fütterung der Tiere geschaffen. Dieser diente zudem für einen Vergleich mit dem Termin vom 14. September 2011 welcher nur sieben Tage vorher durchgeführt wurde. Bei einem Tier der Gruppe C war an dem Termin keine Blutabnahme möglich (n = 5) (Tabelle 53).

**Tabelle 53: Mittlere Gehalte an PFAA ( $\mu\text{mol/l}$ ) im Mittel der Gruppen  $\pm$  SD Basiswerte nach Nüchterung**

21.09.2011	Gruppe			
AS	S		C (n=5)	
	MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD	MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD
<b>Lys</b>	93,12	13,11	97,28	10,86
<b>Met</b>	31,96	4,25	33,75	3,15
<b>Thr</b>	-	-	-	-
<b>His</b>	81,09	8,78	77,59	11,18
<b>Trp</b>	76,01	5,73	84,46	7,28
<b>Val</b>	-	-	-	-
<b>Ileu</b>	55,62	8,48	60,57	5,45
<b>Leu</b>	83,23	9,72	90,17	10,47
<b>Phe</b>	62,18	3,52	68,32	3,79
<b>Arg</b>	165,30	17,55	167,54	13,26
<b>Orn</b>	52,80	9,85	58,07	10,41

\*markieren signifikante Unterschiede in den Zeilen (p < 0,05)

Mit den ermittelten Basiswerten der PFAA im Vergleich der Gruppen wurden die Verhältnisse zum Lysin (Ratio: LYS = 100) ermittelt. Diese konnten danach mit dem Ratio-Muskel verglichen werden (Tabelle 54).

**Tabelle 54: Ratio mittlere Basiswerte an PFAA im Vergleich der Versuchsgruppen**

AS	Supplementgruppe Ratio	Kontrollgruppe Ratio	Muskel Ratio
<b>Lys</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Met</b>	34	35	29
<b>Thr</b>	-	-	55
<b>His</b>	87	80	56
<b>Trp</b>	82	87	-
<b>Val</b>	-	-	58
<b>Ileu</b>	60	62	55
<b>Leu</b>	<b>89</b>	<b>93</b>	99
<b>Phe</b>	67	70	54
<b>Arg</b>	178	172	72
<b>Orn</b>	57	60	-

Die Ergebnisse der Basiswerte bei Betrachtung der Ratio zeigten höhere Gehalte an den aufgeführten unentbehrlichen Aminosäuren im Vergleich zum Ratio-Muskel. Diese bildeten die Grundlage für die Wachstumsleistungen der verschiedenen Gewebe im Tier. Für die verzweigt-kettige Aminosäure Leucin wurde in beiden Gruppen ein relativer indirekter Mangel bezogen auf das Lysin ermittelt, welcher in Gruppe S tendenziell höher war als in Gruppe C.

Der sehr enge zeitliche Zusammenhang der zwei Blutentnahmetermine während dem Versuchsabschnitt 4, nur sieben Tage später, ermöglichte einen Vergleich der Ergebnisse der Termine innerhalb der Gruppen. Die Ergebnisse unterschieden sich in Bezug zur Aminosäureaufnahme aus dem Futter (2 h nach der Fütterung) für die meisten PFAA signifikant innerhalb der Gruppen und im Vergleich der Gruppen. Die Anstiege der AS-Gehalte im Plasma der Tiere, abhängig von der Ration der Gruppen, zwischen dem Basiswert und dem Ergebnis vom 14. September 2011 wurden verglichen. In Tabelle 55 sind die Ergebnisse für Gruppe S dargestellt. Die analysierten AS-Gehalte, außer beim Ornithin, zeigten signifikant höhere Ergebnisse in Bezug zur Krafftutter-/Ergänzeraufnahme im Vergleich zum Basiswert nüchtern.

**Tabelle 55: Vergleich der mittleren PFAA Gehalte  $\pm$  SD ( $\mu\text{mol/l}$ ) in Gruppe S und der Anstieg zwischen den Zeitpunkten 2 Std. und 0 Std.**

Gruppe S	Termin				Anstieg $\mu\text{mol/l}$
	14.09.2011		21.09.2011		
AS	nach Fütterung (2 Std.) MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD	Basiswert (nüchtern; 0 Std.) MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD	
Lys	156,61*	19,16	93,12*	13,11	63,49
Met	47,30*	7,64	31,96*	4,25	15,34
Thr	-	-	-	-	-
His	145,62*	30,15	81,09*	8,78	64,53
Trp	96,01*	5,06	76,01*	5,73	20,00
Val	-	-	-	-	-
Ileu	74,66*	9,32	55,62*	8,48	19,04
Leu	120,67*	17,33	83,23*	9,72	37,44
Phe	87,47*	11,22	62,18*	3,52	25,30
Arg	214,68*	16,06	165,30*	17,55	49,38
Orn	63,64	10,20	52,80	9,85	10,84

\*markieren signifikante Unterschiede in den Zeilen ( $p < 0,05$ )

Ähnliche Effekte wurden in der Gruppe C nach der Krafftutteraufnahme erzielt, diese sind in Tabelle 56 aufgeführt. Die Krafftutterfütterung führte auch hier zu signifikanten Anstiegen der AS-Gehalte bei nahezu allen analysierten Aminosäuren. Lediglich beim Tryptophangehalt und beim Ornithingehalt war keine signifikante Erhöhung der Werte durch die Futteraufnahme zu verzeichnen. Die Anstiege der PFAA in Bezug zur Fütterung im Vergleich der Gruppen wurden im Kapitel 6 diskutiert und bezüglich anderer durchgeführter Studien im Literaturvergleich eingeordnet.

Tabelle 56: Vergleich der mittleren PFAA Gehalte  $\pm$  SD ( $\mu\text{mol/l}$ ) in Gruppe C und der Anstieg zwischen den Zeitpunkten (2 Std. und 0 Std.) (n=5)

Gruppe C	Termin				Anstieg $\mu\text{mol/l}$
	14.09.2011		21.09.2011		
AS	nach Fütterung (2 Std.) MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD	Basiswert (nüchtern; 0 Std.) MW ( $\mu\text{mol/l}$ )	SD	
Lys	123,83*	13,82	97,28*	10,86	26,55
Met	43,78*	3,40	33,75*	3,15	10,03
Thr	-	-	-	-	-
His	105,70*	6,13	77,59*	11,18	28,11
Trp	93,98	9,99	84,46	7,28	9,52
Val	-	-	-	-	-
Ileu	71,93*	7,01	60,57*	5,45	11,36
Leu	109,07*	11,03	90,17*	10,47	18,91
Phe	81,70*	3,78	68,32*	3,79	13,38
Arg	198,55*	23,94	167,54*	13,26	31,01
Orn	65,04	16,39	58,07	10,41	6,96

\*markieren signifikante Unterschiede in den Zeilen ( $p < 0,05$ )

Für die Indikatorsubstanz 1-Methylhistidin (1-MH) im Plasma der Tiere wurden an den verschiedenen Messzeitpunkten keine signifikanten Unterschiede im Mittel zwischen den Gruppen ermittelt. Der höchste Wert für den mittleren 1-Methylhistidingehalt im Versuch lag bei  $40,7 \mu\text{mol/l}$ , dieser wurde in der Supplementgruppe am 14. September 2011 im Versuchsabschnitt 4 nachgewiesen (Abbildung 15).

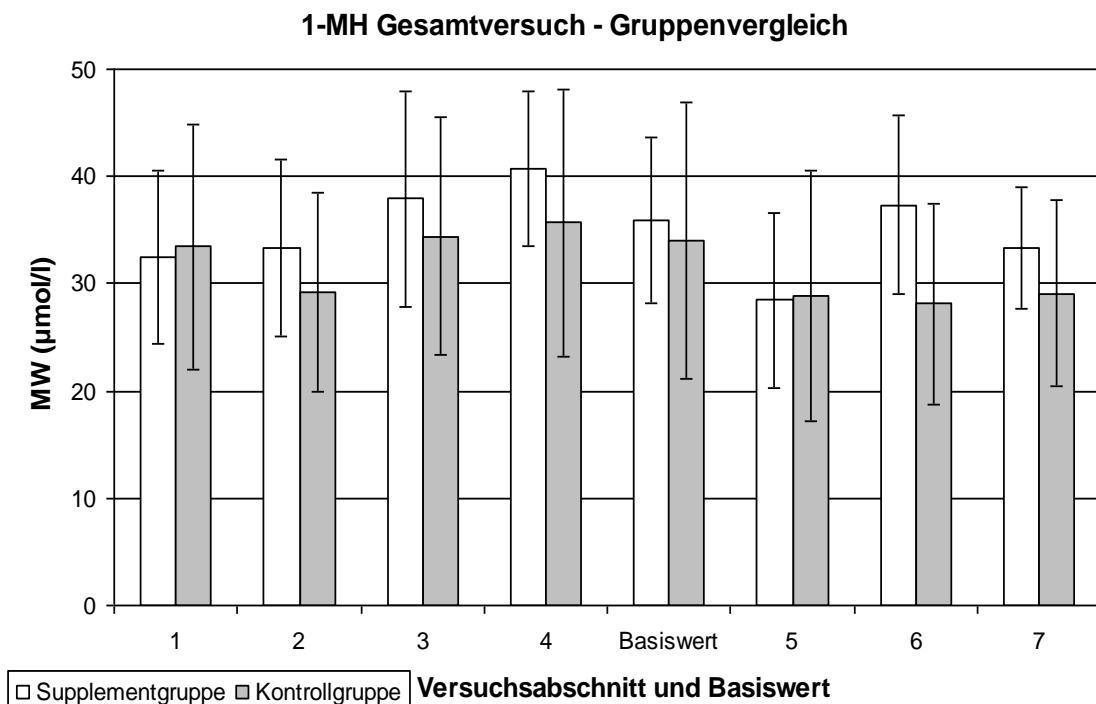


Abbildung 15: Mittlere 1-MH-Gehalte  $\pm$  SD in den Versuchsabschnitten und der Basiswert im Vergleich der Gruppen

Der niedrigste Wert trat in der Kontrollgruppe (C) während dem Versuchsabschnitt 6 auf, dieser belief sich auf 28,1  $\mu\text{mol/l}$ . Tendenziell wiesen die Tiere der Gruppe S an den Terminen in den Versuchsabschnitten 2, 3, 4, 6 und 7 im Mittel der Gruppe höhere 1-MH-Gehalte auf. Die Gruppe C lieferte an den Terminen der Versuchsabschnitte 1 und 5 tendenziell höhere Werte in diesem Parameter. Bei der Bestimmung des Basiswertes am 21. September 2011 waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu erkennen.

## 6 Diskussion

Im vorliegenden Versuch wurden zwölf wachsende Hengste unter denselben Umweltbedingungen gehalten. Aufgeteilt in zwei Gruppen wurden über einen Zeitraum von 72 Wochen die Wachstumsleistungen untersucht. Da alle Tiere aus einem Zuchtbetrieb stammten, konnten unterschiedliche Haltungseffekte aus der Zeit vor dem Einstellen im Versuch ausgeschlossen werden.

Grundlagen für die im Versuch ermittelten hohen Trockensubstanzaufnahmen der Tiere wurden im Aufzuchtzeitraum, vor dem Versuchsbeginn, beim Aufzüchter gelegt. Dort wurde den Tieren Raufutter *ad libitum* gemäß dem dortigen Aufzuchtmanagement angeboten. Eine hohe Raufutteraufnahme in der Aufzucht von Pferden wurde gemäß modernen Bedarfsempfehlungen als positiv beurteilt.

Die Haltungsform der Gruppenhaltung ist die artgerechteste Haltung für Pferde in der Aufzucht und war im Versuch so vorgeschrieben, brachte aber unter Versuchsbedingungen Schwierigkeiten in der genauen Bestimmung der Raufutteraufnahme des Einzeltieres mit sich. Die Energie- und Nährstoffaufnahme des Einzeltieres in der Gruppe sollte im Versuch erstmals, so genau wie möglich, bestimmt werden, um sichere Ergebnisse und verwertbare Gruppenvergleiche zu ermöglichen. Mit der n-Alkan-Doppelmarkermethodik konnten die Trockensubstanzaufnahmen der Einzeltiere geschätzt werden. Durch die sehr hohen Schwankungsbreiten der Nährstoff- und Aminosäuregehalte, besonders in der Heu- und Strohqualität, waren Korrekturen der Rationen im Versuchsverlauf nötig. Zum Teil mussten zunächst für die genannten Raufuttermittel Tabellenwerte zur Rationsberechnung genutzt werden.

Die Energieversorgung der Hengste schien auch in dem Zeitraum, in dem es zu Lebendmasseverlusten kam (Versuchsabschnitt 6), soweit ausreichend gewesen zu sein, dass ein hengsttypisches lebhaftes Verhalten gezeigt wurde. Die Tiere nutzten zu jeder Zeit im Versuch ihre Bewegungsmöglichkeiten in den Ausläufen aus.

Als erstlimitierender Faktor für altersgemäßes Wachstum verhinderte die leichte Energieunterversorgung im begrenzten Zeitraum des Versuchsabschnitts 6 tägliche



Zunahmen, wie sie in der Literatur beschrieben wurden. In den weiteren Versuchsabschnitten war die Energieversorgung gemäß Versorgungsempfehlungen in beiden Gruppen gedeckt bzw. erhöht.

Die Versorgung mit Protein in Relation zur Energie über das Futter war im Mittel der Rationen beider Gruppen eher im oberen Bereich der Versorgungsempfehlungen eingestellt. Dennoch waren sowohl der Größenzuwachs (WRH) insgesamt als auch die Lebendmassezunahme, angegeben als tägliche Zunahme, bei Betrachtung von Versuchsbeginn bis Versuchsende in der Supplementgruppe signifikant höher als in der Kontrollgruppe. Dieser Effekt konnte damit nur auf die Optimierung der Proteinversorgung in der Supplementgruppe zurückzuführen gewesen sein. Gemäß dem Versuchsziel sollte der Lysinbedarf in Gruppe S durch die Ergänzung von einem hochwertigem Proteinträger und kristallinen Aminosäuren im Ergänzungsfutter dieser Gruppe gedeckt werden. Damit sollte eine Annäherung der Ratio der Aminosäuren aus der Tagesration, an die des Ratio-Muskel, gemäß dem Idealproteinkonzept Pferd erfolgen (Kapitel 2.4). Unterversorgungszustände für Lysin und weitere unentbehrliche Aminosäuren sollten ausgeschlossen werden, wenn diese ermittelt wurden und eine Ergänzung möglich war. Überversorgungszustände an bestimmten unentbehrlichen Aminosäuren traten teilweise durch eine hohe Bereitstellung derselben aus den Rationskomponenten auf. Eine Überversorgung mit Aminosäuren konnte gemäß den Literaturangaben zu einem erhöhten Entgiftungsaufwand im Proteinstoffwechsel von Pferden führen. Im vorliegenden Versuch war mit den eingesetzten Indikatoren zur Beurteilung des Proteinstoffwechsels ein eventueller erhöhter Entgiftungsaufwand nicht messbar.

Gemäß dem Versuchsziel wurde die Versorgungslage mit den unentbehrlichen Aminosäuren gemäß dem Idealproteinkonzept Pferd detailliert betrachtet. Die hohe Versorgung mit Lysin und die dadurch verbesserte Proteinqualität während der Versuchsphasen beeinflussten in der Supplementgruppe das Wachstum positiv. Diese Beobachtung deckte sich mit der Aussage von MALESKY (2011), welcher schlussfolgerte, dass die für die Rationsberechnung genutzten Versorgungsempfehlungen für Lysin, die der NRC (2007) veröffentlichte, unter Umständen zu gering waren bzw. mit höheren Mengen auch noch höhere Wachstumsleistungen erzielt werden könnten, wenn dies gewünscht war. Während Versuchsabschnitt 5 trat dieser Umstand einer Überversorgung mit Lysin, in der Supplementgruppe, durch eine planmäßige Erhöhung der Ergänzungsaufnahme ein. Durch eine Überversorgung der Tiere gemäß Versorgungsempfehlungen um knapp 10g/d wurde in dem Zeitraum geprüft, ob weitere Steigerungen in den Wachstumsleistungen allein über eine Erhöhung der Lysinmenge möglich waren. Eine weitere Histidinergänzung über das

Ergänzungsfutter gemäß Idealproteinkonzept wie in Versuchsabschnitt 4 erfolgte in dem Zeitraum nicht mehr. Bei Betrachtung der Menge der essentiellen Aminosäure Methionin in dem Zeitraum wurde auch diese durch die Überversorgung an Lysin in einen indirekten Mangel gebracht. Die vergleichsweise geringen Wachstumsleistungen in der Supplementgruppe, welche in dem Zeitraum im Gruppenvergleich keine höheren Werte annahmen, könnten Auswirkungen dieses relativen Mangels gewesen sein. Zudem schien die hohe Protein- und Lysinaufnahme nicht das Potential zu haben, um den Mangel an diesen Aminosäuren auszugleichen und die Wachstumsleistungen auf dem vorherigen hohen Niveau zu halten.

Durch die Ergänzung des kristallinen Lysin im Ergänzungsfutter, ab dem Versuchsabschnitt 3, in der Supplementgruppe kam es zu einem indirekten relativen Mangel an Methionin, welcher bis zum Ende des Versuchsabschnitts 5 in dieser Gruppe auftrat. Ab dem Versuchsabschnitt 6 wurde zusätzlich Methionin im Ergänzender der Gruppe S eingesetzt, um diesem Mangel entgegenzuwirken (Tabelle 57).

**Tabelle 57: Ratio DAS in Versuchsabschnitten 1 bis 5 und pcvAS in Versuchsabschnitten 6 und 7 in Relation zu Lysin (100) im Vergleich zum Ratio-Muskel (MW Literatur)**

Gruppe	AS Abschnitt	Ratio zu LYS (DAS und pcvAS)							Muskel
		1	2	3	4	5	6	7	
S	Lys	100	100	100	100	100	100	100	100
	Met	30	30	28	28	26	29	51	29
	Thr	84	86	77	77	72	61	58	55
	His	35	32	43	77	39	30	34	56
	Val	101	99	93	93	85	69	71	58
	Ileu	81	79	72	72	67	55	54	55
	Leu	150	150	132	132	123	102	98	99
C	Lys	100	100	100	100	100	100	100	100
	Met	31	32	33	33	33	32	33	29
	Thr	87	87	88	88	88	90	88	55
	His	34	35	53	53	53	53	53	56
	Val	107	107	110	110	110	110	110	58
	Ileu	83	83	84	84	84	83	84	55
	Leu	155	156	152	152	152	148	153	99

Durch diese Ergänzung war es in dem Versuchsabschnitt gelungen, den Bedarf an Methionin, gemäß Idealproteinkonzept bei Betrachtung der pcvAS, exakt zu treffen. In nahezu allen Versuchsabschnitten in beiden Gruppen war der indirekte relative Histidingehalt gemäß Ratio im Vergleich zum Ratio-Muskel zu gering (Tabelle 57). Ausschließlich in Versuchsabschnitt 4, in dem Histidin in kristalliner Form im Ergänzungsfutter der Supplementgruppe eingesetzt wurde, konnte eine Versorgung gemäß Ratio erzielt werden.

In Versuchsabschnitt 7 wurde bei der Betrachtung der pcvAS in der Supplementgruppe ein geringfügiger Mangel an Isoleucin und Leucin festgestellt. Dieser wirkte sich im Vergleich der Gruppen nicht negativ auf die Zunahmen oder die Wachstumsleistungen in dieser Gruppe aus.

Die vergleichsweise gute relative Versorgung für die unentbehrlichen Aminosäuren in der Kontrollgruppe, verglichen mit dem Ratio-Muskel, lag in der geringeren Lysinversorgung im Vergleich zur Supplementgruppe begründet. Da in der Kontrollgruppe ausschließlich Hafer als Kraftfutter eingesetzt wurde, war zusammen mit dem Raufutter eine Bedarfsdeckung mit Lysin in der vorliegenden Versuchsanstellung nicht möglich. Die Hafermenge hätte sehr stark angehoben werden müssen, um den Bedarf an Lysin zu decken, diese Anhebung hätte aber zu einer starken Überversorgung mit Protein in der Kontrollgruppe geführt. Da die Lysinversorgung in der Kontrollgruppe in nahezu allen Versuchsabschnitten unter den Versorgungsempfehlungen gemäß NRC (2007) angesiedelt war, konnten die Relationen der Aminosäuren zueinander verfälscht worden sein. Der Mangel in der Leitaminosäure Lysin allein könnte stärkere Auswirkungen auf die Wachstumsleistungen der Tiere in der Kontrollgruppe gehabt haben als die Relationen der weiteren unentbehrlichen Aminosäuren zueinander.

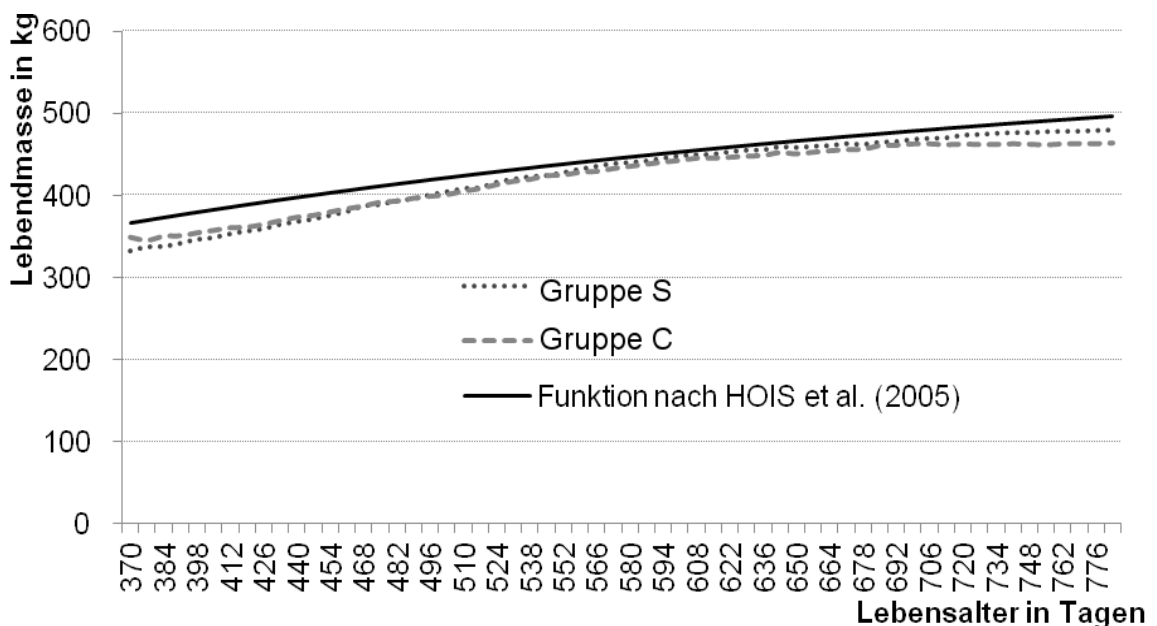
Im Vergleich mit Wachstumsstudien beim Pferd gemäß der Literatur, in welchen Beobachtungen bei bis zu mehreren hundert Tieren durchgeführt wurden, war die Stichprobe in dieser Untersuchung gering. Nach HINTZ *et al.* (1979) hatte das Geburtsjahr einen signifikanten, wenn auch nicht greifbaren Effekt auf das Wachstum junger Pferde. Dieser Effekt schien aus der Summe von Einflussfaktoren zu resultieren, die ihre Wirkung in einer Kombination entfalteten. Da alle Tiere im Jahr 2010 geboren wurden, spielte dieser Einfluss im vorliegenden Wachstumsversuch keine Rolle, es konnten keine Auswirkungen des Geburtsmonats auf den Wachstumsverlauf bei den verschiedenen Parametern festgestellt werden.

Die individuelle Körpergröße war unabhängig vom Geburtsmonat. Diese Beobachtung deckte sich mit den Ergebnissen von WILKE (2003), wo ein Einfluss des Monats der Geburt häufig in frühen Jugendstadien, vor Erreichen des Jährlingsalters bei Pferden beschrieben wurde. Da die Tiere im Versuch beim Einstellen bereits mindestens zehn Monate alt waren, musste sich dieser Effekt bereits reduziert haben. Unterschiede im Alter, in der Anzahl der Abfohlungen der Mutterstuten als Einflüsse auf das Einzeltier, waren für den Versuch nicht prüfbar. Diese genetisch determinierten Faktoren beeinflussten die Geburtsumasse und Widerristhöhe sowie die adulte Lebendmasse und Widerristhöhe in anderen Wachstumsversuchen.

Der Wachstumsverlauf der Tiere an sich blieb dabei aber unbeeinflusst. Im vorliegenden Versuch wurden primär der Wachstumsverlauf und die absoluten Zunahmen der Hengste anhand der Mittelwerte der Messwerte in den Versorgungsgruppen betrachtet. Die Angaben zu den oben genannten Einflüssen durch die Eigenschaften der Mutterstuten erklärten einen Teil der Abweichungen der Messwerte innerhalb der Gruppen, wären jedoch erst bei einer Einzeltierbetrachtung von Interesse gewesen.

Da die erwünschten Wachstumsleistungen von Pferden in der Aufzucht nicht eindeutig definiert waren, musste ein Vergleich mit den Angaben verschiedener Autoren stattfinden. Bei einem derartigen Vergleich zeigte sich eine gute Übereinstimmung der Entwicklung der Jungpferde im Versuch mit Studien, in welchen eine moderate Aufzuchtintensität beschrieben wurde. Der Wachstumsverlauf der Gruppen ließ ähnliche Verläufe der Funktionen, die HOIS *et al.* (2005) für die absolute Lebendmasseentwicklung von Tieren mit einer Endlebensmasse (adult) von ca. 600 kg aufstellten, erkennen.

Die Lebendmasseentwicklung der Tiere in Bezug zum Lebensmonat folgte der Funktion näherungsweise (Abbildung 16).



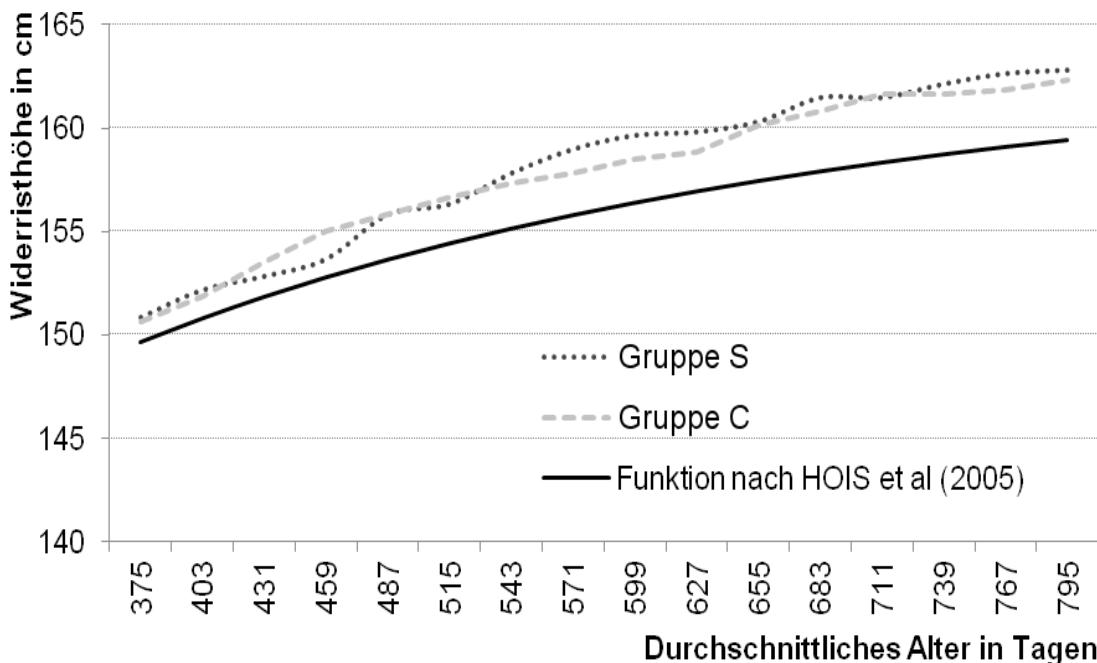
**Abbildung 16: Vergleich der mittleren Lebendmasseentwicklung der Gruppen (in kg) im Versuch mit der Funktion nach HOIS *et al.* (2005)**

Insgesamt lag diese geringfügig unterhalb der Werte. Diese geringen Unterschiede waren bei der Tierart Pferd nicht ungewöhnlich. Mit einer relativen Lebendmasse (LM) bezogen auf die erwartete Lebendmasse (adult) in Höhe von 56 % im 12. Lebensmonat und 78 % im 24. Lebensmonat blieben die Tiere im Versuch unterhalb der Wachstumsleistung, wie sie über die Funktion beschrieben wurde. Einerseits

konnte der saisonale Wachstumsunterschied bezogen auf die Lebendmasse, wie er in der Literatur beobachtet wurde, eine Rolle gespielt haben. Andererseits waren unter Umständen die geringeren Lebendmassen bzw. die LM-Abnahmen der Tiere im Alter von 370 Tagen auf den Absatzstress, sowie die damit einhergehende komplette Futterumstellung und die Gewöhnung an die neue Umgebung bei Versuchsbeginn zurückzuführen. In der Literatur wurden für diesen wichtigen Zeitraum auch offene Potentiale für die Entwicklung des Verdauungssystems an sich beschrieben.

Bei Betrachtung der täglichen Zunahme im Zeitraum des Gesamtversuches erreichten die Tiere im Mittel der Supplementgruppe (S) eine signifikant höhere tägliche Zunahme als die Tiere der Kontrollgruppe (C). Die Gruppe S erreichte einen um mehr als 26 g/d höheren Wert. Die Optimierung der Aminosäureversorgung gemäß dem Idealproteinkonzept führte damit in diesem Wachstumsparameter zu signifikant höheren Wachstumsleistungen.

Die Werte der Funktion nach HOIS *et al.* (2005), welche für das Wachstum im Parameter Widerristhöhe (WRH) aufgestellt wurde, waren geringer als bei den Tieren beider Gruppen im vorliegenden Versuch (Abbildung 17). Die Vergleichsfunktion für die Entwicklung der Widerristhöhe verlief in der Betrachtung des gesamten Versuchszeitraumes insgesamt flacher als das im vorliegenden Versuch ermittelte Wachstum.



**Abbildung 17: Vergleich der mittleren Widerristhöhenentwicklung der Gruppen (in cm) mit der Funktion nach Hois *et al.* (2005)**

Schon bei Versuchsbeginn war die mittlere WRH, über alle Tiere im Versuch, höher als im Literaturvergleich, der Unterschied vergrößerte sich sogar im weiteren Versuchszeitraum. Bei einer Annahme einer adulten WRH von 164 cm wären die im

Versuch stehenden Tiere bereits im Alter von 27 Monaten ausgewachsen gewesen. Dieses Ergebnis war anzuzweifeln, da nach verschiedenen Autoren ein Zuwachs in der WRH noch bis zu einem Alter von 7 Jahren erfolgen konnte (MARTIN-ROSSET, 2005). Auch KOSLOWSKI (2008) beobachtete bei Hengsten der Rasse Deutsches Sportpferd, im Alter zwischen dem 32. und 36. Lebensmonat einen WRH-Zuwachs von bis zu 2,4 % in dem beschriebenen Versuchszeitraum. Die im Versuch stehenden Tiere mussten demnach ebenfalls noch offene Wachstumskapazitäten (WRH) im Zeitraum nach dem Versuchsende gehabt haben. Diesen Tatsachen folgend wurde erkannt, dass die Mittelwerte für die LM (adult) und WRH (adult) der Warmblutpferdepopulation in Deutschland, die von HOIS *et al.* (2005) ermittelt wurden, wie erwartet, nicht einwandfrei auf die im Versuch untersuchte Stichprobe im Parameter der WRH übertragbar waren. Weiterhin war anzunehmen, dass die Tiere die im Versuch standen, höhere Werte im Wachstum der WRH auch gemäß dem Versuchsziel als adult WRH erreichen würden (Kapitel 2.3 und 2.4).

Bei Betrachtung des Wachstums im Parameter der Widerristhöhe im Gesamtversuch zeigten die Tiere im Mittel der Supplementgruppe einen signifikant höheren Wert. Dieser war um 2,5 cm höher als im Mittel der Kontrollgruppe. Die Entwicklung der Widerristhöhe in der Supplementgruppe war bei Betrachtung der Standardabweichungen im Gesamtversuch zudem gleichmäßiger als in der Kontrolle. Somit sorgte die Optimierung der Protein- und Aminosäurenversorgung in dem Parameter des Größenwachstums für höhere und gleichmäßigere Wachstumsleistungen.

Da ein konstantes Wachstum des Knochengewebes mit einer möglichen Verhinderung von Wachstumsstörungen bzw. krankhaften Veränderungen in Knochen-, Gelenk- und Sehnenapparat in der Literatur Verbindung gebracht wurde, war auch das gleichmäßigere Wachstum in der WRH in der Supplementgruppe als positiv zu beurteilen. Die Optimierung der Aminosäurenversorgung könnte das Knochen- und Knorpelwachstum positiv beeinflusst haben, vor allem am Wachstum in den Gelenken und in den Wachstumsfugen waren Aminosäuren beteiligt (APPELT, 2005). In den Versuchen von GRAHAM *et al.* (1994) und STANIAR *et al.* (2001), welche an Jährlingen vorgenommen wurden, zeigten sich durch die Aminosäureoptimierung keine signifikanten Unterschiede im Wachstum im Parameter der Widerristhöhe, einzig der Zuwachs im Körperumfang, welcher mit der Gewichtszunahme hoch korreliert war, war in den Versuchen von GRAHAM *et al.* (1994) bei den Tieren mit einer optimierten Proteinversorgung erhöht.

Für die Betrachtung und Beurteilung fütterungsbedingter Unterschiede im Wachstum von Tieren war eine Gruppenbetrachtung für die Beschreibung der Effekte gemäß Versuchsziel gebräuchlich. Die Aussagen zu den Parametern erhielten durch einen

damit möglichen wiederholten Gruppenvergleich bei identischer Umwelt eine wesentlich höhere Sicherheit. Häufig wurden in der Literatur für die Tierart Pferd stärkere Schwankungen bzw. Unterschiede in der Entwicklung der Wachstumsparameter LM, WRH und weiterer Körpermaße von Einzeltieren oder Gruppen beschrieben. Diese Parameter wiesen im vorliegenden Versuch eine hohe Vergleichbarkeit zwischen den Einzeltieren und innerhalb der zwei Versuchsgruppen auf. Die Abweichungen sowohl in der Entwicklung der WRH als auch in der LM-Entwicklung zwischen allen betrachteten Tieren waren schon bei Versuchsbeginn gering und nahmen während des Versuches weiter ab. Dieser Zusammenhang ließ sich auf die vergleichsweise empfindliche Reaktion des Parameters der täglichen Zunahme zurückführen. Diese waren in anderen Versuchen im Literaturvergleich von inneren Faktoren der Tiere und vor allem von der Fütterung abhängig (OTT, 2005).

Die täglichen Zunahmen im Mittel der Gruppen waren abhängig von der Ration im jeweiligen Versuchsabschnitt und von den Optimierungszeiträumen. Dabei ergaben sich mehrfach signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. In den Optimierungszeiträumen 13-18 Monate und 19-24 Monate wurden die täglichen Zunahmen zwischen den Gruppen verglichen. Im Zeitraum der Rationen 13-18 Monate erreichte die Supplementgruppe signifikant höhere tägliche Zunahmen in diesem Parameter. Dieser Wachstumseffekt war damit auf die Optimierung der Tagesration im Sinne des Idealproteinkonzeptes zurückzuführen. Im Zeitraum 19-24 Monate Lebensalter zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Die Tiere der Supplementgruppe nahmen in dem Zeitraum tendenziell 70 g/d mehr zu als die der Kontrollgruppe (C).

Tägliche Zunahmen und die absolute Entwicklung der Widerristhöhe im Vergleich der Gruppen in direktem Bezug zu den eingesetzten Rationen und den spezifischen Versuchsabschnitten wurden betrachtet und die Ergebnisse wurden hier diskutiert.

In Versuchsabschnitt 1 erhielten die Tiere der Supplementgruppe (S) eine Ration welche mit Sojaextraktionsschrot im Ergänzungsfutter aufgewertet wurde. Diese Aufwertung führte zu einer leichten Erhöhung der Aminosäureaufnahme der Tiere, welche damit 3 g Lysin/d mehr aufnahmen als die der Kontrollgruppe. Die weiteren unentbehrlichen Aminosäuren bis auf Histidin wurden bei Idealproteinbetrachtung bedarfsdeckend aus der Ration geliefert. Im Vergleich der Gruppen lagen die Aufnahmen an Energie und Protein auf einem vergleichbaren Niveau. Die tägliche Zunahme zeigte in dem Zeitraum keinen Unterschied zwischen den Gruppen, stieg aber in beiden Gruppen stark an und erreichte während Versuchsabschnitt 1 Werte im Bereich der Wachstumsleistungen wie sie in der Literatur beschrieben wurden.

Der Einsatz des Sojaextraktionsschrotes im Ergänzungsfutter der Supplementgruppe in dem Versuchsabschnitt hatte durch die damit einhergehende Erhöhung der AS-Lieferung aus der Ration keinen Einfluss auf die Lebendmasseentwicklung und die WRH im Vergleich zur Kontrollgruppe, welche Hafer als Ergänzungsfutter erhielt.

In Versuchsabschnitt 2 wurde die erste Ration mit Kartoffelprotein als hochwertige Proteinquelle in der Supplementgruppe eingesetzt. Gemäß der Tagesration erhielten die Tiere dieser Gruppe in dem Zeitraum geringfügig mehr DXP als die Tiere der Kontrollgruppe. Die Versorgung der Tiere der Kontrollgruppe mit Protein und Energie war dabei stets bedarfsdeckend gemäß Versorgungsempfehlungen eingestellt. Die Aminosäurenversorgung in der Supplementgruppe bewegte sich durch die Ergänzung des Kartoffelproteins erstmals nahe den Empfehlungen, es fehlten nur 3 g/d an Lysin um die ausgewiesene Versorgungshöhe gemäß NRC (2007) zu erreichen. Auch das Ratio der unentbehrlichen Aminosäuren in der Supplementgruppe war eher mit dem der Muskulatur (Idealproteinkonzept) vergleichbar als das der Ration der Kontrollgruppe. Die tägliche Zunahme nahm bei Betrachtung des Gesamtzeitraumes (63d) in der Gruppe S signifikant höhere Werte an als in der Gruppe C, welche allerdings auch hohe, dem Alter der Tiere entsprechende Wachstumsleistungen in der Lebendmasse zu verzeichnen hatte. Die Entwicklung im Parameter der WRH zeigte in dem Zeitraum keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Nutzung des Kartoffelproteins im Ergänzungsfutter hatte einen klar positiven Effekt auf die quantitative und qualitative Aminosäurenversorgung und damit auf die Lebendmasseentwicklung der Supplementgruppe in diesem Zeitraum.

Lysin in kristalliner Form wurde ab der Ration des Versuchsabschnitts 3 erstmals im Ergänzungsfutter der Gruppe S eingesetzt. Zusätzlich zur Nutzung des Kartoffelproteins konnte damit der vorher festgestellte Mangel an Lysin in der Ration dieser Gruppe ab diesem Zeitpunkt ausgeglichen werden. Ein relativer Mangel bei Betrachtung des Ratio bestand damit nur in der Versorgung mit Histidin und in geringem Maße beim Methionin. Die tägliche Zunahme zeigte für die Gruppe S während diesem Abschnitt, in dem vergleichsweise kurzen Zeitraum von nur 35 Tagen, tendenziell um 100 g/d höhere Wachstumsleistungen im Vergleich zur Gruppe C. Im Wachstum des Parameters Widerristhöhe (WRH) zeigten die Tiere der Gruppe S in dem Zeitraum ein signifikant höheres Größenwachstum im Vergleich mit der Gruppe C. Die Tiere reagierten damit in beiden untersuchten Wachstumsparametern positiv auf die erreichte Bedarfsdeckung für Lysin und die durchgeführte Optimierung der Aminosäurenversorgung.



Die Kontrollgruppe (C) erhielt im Zeitraum der Versuchsabschnitte 3, 4 und 5 (der Gruppe S) identische Mengen an Energie und Protein gemäß ihrer konstanten Tagesration. Die Energie- und Proteinaufnahme war bedarfsdeckend, gemäß den Versorgungsempfehlungen, eingestellt. Die Aminosäureversorgung in dieser Gruppe bewegte sich während dem Zeitraum leicht unter dem Bedarf und lag für das Lysin bei 38 g/d. Die weiteren unentbehrlichen AS wurden, gemäß Idealproteinkonzept in Bezug zur zu geringen Versorgung mit Lysin, im Überschuss aus den Rationskomponenten aus der Tagesration geliefert. Bei einer adäquaten Versorgung mit Lysin wären diese Aminosäuren auch in einen indirekten Mangel geraten.

Der Histidinmangel wurde im Versuchsabschnitt 4 über eine kristalline Ergänzung in der Tagesration der Supplementgruppe ausgeschlossen. In der Tagesration dieses Versuchsabschnittes erhielten die Tiere eine leicht erhöhte Proteinmenge und eine mit der Kontrollgruppe vergleichbare Energiemenge. Bei Betrachtung der Ratio der Aminosäuren war zu diesem Zeitpunkt nur noch ein geringfügiger relativer Mangel an Methionin erkennbar, welcher durch die hohe Lysinlieferung aus der Tagesration zu begründen war. Die Lebendtagszunahme der Supplementgruppe zeigte eine schnelle Reaktion auf diese Optimierung. In der Wachstumsphase 1 (35d) dieses Versuchsabschnittes waren signifikant höhere Wachstumsleistungen in der Supplementgruppe zu verzeichnen. Im Gesamtzeitraum dieses Versuchsabschnittes (63d) war die tägliche Zunahme in Gruppe S tendenziell um knapp 100 g/d höher als in der Kontrolle, dieser Unterschied war aber statistisch nicht abzusichern. Das Wachstum in der Widerristhöhe war in der Supplementgruppe im Vergleich der Gruppen in dem Versuchsabschnitt signifikant erhöht. Der Einsatz des Kartoffelproteins zusammen mit den kristallinen Aminosäuren Lysin und Histidin, verabreicht gemäß Versorgungsempfehlungen und dem Idealproteinkonzept Pferd, bewirkten damit auch in diesem Zeitraum höhere Wachstumsleistungen bei den Tieren der Supplementgruppe.

Die höchste Aminosäurenlieferung aus der Tagesration im gesamten Versuch erfolgte in Versuchsabschnitt 5 in der Gruppe S. Die tägliche aufgenommene Lysinmenge der Tiere summierte sich auf knapp 53 g/d. Für die Versorgung an Energie wurden vergleichbare Werte mit der Kontrollgruppe erzielt. Im Ergänzungsfutter der Gruppe S wurde in dem Zeitraum kein Histidin eingesetzt, aus diesem Grund war ein relativer indirekter Histidinmangel zu verzeichnen. Auch ein relativer Methioninmangel wurde ermittelt. Die Wachstumsleistungen, beschrieben im Parameter der täglichen Zunahme und dem Wachstum in der WRH, zeigten während diesem Versuchsabschnitt (63d) ausgeglichene Ergebnisse im Vergleich der Gruppen. Die relativen indirekten Defizite an Methionin und Histidin könnten höhere Wachstumsleistungen in der Gruppe S in diesem Zeitraum verhindert haben.

Der Altersabschnitt 19 bis 24 Monate wurde in zwei Versuchsabschnitte, mit Tagesrationen, optimiert gemäß den neuen Versorgungsempfehlungen (GFE, 2014), eingeteilt.

Die Energieversorgung (MJ ME/d) wurde im Versuchsabschnitt 6 in beiden Gruppen um knapp 2 MJ ME/d unterschritten. Die Tiere der Gruppe S erhielten während dem Versuchsabschnitt 6 über die Tagesration eine Proteinmenge (pcvXP) gemäß den neuen Empfehlungen (GFE, 2014). Die Proteinversorgung der Kontrollgruppe (C) war bei Betrachtung gemäß der neuen Proteinbetrachtungsebene pcvXP zu niedrig. Im Gegensatz dazu wurde für die Tiere dieser Gruppe trotzdem eine Rohproteinversorgung (XP) gemäß den älteren Versorgungsempfehlungen der GfE (GFE, 1994) in dem Zeitraum erreicht. Der Aminosäurebedarf gemäß den Empfehlungen konnte mit der Tagesration in Gruppe C nicht gedeckt werden. Die Gruppe S erhielt Lysin und Methionin in ausreichenden Mengen, nur für Histidin wurde der relative Bedarf nicht gedeckt. Die tägliche Zunahme im Mittel der Gruppen war im Vergleich zu den vorherigen Rationen geringer, zum Teil traten sogar Lebendmasseverluste bei den Tieren auf. Die Wachstumsleistung im Parameter der WRH war in der Gruppe S in diesem Zeitraum tendenziell höher als in der Gruppe C. Diese Zusammenhänge unterstrichen die geringfügige Unterversorgung der Tiere mit Energie in beiden Gruppen und den Mangel an pcvXP in Gruppe C.

Mit der Tagesration in Versuchsabschnitt 7 sollte die geringere Versorgung der Tiere mit Energie und Protein gemäß den Versorgungsempfehlungen ausgeschlossen werden. In beiden Gruppen war die Energieversorgung bedarfsdeckend und auch die benötigte Proteinmenge (pcvXP) aus der Tagesration stand den Tieren zur Verfügung. Die Aminosäurenversorgung war für Lysin in beiden Gruppen leicht unter der Empfehlung. Die Leistungen im Parameter der täglichen Zunahme waren in der Gruppe S tendenziell um 100 g/d höher, der Unterschied war nicht signifikant. Im Parameter der WRH wurden ausgeglichene Wachstumsleistungen während dem Versuchsabschnitt ermittelt. Die Optimierung der Ration der Gruppe S gemäß den neuen Versorgungsempfehlungen und für die pcvAS (gemäß Idealproteinkonzept) führte damit zu tendenziell höheren Leistungen in der täglichen Zunahme während diesem Zeitraum, die Entwicklung in der WRH blieb aber unbeeinflusst.

Im Parameter der Körperlänge konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen im Untersuchungszeitraum ermittelt werden. Die Optimierung der Protein- und Aminosäurenversorgung in der Supplementgruppe (S) hatte damit keinen Einfluss auf diesen Wachstumsparameter.

Die Unterarmlänge (UAL) nahm in Gruppe S im betrachteten Zeitraum während der Versuchsabschnitte 6 und 7 geringfügig stärker zu als in Gruppe C. Das Wachstum in der UAL entwickelte sich ähnlich dem Wachstum der WRH da diese beiden Wachstumsparameter den Zuwachs vor allem in den Röhren- und Plattenknochen der Vordergliedmaßen beschrieben.

Die beobachtete Bewegungsaktivität der Tiere beider Gruppen erschien gleich. Alle Tiere wiesen ein für Junghengste typisches lebhaftes Verhalten auf und nutzten die Gruppenhaltung im Stall und vor allem die Zeit auf dem Paddock für Lauf- und Kampfspiele. Damit kam den Tieren gewissermaßen ein Training zu, welches den physiologischen Muskelaufbau unterstützte. Obwohl der Umfang des Langen-Gemeinsamen-Zehenstreckers bei der ersten Messung während dem Versuchsabschnitt 6 in Gruppe S tendenziell geringer ausgeprägt war, tendierte der Unterarmumfang (UAU) bereits zu dem Zeitpunkt zu einer stärkeren Ausprägung. Dieses Ergebnis konnte dadurch erklärt werden, dass andere Strukturen oder Gewebe (Knochen, Sehnen, Muskeln, Fell, Unterhautfett) im Unterarm der Tiere der Gruppe S stärker ausgeprägt waren und damit einen vergrößerten UAU verursachten. Eine möglicherweise gesteigerte Dicke der Röhrenknochen durch eine optimierte Proteinqualität bzw. den Zusatz von Lysin wurde im Kapitel 2.3 bereits beschrieben.

Die signifikant höhere Ausprägung des UAU zum zweiten Messtermin, während dem Versuchsabschnitt 7, war mit dem signifikant stärkeren Zuwachs des Umfangs des Langen-Gemeinsamen-Zehenstreckers zu erklären. Im vorliegenden Versuch konnte über diese neue Methode eine höhere Zunahme im Anteil an Muskelgewebe gemessen werden. Das höhere Muskelwachstum erfolgte in Abhängigkeit der beiden Versuchsabschnitte 6 und 7 mit den optimierten Tagesrationen in der Gruppe S. Um genauere Aussagen anhand dieses Parameters treffen zu können, wurde Forschungsbedarf mit weiteren Untersuchungen für notwendig erachtet, um diese Einblicke in ähnlich gelagerten Versuchskomplexen zu vertiefen. Zukünftige Untersuchungen sollten häufigere Messungen im Versuchsverlauf beinhalten um eventuelle natürliche Schwankungen im Wachstum von Pferden auch in diesem Parameter abbilden zu können. Die Methodik erwies sich als zuverlässig für die Beschreibung von Wachstum der Muskulatur an dem untersuchten Muskel.

Die Methodik der BIA zur Bestimmung der Gewebeverteilung bei den Tieren lieferte enttäuschende Ergebnisse. Es konnten aus methodischen Gründen nur Einzelwerte, gruppenunabhängig für einzelne Tiere, zu bestimmten Messzeitpunkten im Versuch ermittelt werden. Die Wasser- und Fettgehalte der Tiere bewegten sich im Normbereich, wie sie in dem Alterszeitraum zu erwarten waren.

Im Versuch wurde eine Röntgenuntersuchung durchgeführt, nach Beurteilung der gewonnenen Bilder konnten keine Einflüsse bzw. keine geringeren oder höheren Befunde in Abhängigkeit zur Optimierung der Rationen in den Versuchsabschnitten im Vergleich der beiden Versuchsgruppen nachgewiesen werden. Für zukünftige Untersuchungen mit ähnlichen gelagerten Fragestellungen bezüglich der Protein- und Aminosäurenversorgung und einer Beeinflussung der Entwicklung von wachsenden Pferden mit einer Beurteilung der Knochengewebe und krankhaften Veränderungen dieser, wären mehrere Röntgenuntersuchungen in einem vergleichsweise engen Zeitrahmen wünschenswert. In den Versuchen von SCHRYVER *et al.* (1987) und SAVAGE *et al.* (1993), welche mit höheren Tierzahlen und jüngeren Tieren in ihren Versuchen arbeiteten, wurden in Abhängigkeit zur Calcium-, Phosphor- und der Proteinversorgung und relativ hohen altersgemäßen Wachstumsraten keine klaren Effekte auf die Entwicklung des Knochengewebes ermittelt.

Anhand des Proteinstoffwechselfparameters Serum-Harnstoff-N (SUN) sollten Effekte der Rationsoptimierungen in den Versuchsabschnitten im Vergleich der Gruppen während des Versuches beurteilt werden. Durch eine Über- oder Unterversorgung mit Protein wären Auswirkungen auf diesen Parameter im Vergleich der Gruppen zu erwarten gewesen. Auch eine unpassende Aminosäurenversorgung, welche nicht gemäß dem Idealproteinkonzept eingestellt wurde, hätte abweichende Werte an SUN verursachen können.

Im Vergleich der Messwerte zwischen den Gruppen konnte an einem Untersuchungszeitpunkt im Gesamtversuch ein signifikanter Unterschied mit einem niedrigeren Wert in der Supplementgruppe ermittelt werden. Dieser Unterschied trat während dem Versuchsabschnitt 3 auf, in dem in der Tagesration zusätzlich zu dem Kartoffelprotein erstmals Lysin in kristalliner Form im Ergänzungsfutter der Gruppe S eingesetzt wurde. In diesem Versuchsabschnitt war erstmals eine Bedarfsdeckung für Lysin in der Tagesration der Tiere erfolgt. Das Ratio der Aminosäuren war damit nachweislich über diesen Stoffwechselindikator in einer idealeren Form eingestellt. Der tendenzielle Mangel an Methionin und Histidin aus der Tagesration wirkte sich nicht in einer Erhöhung der Werte des SUN aus. Die Tiere der Supplementgruppe konnten die Aminosäuren aus der Tagesration optimal für den Proteinansatz im Stoffwechsel nutzen und es mussten keine bzw. geringere Stoffwechselfaufwendungen für die Ausschleusung von Ammoniak bzw. Harnstoff erbracht werden. Ein ähnliches Ergebnis zur Stoffwechselentlastung wurde in den Versuchen der Arbeitsgruppe Graham-Thiers *et al.* (2005) erzielt. Die Ergebnisse dieses Stoffwechselfparameters streuten stärker in der Kontrollgruppe.

Diese Beobachtung ist auf eine gleichmäßigere Proteinqualität, höhere Verfügbarkeit der Aminosäuren und ein besseres Ratio der AS in den Rationen der Gruppe S zurückzuführen gewesen. Damit war der Stoffwechsel der Tiere in der Gruppe S durch die Optimierung der Aminosäureaufnahme entlastet und die Energieaufnahme konnte hiermit für das Wachstum genutzt werden.

Die Ergebnisse der Gehalte an freien Aminosäuren im Blutplasma (PFAA), ermittelt an den verschiedenen Messterminen während dem Gesamtversuch, werden in diesem Teil diskutiert. Die Blutentnahmen erfolgten immer zwei Stunden nach der Morgenfütterung wo die höchsten Gehalte an PFAA gemäß der Literatur (Kapitel 2.6) zu erwarten waren. Die Gehalte an Threonin und Valin im Blutplasma wurden, gemäß der angewandten Analytik, nicht bestimmt. An den verschiedenen Messzeitpunkten während den Versuchsabschnitten wurden immer wieder signifikant höhere Gehalte an PFAA in der Supplementgruppe ermittelt, diese waren auf die Optimierung der Aminosäurenversorgung in dieser Gruppe zurückzuführen. Durch die Aufnahme des angepassten Ergänzungsfutters kam es bei den Tieren der Gruppe S zu einer schnelleren und höheren Absorption an essentiellen Aminosäuren. Ob die Gehalte der PFAA in Gruppe C zu einem späteren Zeitpunkt ähnlich hohe Werte durch eine langsamere Absorption der Aminosäuren aus der Fütterung erreichten, konnte anhand der durchgeführten Methodik nicht gemessen werden. Eine ähnlich hohe spätere Absorption von Aminosäuren aus den Tagesrationen der Kontrollgruppe war unwahrscheinlich.

Ein Mangel an Histidin, ermittelt über das Idealproteinkonzept, in den Rationen der Versuchsabschnitte beider Gruppen über den gesamten Versuchsverlauf, bestätigte sich bei der Betrachtung der Ratio der PFAA nicht. Die knappe Versorgung mit Methionin aus den Rationen der Versuchsabschnitte 3 bis 5 in Gruppe S führte nur bei der Blutprobe während dem Versuchsabschnitt 4 in der Gruppe S zu einem Wert nahe dem des Ratio der Muskulatur (Tabelle 58), welcher auf eine aufgetretene Mangelversorgung hätte hinweisen können. In Versuchsabschnitt 6 lag in der Gruppe C eine vergleichsweise niedrige Versorgung mit Methionin vor, diese führte auch im Mittel der Tiere dieser Gruppe zu einem relativ niedrigen Wert bei den PFAA, welcher dort exakt den Wert des Muskel-Ratio (Idealproteinkonzept) erreichte.

Bei Betrachtung der Ratio der verzweigtkettigen Aminosäuren (BCAA) Isoleucin und Leucin relativ zum Lysin wurden für diese, während mehrerer Versuchsabschnitte in beiden Gruppen, Mangelsituationen festgestellt (Tabelle 58). Eine Unterversorgung an Isoleucin und Leucin gemäß der Idealproteinbetrachtung in den Rationen der Versuchsabschnitte selbst trat im Gegensatz dazu nicht auf, nur in Versuchsabschnitt 7 wurde in der Gruppe S eine Unterversorgung für Isoleucin und Leucin beschrieben.

Diese konnte den zu geringen Gehalt an diesen beiden Aminosäuren im Plasma im Mittel der Gruppe S während dem Versuchsabschnitt 7 begründen. In den weiteren Versuchsabschnitten wurde eher eine Überversorgung an diesen unentbehrlichen Aminosäuren ausgewiesen.

**Tabelle 58: Ratio der unentbehrlichen freien Aminosäuren in den Plasmaproben (PFAA) der Gruppen S und C (MW) in Relation zu Lysin (100) im Vergleich zum Ratio-Muskel (MW Literatur)**

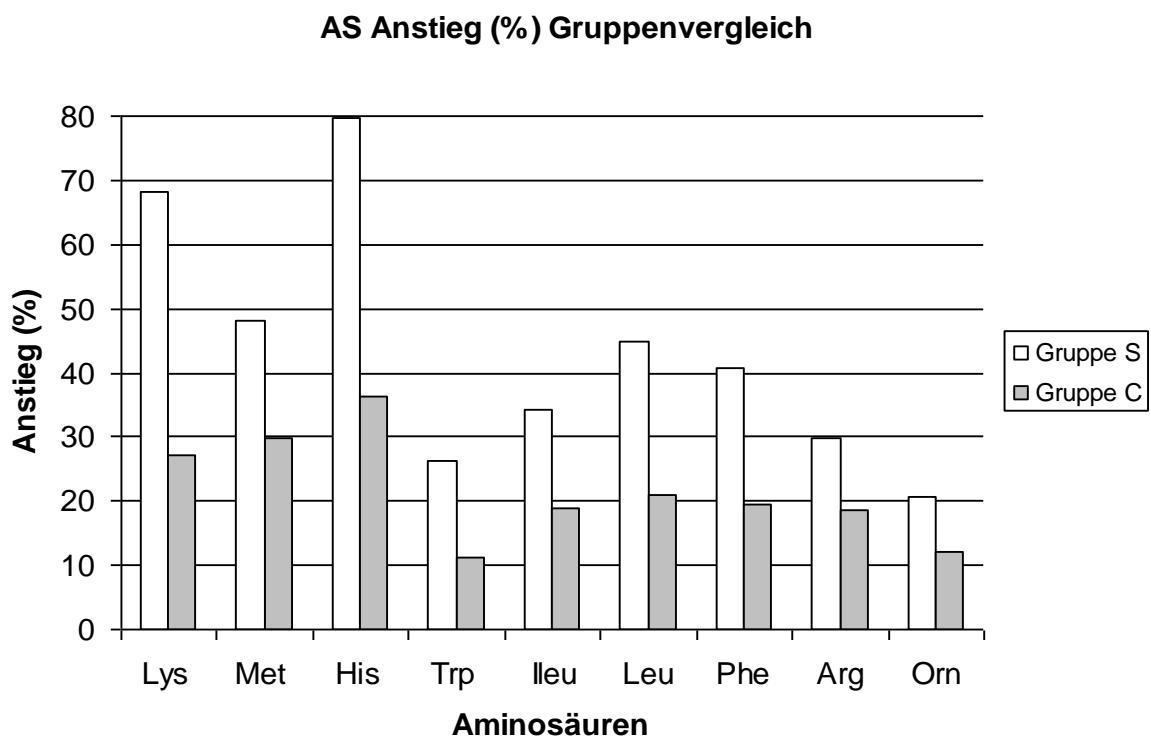
Gruppe	AS	Versuchsabschnitt und Ratio PFAA im Blut							Ratio Muskel
		1	2	3	4	5	6	7	
S	Lys	100	100	100	100	100	100	100	100
	Met	36	31	33	30	33	32	69	29
	Thr	-	-	-	-	-	-	-	55
	His	110	66	73	93	65	68	72	56
	Trp	98	47	66	61	68	57	66	-
	Val	-	-	-	-	-	-	-	58
	Ileu	75	57	58	<b>48</b>	57	<b>46</b>	<b>49</b>	55
	Leu	102	<b>96</b>	<b>88</b>	<b>77</b>	<b>89</b>	<b>80</b>	<b>73</b>	99
C	Lys	100	100	100	100	100	100	100	100
	Met	33	34	46	35	36	29	73	29
	Thr	-	-	-	-	-	-	-	55
	His	108	100	121	85	93	95	159	56
	Trp	90	65	93	76	85	76	142	-
	Val	-	-	-	-	-	-	-	58
	Ileu	67	<b>47</b>	72	58	62	<b>50</b>	87	55
	Leu	<b>85</b>	<b>80</b>	114	<b>88</b>	103	<b>92</b>	138	99

Dieser Effekt könnte in dem BCAA eigenen Stoffwechselweg über die Muskulatur direkt bzw. die schnelle Umwandlung zu Ketosäuren zu begründen gewesen sein, denn die im Proteinstoffwechsel entstandenen Ketosäuren wurden mit der angewandten Analytik im Plasma nicht bestimmt. Starke Belastungen der Muskulatur bzw. Trainingsreize begründeten bei den Tieren im Versuch keinen höheren Stoffwechsel der BCAA, die Tiere wurden nicht trainiert und befanden sich bis zur jeweiligen Blutentnahme in den Stallungen. Ein Einfluss von hohen Wachstumsleistungen im Muskelgewebe mit einhergehenden hohen Aufwendungen des Proteinstoffwechsels und vor allem dem BCAA-Stoffwechsel wurden beim Pferd bisher nicht beschrieben erscheint aber möglich. Der geringfügige Energiemangel gemäß Versorgungsempfehlungen während dem Versuchsabschnitt 6 hätte den erhöhten Bedarf an BCAA zur Energielieferung begründen können. In den weiteren Versuchsabschnitten, wo ein Mangel an Isoleucin und/oder Leucin ermittelt wurde, war kein Energiemangel in den Gruppen zu verzeichnen.

Ein Basiswert für alle Proteinstoffwechselfparameter, welche im Versuch zur Anwendung kamen wurde am 21. September 2011 vor der Fütterung bestimmt. Die PFAA im Vergleich der Gruppen wiesen erwartungsgemäß vergleichbare Werte im Mittel beider Gruppen auf.

Die Optimierung der Aminosäureversorgung gemäß dem Idealproteinkonzept hatte damit bei der Betrachtung des Basiswertes keinen Einfluss auf die Gehalte an PFAA, er war damit unbeeinflusst von der Fütterung. Bei der Aminosäure Leucin wurde ein Mangel in Bezug zum Ratio Muskel in beiden Gruppen an diesem Messzeitpunkt ermittelt. Mögliche Gründe für Fehlinterpretationen des Gehaltes von BCAA wurden bereits erläutert.

Um die Absorptionsleistungen der Tiere in Bezug auf die Aminosäureaufnahme aus der Fütterung zu beurteilen, wurden die PFAA vom Basiswert (nüchtern) mit denen des Messtermins vom 14. September 2011 verglichen. An dem Termin welcher sieben Tage vorher durchgeführt wurde, wurde die Blutprobe zwei Stunden nach der morgendlichen Fütterung vorgenommen (Abbildung 18).



**Abbildung 18: Relative mittlere Anstiege der AS-Gehalte (%) vom Basiswert zum Wert mit Ergänzungsfutter bzw. Kraftfutter im Vergleich der Gruppen**

Durch den geringen zeitlichen Abstand von nur sieben Tagen waren die Umweltbedingungen und der Entwicklungszeitpunkt der Tiere vergleichbar, um einen Gruppenvergleich dieses Parameters durchführen zu können. In beiden Gruppen stiegen die PFAA-Gehalte in Abhängigkeit der Fütterung stark an. Die Unterschiede innerhalb der Gruppen waren signifikant für nahezu alle unentbehrlichen Aminosäuren. In Gruppe S blieb nur der Ornithingehalt unbeeinflusst von der Fütterung, in Gruppe C wurde für Tryptophan und Ornithin ein geringer Anstieg ermittelt.

Bei Betrachtung der relativen Anstiege der PFAA-Gehalte zwischen dem Basiswert und dem Wert nach der Fütterung im Vergleich der Gruppen, wurden die großen Unterschiede bezüglich der Absorption der PFAA zwischen den Gruppen in Bezug zur jeweiligen Aminosäureaufnahme aus der Ration deutlich.

In der Supplementgruppe war eine höhere Anflutung an PFAA aus dem Futter im Bereich von 21 % bis 80 % im Vergleich zum Basiswert zu verzeichnen. In der Kontrollgruppe wurden im Anstieg lediglich Werte zwischen 11 % und 36 % erreicht. Diese sehr starken Anstiege bei Lysin und Histidin in der Gruppe S waren auf den Einsatz des Kartoffelproteins und die kristalline Ergänzung und die damit erreichte sehr gute Verfügbarkeit dieser beiden Aminosäuren aus dem Ergänzungsfutter zurückzuführen. Bei Betrachtung der Ergebnisse zu den Analysenwerten der freien Aminosäuren im Plasma (PFAA) zeigten sich Parallelen zu Anstiegen bzw. Gehalten im Plasma, im Vergleich zu ähnlich gelagerten Versuchsanstellungen in der Literatur. Die Messwerte aus dem Versuch der Arbeitsgruppe HACKL *et al.* (2006) zu den mittleren PFAA Gehalten im Blut wurden in Tabelle 59 dargestellt.

**Tabelle 59: Mittlere Gehalte an PFAA im Blut, der mittlere Anstieg (%) und Ratio an den Untersuchungszeitpunkten (modifiziert nach HACKL *et al.* (2006)) im Vergleich zum Ratio-Muskel (eigener Literaturvergleich)**

AS	Zeitpunkt und Werte		Anstieg	Zeitpunkt und Ratio		Ratio Muskel
	MW 0 h µmol/l	MW 2 h µmol/l	0 h zu 2 h %	Ratio 0 h	Ratio 2 h	
<b>Lys</b>	36,60	157,65	331	100	100	100
<b>Met</b>	28,00	55,35	98	77	35	29
<b>Thr</b>	43,15	110,75	157	118	70	55
<b>His</b>	51,60	103,10	100	141	65	56
<b>Trp</b>	35,60	65,80	85	97	42	-
<b>Val</b>	131,05	242,70	85	358	154	58
<b>Ileu</b>	51,70	116,00	124	141	74	55
<b>Leu</b>	66,35	176,25	166	181	112	99
<b>Arg</b>	94,70	207,80	119	259	132	72

Die PFAA an den zwei untersuchten Zeitpunkten (Abnahmezeitpunkt 0 und 2 h nach der Fütterung) mit dem mittleren Anstieg für die jeweilige Aminosäure wurden verglichen. Die Anstiege aller unentbehrlichen Aminosäuren im vorliegenden Versuch waren nicht annähernd so hoch wie in der Arbeit von HACKL *et al.* (2006) (Tabelle 59), dies lag sehr wahrscheinlich in der nicht vollständigen und kürzeren Nüchterung im vorliegenden Versuch begründet. Im Versuch von HACKL *et al.* (2006) fand eine Nüchterung der Tiere mittels komplettem Futterentzug über 10 Stunden vor der Blutentnahme statt. Diese Nüchterung konnte auch die zum Teil niedrigeren Basiswerte der PFAA im Vergleich zum vorliegenden Versuch begründen.



Die Tiere der Supplementgruppe zeigten Anstiege bei den zugesetzten kristallinen Aminosäuren Lysin und Histidin in Höhe von 68 % für Lysin bzw. 80 % für Histidin im Vergleich mit dem Basiswert. Der absolute Wert für Lysin erreichte nicht den Maximalwert wie er in der Arbeit von HACKL *et al.* (2006) angegeben wurde. Dieser lag im vorliegenden Versuch bei 156,6 µmol/l in der Gruppe S und niedriger, bei 123,8 µmol/l, in der Gruppe C. Für Histidin konnte durch die kristalline Ergänzung ein relativ hoher Wert von 145,6 µmol/l in der Gruppe S als Maximalwert erreicht werden, in der Gruppe C, ohne Ergänzung, lag dieser Wert nur bei 105,7 µmol/l. Dieser war damit nur geringfügig höher als im Vergleichsversuch der Arbeitsgruppe (Tabelle 59). Die Aminosäuren Tryptophan und Arginin im Versuch in Gruppe S zeigten mit 96 µmol/l bzw. 214,7 µmol/l höhere Werte. Diese ließen sich mit den hohen Gehalten an Tryptophan und Arginin aus der Tagesration und dem Hafer begründen, denn auch in der Gruppe C wurden im Mittel Werte von 94 µmol/l und 198,5 µmol/l erreicht.

Im vorliegenden Versuch lieferten die Ergebnisse zur Indikatorsubstanz 1-Methyl-Histidin (1-MH) keine klaren Hinweise auf die gemäß der Literatur beschriebenen Zusammenhänge. Eine erwartete Verringerung der 1-MH Gehalte im Blut der Gruppe S, einhergehend mit verringerten SUN-Gehalten trat im Versuch bei wachsenden Tieren nicht auf. Dies konnte in verschiedenen Zusammenhängen begründet gewesen sein. Einerseits war der Trainingsreiz für die Muskulatur durch das nur „spielerische“ Training, welches sich die Tiere in der jeweiligen Gruppe untereinander zukommen ließen, zu gering um einen Einfluss auf den Muskelproteinturnover zu haben. Andererseits könnte der Fall eingetreten sein, dass durch die Rationen in beiden Gruppen das Wachstum der Muskulatur so ideal unterstützt wurde, dass der natürliche Muskelproteinturnover bzw. Proteinabbau sehr gering war und sich die ausgeschiedenen Mengen an 1-MH dadurch eher im Minimalbereich bewegten.

Die Begründung für den Zusammenhang der Maskierung der 1-MH Mengen während des Wachstums von Tieren mit sehr hohen Wachstumsraten der Muskulatur wurde in der Arbeit von BATES (1983) beschrieben (Kapitel 2.6). Negative Einflüsse auf die Muskulatur waren nicht vorhanden da die Tiere im vorliegenden Versuch gesund waren und auch keinem Training oder unphysiologisch hohen Belastungen ausgesetzt wurden. Auch in der Arbeit von HACKL *et al.* (2006) wies das 1-MH, welches in den dortigen Versuchen als 3-MH bezeichnet wurde, keine Reaktion auf den Blutentnahmezeitpunkt auf. Eine Verringerung des 3-MH Gehaltes im Versuchsverlauf konnte in Bezug zum späteren Untersuchungszeitpunkt (nach 40 Tagen) beschrieben werden.

### 7 Schlussfolgerungen

Das Ziel des Fütterungsversuches war es zu ermitteln, wie sich das Wachstum von Reitpferdehengsten der Rasse DSP in der Aufzucht im Alter von 11 bis 27 Monaten, abhängig von der Energie- und Proteinversorgung darstellt.

Anhand der n-Alkan-Doppelmarker-Methodik konnten die individuellen TS-Aufnahmen der Tiere in dem untersuchten Lebensabschnitt, in den Sammelphasen geschätzt werden. Die ermittelten individuellen TS-Aufnahmen bildeten die Grundlage für die Rationserstellung.

Die zukünftige Anwendung der neuen Proteinbetrachtungsebenen pcvXP und pcvAS wird beim Einsatz von hohen Raufuttermengen beim Pferd eine höhere Fokussierung auf die Proteinqualität, die Verfügbarkeit und die Aminosäurezusammensetzung im Kraftfutter bzw. in optimierten Ergänzungsfuttermitteln erforderlich machen.

Durch den Einsatz von hochwertigen Proteinträgern (Sojaextraktionsschrot oder Kartoffelprotein) und kristallinen Aminosäuren konnte in der Supplementgruppe, über das im Versuch erstellte Ergänzungsfutter, eine Anpassung der Aminosäureversorgung gemäß den Versorgungsempfehlungen vorgenommen werden. Eine Deckung des Lysinbedarfes gemäß NRC (2007) war in Gruppe C mit den im Versuch eingesetzten Komponenten, in den dargestellten Mengen über die Tagesration, nicht möglich. Die wiederholt beobachtete Unterversorgung mit Histidin, gemäß dem Idealproteinkonzept, konnte in einer Ration der Gruppe S aufgefüllt werden. Während dem Supplementationszeitraum zeigte die Gruppe S höhere Wachstumsleistungen im Gruppenvergleich.

Hohe Wachstumspotenziale in der Lebendmasseentwicklung und im Größenwachstum, welche durch eine Optimierung der Aminosäureversorgung über das Idealproteinkonzept Pferd erwartet wurden, wurden im Versuch in mehreren Zeiträumen und im gesamten Versuchszeitraum aufgezeigt und über den Gruppenvergleich beschrieben. Eine Definition eines idealen physiologischen Wachstumsverlaufes, abhängig von der späteren Nutzung von Pferden steht weiterhin aus.

Das Wachstum im Muskelgewebe konnte an zwei Terminen im Versuchszeitraum mittels einer neuen Untersuchungsmethode, anhand Ultraschall, beurteilt werden. Ein signifikant höherer Wert im Wachstum für das Muskelgewebe im Mittel der Tiere der Supplementgruppe wurde für den Untersuchungszeitraum ermittelt. Eine zukünftige verstärkte Nutzung und Erweiterung dieser Methode für die Messung von Gewebeansatz am lebenden Tier könnte weitere Erkenntnisse in Wachstumsversuchen beim Pferd und bezüglich der Messung von Trainingseffekten liefern.

Mit der Bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) wurden wertvolle Daten bezüglich der Gewebeverteilung am lebenden Tier gewonnen. Eine sichere Bestimmung der Gewebeverteilung anhand dieser Methodik, in Kombination mit weiteren Gewebe- und Stoffwechselfparametern, könnten in der Zukunft tiefere Einblicke in die physiologischen Wachstumsvorgänge am lebenden Tier ermöglichen.

Anhand der durchgeführten Röntgenuntersuchung konnte kein Effekt der Optimierung der Rationen im Vergleich der Gruppen auf das Knochengewebe beschrieben werden. In weiteren Wachstumsversuchen sollten Röntgenuntersuchungen in früheren Altersabschnitten beginnen und in kurzen Zeitabständen wiederholt durchgeführt werden um Fütterungseffekte auf das Knochenwachstum zu beschreiben. Eine Kombination mit den existierenden Methoden, der Nutzung von Knochenmarkern im Blut, könnte dabei weitere interessante Ergebnisse liefern.

Die Serum-Harnstoff-Gehalte waren während einem Versuchsabschnitt in der Supplementgruppe signifikant geringer als in der Kontrollgruppe. Dieser Zusammenhang gab einen Hinweis auf eine, durch die Optimierung erreichte, Stoffwechsellastung bei den Tieren. Die Messwerte bewegten sich in beiden Gruppen immer im Normbereich.

Anhand der Analyse der freien Aminosäuren im Blutplasma (PFAA) der Tiere konnten höhere Absorptionsraten der unentbehrlichen Aminosäuren aus den optimierten Rationen der Supplementgruppe nachgewiesen werden. Die höhere Anflutung der PFAA nach der Fütterung bildete damit die Grundlage für die beschriebenen, höheren Wachstumsleistungen in der Supplementgruppe.

Für die unentbehrlichen Aminosäuren Methionin, Histidin, Isoleucin und Leucin wurde an verschiedenen Messzeitpunkten in beiden Gruppen eine zu geringe indirekte Versorgung im Plasma, in Bezug zu dem Ratio Muskel, ermittelt. Für Analysen der Anflutung dieser PFAA, geliefert aus definierten Rationen, und Untersuchungen bezüglich der Stoffwechselprozesse speziell dieser Aminosäuren beim Pferd wurde weiterer Forschungsbedarf ausgewiesen.

Der Indikator 1-Methyl-Histidin, welcher Aussagen zum Proteinturnover im Muskelgewebe von Pferden zuließ, zeigte keine Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen. Damit konnten anhand dieses Parameters im Versuch keine Effekte in Bezug zur vorgenommenen Rationsoptimierung bei wachsenden Pferden ermittelt werden. Einflüsse des starken Muskelwachstums auf den Actin- und Myosinstoffwechsel und damit auf diesen Indikator sollten weiter erforscht werden.

### 8 Zusammenfassung

Das Ziel des Fütterungsversuches war es, zu ermitteln, wie sich das Wachstum von Reitpferdehengsten in der Aufzucht im Alter von 11 bis 27 Monaten, abhängig von der Energie- und Proteinversorgung darstellt. Die Tiere wurden in zwei Gruppen mit je sechs Tieren in Laufställen mit täglichem Auslauf gehalten. Die Aufwertung der Proteinversorgung im Sinne des Idealproteinkonzeptes erfolgte in der Supplementgruppe über ein pelletiertes Ergänzungsfuttermittel in welchem hochwertige Proteinträger sowie kristalline Aminosäuren eingesetzt wurden. Die Trockensubstanzaufnahmen waren in allen Rationen in beiden Gruppen identisch. Gemäß Versuchsziel war die Protein- und Aminosäurenversorgung der einzige unterschiedliche Versuchsfaktor, die Energieaufnahme beider Gruppen war ausgeglichen.

Effekte der optimierten Versorgung wurden durch Wachstums-, Gewebe- und Stoffwechselfparameter über einen Zeitraum von 72 Wochen im Vergleich der Gruppen erhoben und ausgewertet. Die Zunahmen an Lebendmasse und in der Widerristhöhe waren über den gesamten Versuchsverlauf in der Supplementgruppe höher. Bei Betrachtung von kürzeren Zeiträumen waren signifikante, rationsabhängige Effekte in diesen, aber auch mittels anderer Wachstumsparameter, nachweisbar. Der Zuwachs im Muskelumfang war im entsprechenden Betrachtungszeitraum signifikant erhöht, die weiteren Gewebeparameter BIA und Röntgen lieferten dem Alter der Tiere entsprechende Ergebnisse. Im Parameter des Harnstoff-Stickstoff im Serum wurde an einem Zeitpunkt des Versuches im Mittel der Tiere der Supplementgruppe ein signifikant niedrigerer Wert ermittelt. An weiteren Zeitpunkten und auch bei der Indikatorsubstanz 1-Methyl-Histidin waren keine Unterschiede zwischen den Gruppen nachweisbar. Eine höhere Absorption der unentbehrlichen Aminosäuren aus dem Ergänzungsfutter in der Supplementgruppe wurde durch die Analyse der freien Aminosäuren im Blut in mehreren Versuchsabschnitten nachgewiesen.

Die verbesserte Proteinqualität in der Ration der Supplementgruppe beeinflusste das Wachstum der Tiere positiv. Eine Verwendung von hochwertigen Proteinträgern und kristallinen Aminosäuren gemäß Idealproteinkonzept konnte in Ergänzungsfuttermitteln für die Aufzucht von Pferden und für Zeiträume erhöhter Leistungsabforderungen empfohlen werden.

Weiterer Forschungsbedarf zum Idealprotein Pferd für zukünftige Untersuchungen wurde im Bereich der knappen relativen Versorgungslage an Methionin, Histidin und den verzweigtkettigen Aminosäuren nachgewiesen.

## 9 Literaturverzeichnis

- Almeida, A. M., Schwalbach, L. M., de Waal, H. O., Greyling, J. P. C., Cardoso, L. A. 2008. 3-methylhistidine as an Indicator for Protein Breakdown: An Experimental Model in Male *Capra hircu*. *Scandinavian Journal of Laboratory Animal Science* 35 No. 4: 259-263.
- Appelt, K. 2005. Effekte der Gelatinesupplementierung auf den Knochen- und Knorpelstoffwechsel im Verlauf des standardisierten Trainings beim Pferd. Dissertation. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Assenza, A., Bergero, D., Tarantola, M., Piccione, G., Caola, G. 2004. Blood serum branched chain amino acids and tryptophan modifications in horses competing in long-distance rides of different length. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 88: 172–177.
- Badiani, A., Nanni, N., Gatta, P.P., Tolomelli, B., Manfredini, M. 1997. Nutrient Profile of Horsemeat. *Journal of Food Composition and Analysis*. 10: 254-269.
- Ballard, F. J. und Tomas F.M. 1983. 3-Methylhistidine as a measure of skeletal muscle protein breakdown in human subjects: the case for its continued use. *Clinical Science* 65: 209-215.
- Bates, P. C., Grimble, G. K., Sparrow, M. P., Millward, D. J. 1983. Synthesis of protein – bound 3-methylhistidine, actin, myosin heavy chain and aldolase in rat skeletal muscle in the fed and starved states. *Myofibrillar Protein Turnover–Biochem Journal* 214: 593-605.
- Behnke, A. R. 1941. Physiologic studies pertaining to deep sea diving and aviation, especially in relation to the fat content and composition of the body. *Harvey Lecture* 37: 198 – 222.
- Bergero, D. 2005. Contribution to our knowledge of the physiology and metabolism of endurance horses. *Livestock Production Science* 92: 167–176.
- Bergero, D., Assenza, A., Schiavone, A., Piccione, G., Perona, G., Caola, G. 2005. Amino acid concentrations in blood serum of horses performing long lasting low-intensity exercise. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 89: 146–150.
- Boisen, S., Hvelplund, T., Weisbjerg, M. R. 2000. Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. *Livestock Production Science*. 64: 239 – 251.

- Borchers, A. 2002. Die Körpergewichts- und Körpergrößenentwicklung des Warmblutfohlens während des ersten Lebenshalbjahres in Bezug zur Energie- und Proteinzufuhr sowie zum Auftreten der Osteochondrose. Dissertation. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Brega, J. 2005. Health Nutrition & Fitness in Essential Equine Studies: Book Two. J. A. Allen. London.
- Breuer, L. H. 1971. Lysine requirement of immature equine. *Journal of Animal Science*. 33: 227.
- Brøndum, J., Egebo, M., Agerskov, C., Busk, H. 1998. On-line pork carcass grading with the Autofom ultrasound system. *Journal of Animal Science* 76: 1859-1868.
- Bryden, W. L. 1991. Amino Acid Requirements of Horses Estimated from Tissue Composition. *Proceedings Nutrition Society*. Australia 16.
- Bundestierärztekammer e.V. 2007. Leitfaden für die röntgenologische Beurteilung bei der Kaufuntersuchung des Pferdes – überarbeitete Fassung 2007.
- Casini, L., Gatta, D., Magni, L., Colombani, B. 2000. Effect of prolonged branched chain amino acid supplementation on metabolic response to anaerobic exercise in standardbreds. *Journal of Equine Veterinary Science* 20. 2: 120-123.
- Chrobok, C. 2000. Effekt einer L-Carnitinzulage auf Leistungsparameter und den Muskelcarnitingehalt bei jungen Trabern im Laufe eines Trainings. Dissertation. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Coenen, M., Kienzle, E., Vervuert, I., Zeyner, A. 2011. Recent German Developments in the Formulation of Energy and Nutrient Requirements in Horses and the Resulting Feeding Recommendations. *Journal of Equine Veterinary Science* 31: 219 – 229.
- Cymbaluk, N. F., Christison, G. I., Leach, D. H. 1989. Energy Uptake and Utilization by Limit- and Ad Libitum-Fed Growing Horses. *Journal of Animal Science* 67: 403 – 413.
- De Lorenzo, A., Candeloro, N., Andreoli, A., Deurenberg, P. 1995. Determination of intracellular water by multifrequency bioelectrical impedance. *Annals of Nutrition and Metabolism* 82: 177 – 184.

- De Pew, C. L., Thompson, D. L., Fernandez, J. M., Southern, L. L., Sticker, L. S., Wars, T. L. 1994: Plasma Concentrations of Prolactin, Glucose, Insulin, Urea Nitrogen, and Total Amino Acids in Stallions after Ingestion of Feed or Gastric Administration of Feed Components. *Journal of Animal Science* 72. 6: 2345-2353.
- De Pew, C. L., Thompson, D. L., Fernandez, J. M., Sticker, L. S., Burleigh, D.W. 1994. Changes in Concentrations of Hormones, Metabolites, and Amino Acids in Plasma of Adult Horses Relative to Overnight Feed Deprivation Followed by a Pellet-Hay Meal Fed at Noon. *Journal of Animal Science*. 72. 9: 1530-1539.
- Digicoll Library. 2008. <http://digicoll.library.wisc.edu/Science/data/images/MmBib/VetAnatImg/xlarge/0001x.jpg>. Downloaddatum: 08.04.2008
- DLG. 1995. *Futterwerttabellen–Pferde*. Universität Hohenheim. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Dove, H., Mayes, R. W. 1996. Plant wax components: A new approach to estimating intake and diet composition in herbivores. *Journal of Nutrition*: 13-26.
- Eder, K. 2010. Sonderwirkungen essentieller Aminosäuren auf den Protein-stoffwechsel. In: Proc. 9. BOKU-Symposium Tierernährung: Eiweiß in der modernen Tierernährung: Bedarf, Qualität, neue (alte) Futtermittel. (Hrsg.: Schedle, K., Kraft, M., Windisch, W. M.) Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie der BOKU Wien.
- Eggum, B. 1970. Blood urea measurement as a technique for assessing protein quality. *British Journal of Nutrition*. 24: 983-988.
- Elwert, C. 2004. Studies on the use of alkanes to estimate diet composition, intake, and digestibility in sheep. Dissertation. Martin-Luther-Universität. Halle-Wittenberg.
- Equistat Dual-Frequency Unit Bio-Electrical Impedance Technology. 1999: User's Guide 1/99.
- Essen-Gustavsson, B., Connysson, M., Jansson, A. 2010. Effects of crude protein intake from forage-only diets on muscle amino acids and glycogen levels in horses in training. *Equine Veterinary Journal* 42, Suppl. 38: 341-346.
- Essen-Gustavsson, B., Jensen-Waern, M. 2002. Effect of an endurance race on muscle amino acids, pro- and macroglycogen and triglycerides. *Equine Exercise Physiology*, 6, *Equine Veterinary Journal*, Suppl. 34: 209-213.

- Farley, E. B., Potter, G. D., Gibbs, P. G., Schumacher, J., Murray-Gerzik, M. 1995. Digestion of soybean meal protein in the equine small and large intestine at various levels of intake. *Journal of Equine Veterinary Science* 15: 391 - 397.
- Finkler-Schade, C. 1997. Felduntersuchung während der Weideperiode zur Ernährung von Fohlenstuten und Saugfohlen sowie zum Wachstumsverlauf der Fohlen. Dissertation. Universität Bonn.
- Foster, K. R., Lukaski, H. C. 1996. Whole Body Impedance – what does it measure? *American Journal of Clinical Nutrition* 64: 388 – 396.
- Freeman, D. W. 1995. Managing Young Horses for Sound Growth. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. Oklahoma State University. ANSI-3977.
- Gallagher, K., Leech, J., Stowe, H. 1992. Protein, Energy and Dry Matter Consumption by Racing Standardbreds - A Field Survey. *Journal of Equine Veterinary Science* 12: 382–388.
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE). 1994. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung des Pferdes. 2. Auflage DLG-Verlag. Frankfurt/Main.
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE). 1995. Zur Energiebewertung beim Wiederkäuer. Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (Hrsg.: M. Kircheggner). *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 4: 121-123.
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE). 2003. Communications of the committee for requirement standards of the society of Nutrition Physiology. Prediction of digestible energy (DE) in horse feed. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 12: 123-126.
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE). 2011. Schlussbericht. Rodehutschord, M., Kirchhof, S. Erarbeitung von Versorgungsempfehlungen für Pferde und Schafe mit Energie und Nährstoffen sowie Überarbeitung der Schätzformeln für den energetischen Wert von Futtermitteln.
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE). 2014. Ausschuss für Bedarfsnormen (in VORBEREITUNG). Empfehlungen der Energie- und Nährstoffversorgung für Pferde. DLG-Verlag. Frankfurt/Main.
- Gibbs, P. G., Sigler, S. H., Goehring, T. B. 1989. Influence of diet on growth and development of yearling horses. *Journal of Equine Veterinary Science* 9: 215 - 218.



- Gibbs, P. G., Potter, G. D., Schelling, G. T., Kreider, J. L., Boyd, C. L. 1996. The significance of small vs. large intestinal digestion of cereal grain and oilseed protein in the equine. *Journal of Equine Veterinary Science* 16: 60 – 65.
- Goering, H. K., van Soest, P. J. 1970. Forage Fiber Analysis. *Agricultural Handbook* 379. ARS, USDA, Washington, 1-12.c.
- Graham, P. M., Ott, E. A., Brendemuhl, J. H., TenBroeck, S. H. 1994. The Effect of Supplemental Lysine and Threonin on Growth Development of Yearling Horses. *Journal of Animal Science* 83: 2783 - 2788.
- Graham-Thiers, P. M., Kronfeld, D. S., Kline, K.A. , Sklan, D. J., Harris, P A. 2000. Protein status of exercising arabian horses fed diets containing 14 % or 7,5 % crude protein fortified with lysine and threonine. *Journal of Equine Veterinary Science* 20: 516 – 521.
- Graham-Thiers, P. M., Kronfeld, D. S. 2005. Amino acid supplementation improves muscle mass in aged and young horses. *Journal of Equine Veterinary Science* 25: 434 – 438.
- Graham-Thiers, P.M., Wilson, J. A., Hought, J., Goldberg, M. 2010. CASE STUDY: Relationships Between Dietary, Plasma, and Muscle Amino Acids in Maintenance Horses, Exercising Horses, and Growing Weanling Horses. *The Professional Animal Scientist* 26: 313–319.
- Gramberg, K. 2012. Zur Anwendung von AS-Verhältnissen in Körpergeweben als Basis für Bedarfsbewertungen (Idealprotein) unter besonderer Beachtung des Pferdes. Bachelorarbeit. Georg-August-Universität Göttingen.
- Hackl, S., van den Hoven, R., Zickl, M., Spona, J., Zentek, J. 2006. Individual Differences and Repeatability of Post-prandial Changes of Plasma-free Amino Acids in Young Horses. *Journal of Veterinary Medicine* 53: 439-444
- Hackländer, R. 1998. Praxisorientierte Untersuchung zur Fütterung und zum Wachstum von Warmblutfohlen nach dem Absetzen während der Stallhaltung. Dissertation. Universität Bonn.
- Hintz, H. F., Hogue, D. E., Walker Jr., E. F., Lowe J. E., Schryver, H.F. 1971. Apparent digestion in various segments of the digestive tract of ponies fed diets with varying roughage-grain ratios. *Journal of Animal Science*. 32: 245 - 248.

- Hintz, R. L., Hintz, H. F., Dale Van Vleck, L. 1979. Growth rate of young thoroughbreds. Effect of age of dam, year and month of birth, and sex of foal. *Journal of Animal Science*. 48: 480-487.
- Hintz, H. F. 1994. Nutrition and equine performance. *The Journal of Nutrition* 124: 2723S - 2729S.
- Hintz, H. F., Schryver, H. F. 1972. Nitrogen Utilization in Ponies. *Journal of Animal Science* 34: 592 – 595.
- Hois, C. 2004. Feldstudie zur Gewichtsentwicklung und Gewichtsschätzung beim wachsenden Pferd. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Hois, C., Kienzle, E., Schulze, A. 2005. Gewichtsschätzung und Gewichtsentwicklung bei Fohlen und Jungpferden. *Pferdeheilkunde* 21: 552 – 558.
- Holland, J. L., Kronfeld, D. S., Hoffmann, R. M., Greiwe-Crandell, K. M., Boyd, T. L., Cooper, W. L., Harris, P. A. 1996. Weaning stress is affected by nutrition and weaning methods. *Pferdeheilkunde* 12: 257 – 260.
- Johnson, R. J., Hart, J. W. 1974. Influence of Feeding and Fasting on Plasma Free Amino Acids in the Equine. *Journal of Animal Science* 38: 790-794.
- Kienzle, E. 2012. Passt die Fütterung? Diagnostik am Fohlen oder an der Ration?. 6. Leipziger Tierärztekongress. Tagungsband. Band 2. Pferd: 140-145
- Kienzle, E., Zeyner, A. 2010. The development of a metabolizable energy system for horses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 94: 231-240.
- King, N., Suleiman, M. S. 1998. Effect of regular training on the myocardial and plasma concentrations of taurine and  $\alpha$ -amino acids in thoroughbred horses. *Amino Acids* 15: 241-251. Springer Verlag Austria.
- Kohn, R. A., Dinneen, M. M., Russek-Cohen, E. 2005. Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs and rats. *Journal of Animal Science* 83: 879-889.
- Koslowski, D., Liebert, F. 2009. Investigations on amino acid supply in diets for young stallions and effects of lysine supplementation on growth and selected blood parameters. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 18: 32.
- Koslowski, D., Liebert, F., Thielebein, J. 2009. Investigations on muscle development (M. extensor digitorum communis) depending on lysine supply in diets for young stallions. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 18: 35.

- Krumbiegel, C. N. 2011. Studie zum Protein- und Aminosäurenbedarf bei Warmblutfohlen. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Licitra G., Hernandez, T. M., Van Soest, P.J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science Technology* 57: 347-358.
- Lukaski, H. C., Johnson, P. E., Bolunchuk, W. W., Lykken, G. I. 1985. Assessment of fat – free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *American Journal of Clinical Nutrition* 41: 810 – 817.
- Mack, J. K. 2007. Einfluss des Krafffutterangebots auf Parameter des Wachstums bei Warmblutfohlen. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Malesky, S. M., Chen, L., Löest, C. A., Turner, J. L. 2011. Plasma Amino Acid response in mature geldings fed three Concentrations of Lysine. *Journal of Equine Veterinary Science* 31: 230-356.
- Markert, W. 1992. Bilanzstudien beim Schwein zur Reduzierung der Stickstoffausscheidung durch Proteinabsenkung und den Einsatz von Aminosäuren. Dissertation. Technische Universität München.
- Martin-Rosset, W. 2005. Growth and Development in the Equine. In: *The growing horse: nutrition and prevention of growth disorders*. EAAP publication No. 114 (Hrsg.: Juliand, V., Martin-Rosset, W.), Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- Maynard, L. A., Loosli, J. K., Hintz, H. F., Warner, R. G. 1979. *Animal Nutrition*. 7th Edition. Mc Graw – Hill Book Co. New York.
- Naumann, K. und Bassler, R. 1976-1997. *VDLUFA-Methodenbuch III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln*. Mit Ergänzungslieferungen 1983, 1988, 1993, 1997. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- NRC. 2007. *Nutrient requirements of horses*. National Research Council of the National Academies. 6th rev. ed.
- Ott, E. A. 2001. Protein and amino acids. In: *Advances in Equine Nutrition II*. (eds.: Pagan, J. D., Geor, R. J.) Nottingham University Press, Nottingham, U.K: 237 - 244.
- Ott, E. A. 2005. Energy and protein metabolism of normal growth. In: *The growing horse: nutrition and prevention of growth disorders*. EAAP publication No. 114 (Hrsg.: Juliand, V., Martin-Rosset, W.), Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.

- Ott, E. A., Asquith, R. L., Feaster, J. P., Martin, F. G. 1979. Influence of Protein Level and Quality on the Growth and Development of Yearling Foals. *Journal of Animal Science*. 49: 620 – 628.
- Ott, E. A., Asquith, R. L., Feaster, J. P. 1981. Lysine Supplementation of Diets for Yearling Horses. *Journal of Animal Science*. 53: 1496 – 1503.
- Ott, E. A., Asquith, R. L. 1986. Influence of level of feeding and nutrient content of the concentrate on growth and development of yearling horses. *Journal of Animal Science*. 62: 290 – 299.
- Ott, E. A., Pas, Kivipelto, J. 2002. Influence of Energy and Protein Content of the Concentrate and Restricting Concentrate Intake on Growth and Development of Weanling Horses. *The Professional Animal Scientist* 18: 302 – 311.
- Ott, E. A., Brown, M. P., Roberts, G. D., Kivipelto, J. 2005. Influence of starch intake on growth and skeletal development of weanling horses. *Journal of Animal Science* 83: 1033 – 1043.
- Peganova, S., Hirche, F. Eder, K. 2003. Requirement of tryptophan in relation to the supply of large neutral amino acids in laying hens. *Poultry Science* 82. Jg., Nr. 5: 815-822.
- Platt, H. 1978. Growth and maturity in the equine fetus. *Journal of the Royal Society of Medicine* 71: 658 – 661.
- Rebolé, A., Treviño, J., Caballero, R., Alzueta, C. 2001. Effect of maturity on the amino acid profile of total and nitrogen fractions in common forage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81: 455 – 461.
- Reitnour, C. M., Salsbury, R. L. 1972. Digestion and utilization of cecally infused protein by the equine. *Journal of Animal Science* 35: 1190 - 1193.
- Rennie, M. J. 1985. Muscle protein turnover and the wasting due to injury and disease. *British Medical Bulletin* 41. Vol.3: 257-264.
- Rossdale, P. D. 1975. *Das Pferd-Fortpflanzung und Entwicklung*. Karger Verlag. Basel
- Russell M .A., Rodiek A. V., Lawrence, L. M. 1986. Effect of meal schedules and fasting on selected plasma free amino acids in horses. *Journal of Animal Science*. 63: 1428-1431.
- Saastamoinen, M. T. 1996. Serum urea and protein concentrations and growth rate of weanling foals. *Pferdeheilkunde* 12: 323 – 325.

- Savage, C. J., Mc Carthy, R. N., Jeffcott, L. B. 1993. Effects of dietary energy and protein on induction of dyschondroplasia in foals. *Equine Veterinary Journal Supplements* 16: 74-79.
- Schindler, K., Ludvik, B. 2004. Methodische und praktische Aspekte der Bestimmung der Körperzusammensetzung. *Wiener Medizinische Wochenschrift*. 154. 13 – 14: 305 – 312.
- Schryver, H. F., Meakim, D.W., Lowe J. E., Williams, J., Soderholm, L. V., Hintz, H. F. 1987. Growth and Calcium metabolism in horses fed varying levels of protein. *Equine Veterinary Journal* 19: 280-287.
- Schwark, H. J. 1984. *Pferdezucht*. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- Segal, K. R., Gutin, B., Presta, E., Wang, J., van Itallie, T. B. 1985. Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study. *Journal of Applied Physiology* 58: 1565 – 1571.
- Segal, K. R., van Loan, M., Fitzgerald, P. I., Hodgdon, A., van Itallie, T. B. 1988. Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four- site cross- validation study. *American Journal of Clinical Nutrition* 47: 7 – 14.
- Sergi, G., Bussolotto, M., Perini, P., Calliari, I., Giantin, V., Ceccon, A., Scanferla, F., Bressan, M., Moschini, G., Enzi, G. 1994. Accuracy of bioelectrical impedance analysis in estimation of extracellular space in healthy subjects and in fluid retention states. *Annals of Nutrition and Metabolism* 38: 158 – 165.
- Sheng, H. P., Huggins, R. A. 1979. A review of body composition studies with emphasis on total body water and fat. *American Journal of Clinical Nutrition* 32: 630 – 647.
- Siconolfi, S. F., Gretebeck, R. J., Wong, W. W., Pietrzyk, R. A., Suire, S. S. 1997. Assessing total body and extracellular water from bioelectrical response spectroscopy. *Journal of Applied Physiology* 82: 704 – 710.
- Staniar, W. B. 1998. *Growth of Thoroughbreds fed Different Levels of Protein and Supplemented with Lysine and Threonine*. Master Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Staniar, W. B., Kronfeld, D. S., Wilson, J. A., Lawrence, Cooper, W. L., Harris, P. A. 2001. Growth of thoroughbred fed a low-protein supplement fortified with lysine and Threonine. *Journal of Animal Science*. 79: 2143 – 2151.

- Susenbeth, A. 1984. Berechnung der Körperzusammensetzung von Schweinen aus dem mit Hilfe von D<sub>2</sub>O bestimmten Körperwasser. Dissertation. Institut für Tierernährung. Universität Hohenheim.
- Sünder, A., Neumann, S., Liebert, F. 2012. Short note about an analytical problem of the parameter 3-methylhistidine (3-MH) versus 1-methylhistidine (1-MH) as an indicator for muscle protein degradation. *Proceedings of the Society of Nutrition. Physiology* 21: 173.
- Tedeschi L. O., Pell A. N., Fox D. G., Llamas C. R. 2001. The amino acid profiles of the whole plant and of four plant residues from temperate and tropical forages. *Journal of Animal Science* 79: 525-532.
- Thompson, K. N., Jackson, S. G., Baker, J. P. 1988. The Influence of High Planes of Nutrition on Skeletal Growth and Development of Weanling Horses. *Journal of Animal Science*. 66: 2459 – 2467.
- Thompson, K. N. 1995. Skeletal growth rates of weanling and yearling thoroughbred horses. *Journal of Animal Science*. 73: 2513 – 2517.
- Trappe, T., Williams, R., Carrithers, J., Raue, U., Esmarck, B., Kjaer, M., Hickner, R. 2003. Influence of age and resistance exercise on human skeletal muscle proteolysis: a microdialysis approach. *Journal of Physiology*. 554: 803-813.
- Tuitoek, K., Young, L. G., de Lange, C. F., Kerr B. J. 1997. The effect of reducing dietary amino acids on growing-finishing pig performance: an elevation of the ideal protein concept. *Journal of Animal Science*. 75: 1575 – 1583.
- Ungemach, R. 2000. Doping im Pferdesport in Handbuch Pferd. BLV-Verlag München
- Vervuert, I., Borchers, A., Granel, M., Winkelsett, S., Christmann, L., Distl, O., Bruns, E., Hertsch, B., Coenen, M. 2005a. Estimation of growth rates in Warmblood foals and the incidence of osteochondrosis. *Equine Nutrition Conference Hannover. Pferdeheilkunde* 21: 129 - 130.
- Vervuert, I., Coenen M., Watermülder E. 2005b. Metabolic responses to oral tryptophan supplementation before exercise in horses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 89: 140–145.
- von Bertalanffy, L. 1957. Wachstum. In: *Handbuch der Zoologie – Eine Naturgeschichte der Stämme des Tierreichs* (Hrsg.: Helmcke, J.-G., von Hengerken, H., Starck, D.). Teil 1, Bd. 4. Verlag Walter de Gruyter Co. Berlin: 1 – 68.

- Walker, S. 2007. Monitoring zum Wachstum und zu Gliedmaßenveränderungen von Junghengsten in Schleswig-Holstein. Dissertation. Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- Wang, T. C., Fuller, M. F. 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. *British Journal of Nutrition* 62: 77 – 89.
- Watermülder, E., Belastungs- und trainingsbedingte Reaktionen des Energiestoffwechsels junger Traber unter besonderer Berücksichtigung der Aminosäurehomöostase auf eine standardisierte Zugbelastung. 2002. Dissertation. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Wesseling, B. 2003. Zur Wirksamkeit von Futteramino säuren beim Schwein. Dissertation. Institut für Tierphysiologie und Tierernährung der Georg-August-Universität Göttingen.
- Wetterstation Göttingen. 2012. URL:<http://wetterstation-goettingen.de/archiv.htm>, letzter Zugriff 12.10.2012.
- Wilke, A. 2003. Der Einfluss von Aufzucht und Haltung auf das Auftreten von Osteochondrose (OC) beim Reitpferd. Dissertation. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Wiltafsky, M. K., Pfaffl, M.W., Roth, F.X. 2010. The effects of branched-chain amino acid interactions on growth performance, blood metabolites, enzyme kinetics and transcriptomics in weaned pigs. *British Journal of Nutrition* 103: 964–976.
- Wittmann, J. 2005: Wachstum. In: *Physiologie der Haustiere* (Hrsg.: von Engelhardt, W., Breves, G.). 2. Aufl., Enke Verlag, Stuttgart: 574 – 580.
- Young, V. R., Stothers, S. C., Vilaire, G. 1971. Synthesis and degradation of mixed proteins and composition changes in skeletal muscle of malnourished and refed rats. *Journal of Nutrition* 101: 1379-1390.
- Zeyner, A., Kienzle, E. 2002. A Method to Estimate Digestible Energy in Horse Feed. *Journal of Nutrition* 132: 1771-1773.
- Zeyner, A., Kirchhof, S., Susenbeth, A., Südekum, K.-H., Kienzle, E. 2010. Protein evaluation of horse feed – a novel concept. In: *The impact of nutrition on the health and welfare of horses* (eds.: Elli A. D., Longland, A. C., Coenen, M. and Miraglia, N.). EAAP publications 128. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.

## 10 Lebenslauf

Dominic Koslowski

geboren am 12. 08. 1980 in Eisenach

Seit 10/2008 **Promotionsstudium und wissenschaftlicher Mitarbeiter**  
Department für Nutztierwissenschaften  
Tierernährungsphysiologie Georg-August-Universität Göttingen

Arbeitsthemen:

„Untersuchungen zur Optimierung des Wachstums von Jungpferden in Abhängigkeit von der Protein- und Aminosäurenversorgung (Methodenentwicklung)“

„Weiterentwicklung von Methoden zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit beim Pferd - Bilanzversuche Pferd“

10/2006 bis 09/2008 **Masterstudium Pferdewissenschaften**

Georg- August- Universität Göttingen

Masterarbeit:

„Untersuchungen zur Aminosäurenbedarfsdeckung und Optimierung der Entwicklung von Junghengsten“

Auszeichnung: „H. Wilhelm Schaumann Stiftung Hamburg“

10/2003 bis 09/2006 **Bachelorstudium Nutztierwissenschaften**

Georg- August- Universität Göttingen

Bachelorarbeit:

„Kundenzufriedenheit in Pferdepensionsbetrieben“

08/2000 bis 09/2003 **Ausbildung und Facharbeiter Pferdewirt**

Landgestüt Moritzburg

Auszeichnung: „Graf von Lehndorff Plakette in Bronze“

1991 bis 1999 **Allgemeine Hochschulreife (Thüringen)**

Elisabeth Gymnasium in Eisenach

1987 bis 1991 **Grundschule**

Carl Alexander Schule in Eisenach



**11 Wissenschaftliche Publikationen, Mitautorschaft, Tagungsbeiträge**

- Kosłowski, D., Liebert, F. 2009. Investigations on amino acid supply in diets for young stallions and effects of lysine supplementation on growth and selected blood parameters. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 18: 32.
- Kosłowski, D., Liebert, F., Thielebein, J. 2009. Investigations on muscle development (M. extensor digitorum communis) depending on lysine supply in diets for young stallions. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 18: 35.
- Kosłowski, D., Liebert, F., Thielebein, J. 2009. Untersuchungen zum Aminosäureangebot in Rationen für Junghengste und Auswirkungen einer Lysinergänzung auf Wachstumsparameter und ausgewählte Blutparameter. In: Göttinger Pferdetage 2009: 293-297.
- Kosłowski, D., Liebert, F. 2010. Nutrient digestibility in a diet of young stallions, as established under field conditions with the internal marker acid insoluble ash (AIA). Proc. Soc. Nutr. Physiol. 19: 124.
- Kosłowski, D. and Liebert, F. 2011. Final conclusions about nutrient and energy digestibility of a young stallion diet as investigated under field conditions. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 20: 49.
- Kosłowski, D. und Liebert, F. 2011. Ansatzpunkte zur Abschätzung von individuellen Verzehrshöhen und Verdaulichkeits-parametern bei Pferden in Gruppenhaltung. Göttinger Pferdetage 2011. Zucht, Haltung und Ernährung von Sportpferden: 108-109.
- Kosłowski, D. und Liebert, F. 2011. Zur Verdaulichkeitsbewertung einer Junghengstration unter Gestütsbedingungen. Göttinger Pferdetage 2011. Zucht, Haltung und Ernährung von Sportpferden: 110-111.
- Kosłowski, D. und Liebert, F. 2011. Digestibility parameters of a horse diet as observed under field conditions with acid insoluble ash as marker and response of young stallions to an improved dietary amino acid balance. Advances in Animal Biosciences. Proceedings of the 8th International Symposium on the Nutrition of Herbivores in Wales (ISNH8) Vol. 2, part 2: 262.
- Nossek, Judith, Kosłowski, D., Liebert, F. 2011. Zur Eignung von n-Alkanen als Marker für die Beurteilung von Nährstoffverdaulichkeit und Futterverzehr bei Shetlandponys. Göttinger Pferdetage 2011. Zucht, Haltung und Ernährung von Sportpferden: 112-113

- Koslowski, D., Vervuert, I., Liebert, F. 2012. Comparative application of acid insoluble ash (AIA) and hexatriacontane (C36) as digestibility markers in horses – first results of a balance study. Proc. Soc. Nutr. Physiol. (2012) 21: 107.
- Gramberg, Katharina, Koslowski, D., Liebert, F. 2013: Amino acid profile in equine muscle as a tool to characterize ideal amino acid ratios for horse diets. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 22, 114.
- Koslowski, D., Vervuert, Ingrid, Liebert, F. 2013. Ansatzpunkte zur Standardisierung von Verdaulichkeitsmessungen in Futterrationen für Pferde mit dem internen Marker „Salzsäure unlösliche Rohasche (HCl – uXA)“. Göttinger Pferdetage 2013, 106.
- Witten, Stephanie, Koslowski, D., Liebert, F. 2013. First results about effects of an amino acid optimized diet on growth parameters of young warm blooded stallions. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 22, 115.
- Witten, Stephanie, Koslowski, D., Thielebein, J., Liebert, F. 2013. Untersuchungen zum Einfluss einer qualitativ verbesserten Proteinversorgung auf Wachstumsparameter von ein- bis zweijährigen Warmbluthengsten. Göttinger Pferdetage 2013, 93.

### Tabellenverzeichnis des Anhangs

Anhangstabelle 1: Nährstoffgehalte in den eingesetzten Futtermitteln im Versuch .....	XIV
Anhangstabelle 2: Aminosäuregehalte eingesetzte Futtermittel im Versuch (Teil 1) ...	XIV
Anhangstabelle 3: Aminosäuregehalte eingesetzte Futtermittel im Versuch (Teil 2) ....	XV
Anhangstabelle 4: TS-, Nährstoff- und Energiegehalte der Übergangsrationen .....	XV
Anhangstabelle 5: n-Alkangehalte der Futtermittel SP1 bis SP 3 .....	XV
Anhangstabelle 6: n-Alkangehalte der Kotproben der Tiere SP1 bis SP 3 .....	XVI
Anhangstabelle 7: Geburtsdatum u. Alter der Tiere beim Ein- u. Ausstallen in Tagen .	XVI
Anhangstabelle 8: Messwerte Widerristhöhe (cm), Einzeltiere der Supplementgruppe (S) mit Mittelwert (MW) u. Standardabweichung (SD) .....	XVII
Anhangstabelle 9: Messwerte Widerristhöhe (cm), Einzeltiere der Kontrollgruppe (C) mit Mittelwert (MW) u. Standardabweichung (SD) .....	XVII
Anhangstabelle 10: Messwerte der Unterarmlänge (UAL) in cm .....	XVIII
Anhangstabelle 11: Messwerte der Lebendmasse (kg), Einzeltiere der Supplementgruppe mit Mittelwert (MW) u. Standardabweichung (SD) .....	XVIII
Anhangstabelle 12: Fortsetzung Anhangstabelle 11 .....	XIX
Anhangstabelle 13: Messwerte der Lebendmasse (kg), Einzeltiere der Kontrollgruppe mit Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) .....	XX
Anhangstabelle 14: Fortsetzung Anhangstabelle 13 .....	XXI
Anhangstabelle 15: Messwerte des Unterarmumfanges (UAU) in cm .....	XXI
Anhangstabelle 16: Messwerte des Muskelumfangs in mm .....	XXII
Anhangstabelle 17: Messwerte der Körperlänge (KL) in cm .....	XXII
Anhangstabelle 18: Analysenergebnisse Serum-Harnstoff-N (SUN); Tiere je Versuchs- abschnitt .....	XXII
Anhangstabelle 19: Analysenergebnisse PFAA; Tiere C1 bis C3 je Termin .....	XXIII
Anhangstabelle 20: Analysenergebnisse PFAA; Tiere C4 bis C6 je Termin .....	XXIV
Anhangstabelle 21: Analysenergebnisse PFAA; Tiere S1 bis S3 je Termin .....	XXV
Anhangstabelle 22: Analysenergebnisse PFAA; Tiere S4 bis S6 je Termin .....	XXVI

Anhangstabellen

Anhangstabelle 1: Nährstoffgehalte in den eingesetzten Futtermitteln im Versuch

Probe Nr.	Bezeichnung	% TS	% N in TS	% XP in TS	% XL in TS	% XF in TS	% NDF in TS	% NDF <sub>XP</sub> in TS	% XA in TS	% P in TS
3249	Heu	89,59	1,05	6,55	1,00	34,95			7,76	0,18
3495	Heu	90,26	1,29	8,08					8,84	0,22
4020	Heu	93,29	1,48	9,25			70,66	4,12		
4021	Heu	93,12	1,86	11,66			63,00	5,51		
4022	Heu	89,74	1,86	11,61						
4345	Heu	89,97	1,10	6,86						
3248	Stroh	92,75	0,69	4,29	1,08	42,75			8,28	
3242	Hafer	87,68	1,84	11,48						
3246	Hafer	87,99	1,98	12,35	5,58	13,44	34,63	1,42	3,06	0,35
4019	Hafer	87,76	1,63	10,21						
4346	Hafer	88,18	1,91	11,95						
2271	Gerste	89,46		11,9			34,15	2,41		
3313	Apfeltrester	92,73		4,95					1,41	
3498	Apfeltrester entpektiniert	91,28	1,38	8,62	2,18	27,78	55,43	4,85	7,32	0,13
2064	Kartoffelprotein	91,55		88,76	2,63	1,43			0,48	
3497	Kartoffelprotein	91,98	14,09	88,05			1,08	0,38	0,37	
	SBM	88,20		48,20	1,50	8,60	16,40	2,01	5,50	
3247	Mineralfutter	93,98	1,72	10,74	4,15	5,58			42,66	

Anhangstabelle 2: Aminosäuregehalte eingesetzte Futtermittel im Versuch (Teil 1)

Bezeichnung	Apfeltrester	Apfeltr. entpekt.*	KP	KP	Gerste	Hafer	Hafer	Mineral- futter
Probe (Nummer)	3313	3498	2064	3497	2271	3246	3591	3247
AS	MW mgAS/ gTS							
Cys ox [(Monomer)]	0,44	0,69	10,19	10,33	2,43	3,27	3,10	1,72
Met ox [Methionin]	0,62	0,92	16,81	16,65	2,01	1,88	1,79	1,07
Asp	5,13	6,02	96,75	102,56	7,62	9,60	8,86	6,14
Thr	1,79	2,35	47,25	49,31	4,48	4,05	3,73	3,46
Ser	2,10	2,80	44,03	45,06	5,71	5,56	5,15	3,60
Glu	6,43	9,66	81,67	91,82	31,54	24,00	22,10	15,61
Pro	1,95	2,78	39,46	41,35	14,80	6,07	5,45	5,40
Gly	2,22	3,35	38,51	39,62	4,92	5,76	5,31	4,00
Ala	2,27	3,04	37,78	40,55	4,91	5,54	5,14	3,96
Val	2,24	2,89	46,00	48,87	5,60	5,32	4,95	3,53
Ileu	1,84	2,51	41,40	42,80	4,21	4,14	3,74	2,68
Leu	3,16	4,52	80,57	85,80	8,44	8,27	7,67	5,22
Tyr			45,59		4,25			
Phe	1,94	2,57	51,02	51,02	6,74	5,66	5,07	3,46
His	0,94	1,22	15,96	16,95	2,46	2,54	2,32	1,92
Lys	2,21	2,21	56,55	63,02	3,86	4,89	4,58	4,78
Arg	2,04	3,22	36,79	40,43	5,60	7,63	7,22	4,95

\*Apfeltrester entpektiniert

Anhangstabelle 3: Aminosäuregehalte eingesetzte Futtermittel im Versuch (Teil 2)

Bezeichnung Probe (Nummer)	Heu 3245	Heu 3249	Heu 3495	Heu 3590	Heu FA* 4020	Heu FA* 4021	Stroh 3248
AS	MW mgAS/ gTS						
Cys ox [(Monomer)]	0,80	0,66	0,88	1,11	1,09	1,43	0,45
Met ox [Methionin]	0,98	0,76	1,05	1,39	1,45	1,86	0,36
Asp	6,50	4,72	6,59	8,25	8,53	9,95	2,09
Thr	2,86	2,32	3,10	3,78	3,85	5,01	1,18
Ser	2,78	2,20	3,09	3,76	3,59	4,50	1,11
Glu	7,16	5,85	7,87	9,41	9,40	12,20	2,73
Pro	3,75	3,00	3,58	5,40	5,32	8,09	1,35
Gly	3,24	2,89	3,59	4,36	4,40	5,77	1,29
Ala	3,92	3,43	4,26	5,49	5,48	7,13	1,45
Val	3,21	2,84	3,50	4,24	5,65	6,52	1,10
Ileu	2,48	2,21	2,70	3,25	4,12	4,95	0,82
Leu	4,48	4,03	5,27	6,32	6,45	8,74	1,48
Tyr					2,00	2,76	
Phe	2,99	2,63	1,71	4,24	4,34	5,76	0,90
His	1,11	0,76	3,44	1,54	2,25	2,70	0,29
Lys	3,29	2,65	3,10	4,32	4,60	5,95	1,04
Arg	2,67	2,51	3,36	4,29	4,23	5,63	0,84

\*Fremdanalyse

Anhangstabelle 4: TS-, Nährstoff- und Energiegehalte der Übergangsrationen

	Ration	Üb1*	Üb2*
C	TS (kg/d)	10	9
S		10	9
C	DE (MJ/d)	85	74
S		85	74
C	XP (g/d)	983	667
S		983	667

\*Nr. Übergangsration

Anhangstabelle 5: n-Alkangehalte der Futtermittel SP1 bis SP 3

Probe Nummer	Alkankonzentration in mg/kg TS		
	C31	C33	C36
Hafer 3246	10,2		
Hafer 3246	9,3		9,9
Stroh 3248	92,5	28,3	
Stroh 3248	92,8	21,8	
Heu 3250	40,0	9,9	
Heu 3250	41,0	10,2	
Heu 3312	132,6	29,0	
Heu 3312	128,2	32,5	
Heu 3495	56,5	11,3	
Heu 3495	57,2	11,6	

Anhangstabelle 6: n-Alkangehalte der Kotproben der Tiere SP1 bis SP 3

Probe Tier (Nummer)	Sammelphase	Alkankonzentration in mg/kg TS		
		C31	C33	C36
Kot S1	SP 1	95,6	26,6	
Kot S1	SP 1	95,7	27,6	21,5
Kot S2	SP 1	95,2	27,8	17,6
Kot S2	SP 1	92,7	27,7	
Kot S3	SP 1	99,5	27,8	19,7
Kot S3	SP 1	89,5	26,6	16,7
Kot S4	SP 1	95,0	26,9	26,8
Kot S4	SP 1	95,0	25,6	27,7
Kot S5	SP 1	88,8	25,4	17,3
Kot S5	SP 1	87,2	25,0	
Kot S6	SP 1	96,1	27,7	35,7
Kot S6	SP 1	92,9	26,1	32,5
Kot C1	SP 2	199,1	42,5	31,6
Kot C1	SP 2	201,4	45,3	32,6
Kot C2	SP 2	172,8	39,9	20,7
Kot C2	SP 2	172,6	38,5	23,0
Kot C3	SP 2	200,4	59,4	
Kot C3	SP 2	198,2	43,1	22,6
Kot C4	SP 2	176,0	38,3	22,8
Kot C4	SP 2	173,0	37,6	23,5
Kot C5	SP 2	209,6	49,1	22,3
Kot C5	SP 2	209,8	49,3	23,8
Kot C6	SP 2	182,4	41,0	34,9
Kot C6	SP 2	177,5	38,9	30,4
Kot S1	SP 3	160,3	34,3	24,2
Kot S1	SP 3	165,9	36,2	24,9
Kot S2	SP 3	160,9	36,4	
Kot S2	SP 3	161,7	36,4	26,4
Kot S3	SP 3	151,1	34,4	24,4
Kot S3	SP 3	147,0	33,8	
Kot S4	SP 3	164,5	37,2	17,4
Kot S4	SP 3	162,8	36,1	18,5
Kot S5	SP 3	152,2	35,0	20,9
Kot S5	SP 3	148,3	33,6	14,7
Kot S6	SP 3	151,3	35,1	
Kot S6	SP 3	143,1	33,5	23,5

Anhangstabelle 7: Geburtsdatum u. Alter der Tiere beim Ein- u. Ausstallen in Tagen

Tier	Geburtsdatum	Alter beim Einstallen	Alter beim Ausstallen
S1	04.02.2010	370	874
S2	27.02.2010	347	851
S3	09.05.2010	276	780
S4	09.03.2010	337	841
S5	25.03.2010	321	825
S6	06.04.2010	309	813
C1	02.04.2010	313	817
C2	25.03.2010	321	825
C3	04.03.2010	342	846
C4	20.04.2010	295	799
C5	02.03.2010	344	848
C6	06.02.2010	368	872

**Anhangstabelle 8: Messwerte Widerristhöhe (cm), Einzeltiere der Supplementgruppe (S) mit Mittelwert (MW) u. Standardabweichung (SD)**

Messtermin	Ø LT*	S1	S2	S3	S4	S5	S6	MW	SD
16.02.11	334	150	152	147	148	148	147	148,67	1,97
16.03.11	362	150	152	148	148	150	147	149,17	1,83
13.04.11	390	152	154	152	152	150	151	151,83	1,33
11.05.11	418	152	154	154	152	152	151	152,50	1,22
08.06.11	446	153	154	154	152	153	151	152,83	1,17
06.07.11	474	153	158	155	155	154	154	154,83	1,72
03.08.11	502	155	159	156	156	155	155	156,00	1,55
31.08.11	530	155	161	159	157	156	155	157,17	2,40
28.09.11	558	157	162	159	159	157	156	158,33	2,16
26.10.11	586	158	163	161	159	159	158	159,67	1,97
23.11.11	614	158	163	161	159	159	159	159,83	1,83
21.12.11	642	160	163	161	159	159	159	160,17	1,60
18.01.12	670	160	163	161	161	159	161	160,83	1,33
15.02.12	698	160	163	162	161	161	161	161,33	1,03
14.03.12	726	162	163	163	162	161	161	162,00	0,89
11.04.12	754	162	163	163	162	162	162	162,33	0,52
09.05.12	782	162	164	164	162	163	162	162,83	0,98
06.06.12	810	163	165	164	164	163	162	163,50	1,05
27.06.12	831	164	165	164	164	164	163	164,00	0,63

\*Ø LT = durchschnittliches Alter in Tagen

**Anhangstabelle 9: Messwerte Widerristhöhe (cm), Einzeltiere der Kontrollgruppe (C) mit Mittelwert (MW) u. Standardabweichung (SD)**

Messtermin	Ø LT*	C1	C2	C3	C4	C5	C6	MW	SD
16.02.11	338	152	151	150	148	149	150	150,00	1,41
16.03.11	366	152	151	152	148	150	150	150,50	1,52
13.04.11	394	152	151	152	149	150	152	151,00	1,26
11.05.11	422	155	153	153	151	153	154	153,17	1,33
08.06.11	450	157	154	155	152	154	154	154,33	1,63
06.07.11	478	158	156	156	153	156	156	155,83	1,60
03.08.11	506	159	156	156	154	156	157	156,33	1,63
31.08.11	534	160	157	157	155	156	158	157,17	1,72
28.09.11	562	161	158	157	155	157	160	158,00	2,19
26.10.11	590	161	158	158	156	157	160	158,33	1,86
23.11.11	618	161	158	158	157	157	160	158,50	1,64
21.12.11	646	161	159	159	158	158	160	159,17	1,17
18.01.12	674	164	161	161	159	160	163	161,33	1,86
15.02.12	702	164	161	161	159	161	163	161,50	1,76
14.03.12	730	164	161	161	160	161	163	161,67	1,51
11.04.12	758	164	161	162	160	161	163	161,83	1,47
09.05.12	786	164	161	162	160	162	163	162,00	1,41
06.06.12	814	164	162	162	161	162	163	162,33	1,03
27.06.12	835	164	164	163	161	162	163	162,83	1,17

\*Ø LT = durchschnittliches Alter in Tagen

Anhangstabelle 10: Messwerte der Unterarmlänge (UAL) in cm

Tier	Messtermin 1	Messtermin 2
S1	48	48
S2	48	50
S3	47	49
S4	46	47
S5	50	51
S6	46	48
C1	45	48
C2	49	49
C3	50	50
C4	49	49
C5	45,5	47
C6	48	48

Anhangstabelle 11: Messwerte der Lebendmasse (kg), Einzeltiere der Supplementgruppe mit Mittelwert (MW) u. Standardabweichung (SD)

Messtermin	Ø LT*	S1	S2	S3	S4	S5	S6	MW	SD
09.02.11	327	347	331	329	320	314	305	<b>324,33</b>	14,69
16.02.11	334	348	328	331	313	308	301	<b>321,50</b>	17,38
02.03.11	348	352	325	328	307	301	298	<b>318,50</b>	20,56
09.03.11	355	359	331	334	317	307	301	<b>324,83</b>	21,15
16.03.11	362	362	332	337	320	310	304	<b>327,50</b>	21,05
23.03.11	369	367	338	346	327	318	308	<b>334,00</b>	21,12
30.03.11	376	368	342	344	327	317	311	<b>334,83</b>	20,89
06.04.11	383	372	345	345	328	322	313	<b>337,50</b>	21,14
13.04.11	390	378	348	349	336	326	319	<b>342,67</b>	20,97
20.04.11	397	377	352	352	338	324	321	<b>344,00</b>	20,89
27.04.11	404	375	354	355	340	322	327	<b>345,50</b>	19,79
04.05.11	411	382	360	360	340	319	326	<b>347,83</b>	23,80
11.05.11	418	388	360	363	348	328	332	<b>353,17</b>	22,20
18.05.11	425	392	370	371	353	333	340	<b>359,83</b>	22,01
25.05.11	432	395	374	375	356	333	342	<b>362,50</b>	23,14
01.06.11	439	403	380	379	363	341	349	<b>369,17</b>	22,79
08.06.11	446	404	382	385	368	348	349	<b>372,67</b>	21,96
15.06.11	453	410	386	385	370	349	355	<b>375,83</b>	22,55
22.06.11	460	420	395	392	379	355	362	<b>383,83</b>	23,79
29.06.11	467	420	395	395	382	357	363	<b>385,33</b>	23,24
06.07.11	474	420	395	398	382	365	367	<b>387,83</b>	20,88
13.07.11	481	431	395	399	386	366	370	<b>391,17</b>	23,54
20.07.11	488	436	396	404	392	374	378	<b>396,67</b>	22,29
27.07.11	495	437	397	406	394	376	379	<b>398,17</b>	22,12

\*Ø LT = durchschnittliches Alter in Tage



Anhangstabelle 12: Fortsetzung Anhangstabelle 11

Messtermin	Ø LT	S1	S2	S3	S4	S5	S6	MW	SD
03.08.11	502	435	402	408	396	378	380	399,83	20,94
10.08.11	509	436	404	416	399	381	382	403,00	20,98
17.08.11	516	444	412	425	407	390	389	411,17	21,10
24.08.11	523	446	414	425	408	391	390	412,33	21,30
31.08.11	530	452	416	427	410	396	396	416,17	21,23
07.09.11	537	455	419	431	414	398	397	419,00	21,86
14.09.11	544	458	426	440	422	402	404	425,33	21,42
21.09.11	551	466	432	446	426	404	411	430,83	22,82
28.09.11	558	471	433	452	426	412	413	434,50	23,16
05.10.11	565	472	435	453	428	412	414	435,67	23,28
12.10.11	572	474	438	456	430	413	416	437,83	23,63
19.10.11	579	483	446	462	435	417	421	444,00	25,25
26.10.11	586	484	447	464	439	419	425	446,33	24,44
02.11.11	593	484	447	465	439	420	425	446,67	24,37
09.11.11	600	485	452	465	439	421	426	448,00	24,36
16.11.11	607	487	454	471	439	422	426	449,83	25,72
23.11.11	614	488	456	478	442	429	428	453,50	25,22
30.11.11	621	490	458	479	444	430	429	455,00	25,42
07.12.11	628	490	459	479	440	432	427	454,50	25,90
14.12.11	635	490	460	479	444	433	427	455,50	25,35
21.12.11	642	494	461	481	445	435	428	457,33	26,19
28.12.11	649	495	463	484	447	436	432	459,50	25,84
04.01.12	656	494	464	484	445	437	432	459,33	25,63
11.01.12	663	494	465	486	450	439	437	461,83	24,11
18.01.12	670	493	461	484	440	428	425	455,17	28,90
25.01.12	677	498	469	485	447	433	427	459,83	28,76
01.02.12	684	499	469	488	450	439	439	464,00	25,58
08.02.12	691	504	474	497	456	445	441	469,50	26,69
15.02.12	698	504	476	499	459	449	442	471,50	25,94
22.02.12	705	503	477	500	457	452	442	471,83	25,67
29.02.12	712	505	481	503	461	455	443	474,67	25,84
07.03.12	719	506	486	503	463	456	443	476,17	26,03
14.03.12	726	502	486	499	463	457	444	475,17	23,89
21.03.12	733	502	485	498	462	457	444	474,67	23,71
28.03.12	740	499	484	498	461	455	444	473,50	23,36
04.04.12	747	499	485	498	462	455	444	473,83	23,35
11.04.12	754	500	484	498	461	455	444	473,67	23,59
18.04.12	761	502	485	499	460	455	446	474,50	23,96
25.04.12	768	506	486	507	463	455	446	477,17	26,32
02.05.12	775	508	488	508	464	455	450	478,83	26,10
09.05.12	782	508	488	509	464	455	450	479,00	26,32
16.05.12	789	508	489	509	465	455	451	479,50	26,06
23.05.12	796	511	489	510	466	457	453	481,00	26,04
30.05.12	803	514	490	512	466	458	455	482,50	26,64
06.06.12	810	516	492	515	468	459	459	484,83	26,65
13.06.12	817	521	494	519	471	461	460	487,67	27,88
20.06.12	824	525	496	520	473	463	464	490,17	27,77
27.06.12	831	528	498	523	476	466	466	492,83	27,92

\*Ø LT = durchschnittliches Alter in Tagen

Anhangstabelle 13: Messwerte der Lebendmasse (kg), Einzeltiere der Kontrollgruppe mit Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD)

Messtermin	Ø LT*	C1	C2	C3	C4	C5	C6	MW	SD
09.02.11	329	382	357	325	311	314	304	332,17	30,73
16.02.11	336	368	359	327	317	314	310	332,50	24,83
02.03.11	350	373	352	321	311	318	308	330,50	26,08
09.03.11	357	378	358	328	319	319	318	336,67	25,34
16.03.11	364	378	359	330	322	322	322	338,83	23,95
23.03.11	371	382	359	335	326	328	325	342,50	23,14
30.03.11	378	382	364	335	322	324	325	342,00	25,08
06.04.11	385	388	370	341	334	326	326	347,50	25,67
13.04.11	392	393	369	344	336	330	330	350,33	25,46
20.04.11	399	400	369	350	344	335	332	355,00	25,67
27.04.11	406	402	370	346	345	335	335	355,50	26,13
04.05.11	413	407	369	353	347	337	343	359,33	25,78
11.05.11	420	408	369	359	350	340	345	361,83	24,86
18.05.11	427	412	373	358	352	342	346	363,83	25,97
25.05.11	434	414	375	360	356	349	350	367,33	24,72
01.06.11	441	418	386	365	367	353	355	374,00	24,54
08.06.11	448	420	394	370	371	359	362	379,33	23,41
15.06.11	455	420	395	371	369	360	363	379,67	23,30
22.06.11	462	425	402	374	373	365	368	384,50	23,84
29.06.11	469	428	403	376	375	366	370	386,33	24,20
06.07.11	476	432	405	382	383	370	375	391,17	23,32
13.07.11	483	440	410	387	380	370	373	393,33	26,95
20.07.11	490	441	415	386	385	372	375	395,67	26,92
27.07.11	497	442	418	388	389	379	380	399,33	25,26
03.08.11	504	445	420	390	391	385	382	402,17	25,01
10.08.11	511	448	422	398	399	390	385	407,00	23,77
17.08.11	518	450	430	401	396	396	392	410,83	23,63
24.08.11	525	452	433	400	397	399	392	412,17	24,41
31.08.11	532	458	433	405	399	402	395	415,33	24,89
07.09.11	539	460	439	405	401	403	391	416,50	26,85
14.09.11	546	464	441	410	409	410	399	422,17	24,94
21.09.11	553	468	445	415	410	412	401	425,17	25,76
28.09.11	560	475	455	420	419	415	404	431,33	27,43
05.10.11	567	468	458	421	422	416	409	432,33	24,40
12.10.11	574	468	460	424	425	415	411	433,83	24,09
19.10.11	581	474	464	429	426	420	417	438,33	24,34
26.10.11	588	474	468	430	427	421	419	439,83	24,54
02.11.11	595	480	478	435	430	425	421	444,83	26,89
09.11.11	602	483	474	430	425	427	419	443,00	27,88
16.11.11	609	484	475	430	426	428	423	444,33	27,49
23.11.11	616	488	477	435	428	430	426	447,33	27,62
30.11.11	623	486	476	436	426	431	427	447,00	26,76
07.12.11	630	490	478	440	430	435	431	450,67	26,33
14.12.11	637	491	479	442	433	432	430	451,17	26,80
21.12.11	644	492	481	443	434	433	432	452,50	26,85
28.12.11	651	490	480	440	432	431	433	451,00	26,71
04.01.12	658	489	477	442	433	430	433	450,67	25,65
11.01.12	665	490	471	440	434	430	427	448,67	25,75

\*Ø LT = durchschnittliches Alter in Tagen

Anhangstabelle 14: Fortsetzung Anhangstabelle 13

Messtermin	Ø LT*	C1	C2	C3	C4	C5	C6	MW	SD
18.01.12	672	500	486	452	433	440	446	459,50	27,07
25.01.12	679	500	490	454	445	445	445	463,17	25,10
01.02.12	686	500	491	448	438	441	437	459,17	28,55
08.02.12	693	504	494	452	440	442	442	462,33	28,88
15.02.12	700	506	495	454	442	443	444	464,00	28,81
22.02.12	707	505	495	454	443	445	444	464,33	28,08
29.02.12	714	506	496	456	442	446	448	465,67	27,93
07.03.12	721	503	494	452	441	446	446	463,67	27,35
14.03.12	728	502	494	451	443	445	442	462,83	27,53
21.03.12	735	499	491	449	443	445	442	461,50	26,18
28.03.12	742	492	491	448	442	444	441	459,67	24,78
04.04.12	749	492	491	448	443	445	441	460,00	24,51
11.04.12	756	493	490	447	444	444	441	459,83	24,62
18.04.12	763	496	490	446	446	443	442	460,50	25,30
25.04.12	770	498	494	448	450	446	445	463,50	25,26
02.05.12	777	499	496	449	452	448	446	465,00	25,27
09.05.12	784	500	497	448	451	448	446	465,00	26,02
16.05.12	791	502	498	447	450	448	447	465,33	26,90
23.05.12	798	503	499	449	452	448	447	466,33	26,93
30.05.12	805	505	501	450	453	448	448	467,50	27,59
06.06.12	812	508	505	451	452	450	450	469,33	28,81
13.06.12	819	512	509	454	450	451	452	471,33	30,38
20.06.12	826	514	511	455	453	451	453	472,83	30,77
27.06.12	833	516	512	457	455	452	455	474,50	30,66

\*Ø LT = durchschnittliches Alter in Tagen

Anhangstabelle 15: Messwerte des Unterarmumfangs (UAU) in cm

Tier	Messtermin 1	Messtermin 2
S1	39	42
S2	39	41
S3	40	41
S4	37,5	42
S5	37	40
S6	39	40
C1	38	40
C2	37	39
C3	38	39
C4	38,5	40
C5	36	38
C6	34,5	36

**Anhangstabelle 16: Messwerte des Muskelumfangs in mm**

Tier	Messtermin 1	Messtermin 2
S1	141,8	151,5
S2	147,6	156,6
S3	139	153,7
S4	142,7	156,5
S5	146	151,4
S6	126,8	140,1
C1	142,6	143,5
C2	150,2	157,7
C3	132,6	138,7
C4	150,8	152,6
C5	147,3	152
C6	129,5	137,4

**Anhangstabelle 17: Messwerte der Körperlänge (KL) in cm**

15.12.2011		23.04.2012	
Tier	KL (cm)	Tier	KL (cm)
S 2	166	S 2	170
S 3	160	S 3	168
S 4	148	S 4	162
S 5	157	S 5	158
S 6	151	S 6	160
C 1	157	C 1	167
C 3	152	C 3	162
C 4	147	C 4	162
C 5	149	C 5	159
C 6	153	C 6	160

**Anhangstabelle 18: Analysenergebnisse Serum-Harnstoff-N; Tiere je Versuchsabschnitt**

	1	2	3	4	5	6	7	Basiswert
Tier	SUN (mg/dl)	SUN (mg/dl)	SUN (mg/dl)	SUN (mg/dl)	SUN (mg/dl)	SUN (mg/dl)	SUN (mg/dl)	SUN (mg/dl)
S1	31,3	31,6	30,2	32,2	38,4	31,9	24,3	29,4
S2	30,0	36,6	30,2	33,5	38,0	34,0	27,2	28,8
S3	25,1	26,8	27,7	32,0	35,1	29,0	24,2	26,8
S4	28,9	30,7	27,9	35,6	35,3	33,1	26,8	31,2
S5	31,7	28,6	31,1	30,7	36,4	36,1	24,5	31,3
S6	26,4	26,2	29,3	35,7	34,4	32,6	24,7	29,3
C1	32,0	26,9	32,2	31,9	28,4	28,9	22,5	30,2
C2	42,3	36,3	35,9	38,5	37,1	34,7	23,7	-
C3	25,7	24,8	32,3	29,0	31,1	36,3	26,2	27,9
C4	31,4	29,3	33,1	33,5	36,3	26,6	30,2	34,5
C5	29,9	31,5	31,6	30,8	33,1	30,6	31,6	27,8
C6	35,4	28,5	27,7	28,8	33,2	31,0	30,7	22,9

Anhangstabelle 19: Analysenergebnisse PFAA; Tiere C1 bis C3 je Termin

Tier u. AS	Termin									
	C1	09.05.11	13.07.11	17.08.11	14.09.11	21.09.11	16.11.11	11.01.12	14.03.12	23.05.12
Met		33,09	39,78	34,69	40,53	29,26	38,36	32,98	36,14	44,5
ILEU		70,08	51,65	57,69	71,5	58,32	76,75	74,87	70,83	54,45
LEU		83,78	85,68	80,48	100,23	88,09	129,89	112,11	118,49	94,27
TYR		84,14	84,33	69,82	78,91	59,1	78,48	71,64	74,73	58,36
PHE		76,64	73,49	75,41	75,91	65,78	92,18	84,05	100,88	79,7
His		118,56	126,1	102,54	101,51	68,57	101,71	100,7	119,23	111,15
1-M-His		32,14	31,75	36,17	35,15	32,92	28,42	30,28	31,77	28,85
3-M-His		2,29	6,86	0	1,78	0	2,31	1,86	1,29	1,43
Carn/Ans		10,04	10,58	10,22	8,68	8,78	8,76	10,78	10,4	11,29
Trp		93,91	75,76	77,04	88,39	77,42	91,07	107,81	95,92	84,34
Orn		83,38	95,98	65,27	71,87	68,27	189,33	79,24	84,72	75,92
Lys		95,71	113,45	77,52	126,23	83,86	116,2	83,89	124,14	65,99
Arg		230,96	210,41	174,14	243,64	189,33	142,65	217,72	232,55	159,53
<b>C2</b>										
Met		31,34	38,69	37,11	41,82	-	37,59	30,93	30,14	47,43
ILEU		62,67	54,21	68,72	73,76	-	79,05	59,4	55,15	69,13
LEU		80,65	89,52	111,08	119,1	-	127,91	104,98	107,81	119,33
TYR		83,3	74,07	74,14	78,39	-	78,71	59,66	59,06	76
PHE		77,22	72,73	85,78	84,55	-	94,41	79,14	89,25	96,28
His		107,93	119,53	105,81	109,07	-	98,15	99	111,51	101,09
1-M-His		35,96	31,57	35,33	37,49	-	28,66	35,25	30,41	26,17
3-M-His		2,99	7,44	0	2,63	-	2,73	3,13	1,13	1,37
Carn/Ans		11,74	11,05	10,8	9,52	-	9,54	12,93	11,03	12,37
Trp		93,31	82,19	85	99	-	101,09	95,24	86,28	94,95
Orn		62,99	78,28	64,71	61,17	-	136,62	63,38	61,12	104,98
Lys		94,92	119,99	89,85	138,35	-	123,63	88,91	107,11	98,97
Arg		202,54	180,13	186,26	194,29	-	149,64	179,48	171,46	163,64
<b>C3</b>										
Met		43,42	43,82	45,61	48,98	34,63	52,64	40,3	26,31	53,15
ILEU		91,02	53,44	63,42	83,31	62,5	89,23	72,38	44	58,45
LEU		122,99	99,47	99,21	123,52	96,02	146,1	109,45	89,1	76,73
TYR		111,29	96,12	88,37	97,93	66,63	109,11	89,61	48,73	69,21
PHE		98,92	77,29	85,5	81,91	63,42	99,2	78,5	64,7	82
His		130,3	119,67	102,81	101,33	66,71	125,14	88,35	88,52	101,37
1-M-His		37,09	34,84	45,57	48,93	44,92	41,36	34,38	27,61	35,15
3-M-His		3,03	8	0	2,53	0	3,37	3,44	1,06	1,66
Carn/Ans		10,95	6,85	8,47	9,24	8,85	9,38	9,41	6,58	11,67
Trp		113,37	78,67	77,76	102,57	85,02	116,44	102,55	74,76	101,67
Orn		92,36	105,91	62,65	93,52	68,33	267,54	66,91	49,14	76,42
Lys		138,12	130,86	92,53	139,28	105,79	148,45	90,19	85,16	50,72
Arg		255,39	176,16	158,89	173,1	166,57	18,85	173,72	109,76	99,82

Anhangstabelle 20: Analyseergebnisse PFAA; Tiere C4 bis C6 je Termin

Tier u. AS	Termin									
	C4	09.05.11	13.07.11	17.08.11	14.09.11	21.09.11	16.11.11	11.01.12	14.03.12	23.05.12
Met		34,99	35,05	39,83	41,25	32,24	42,65	37,31	36,29	41,97
ILEU		75,44	52,03	68,09	70,00	64,04	70,68	69,83	65,77	57,32
LEU		87,46	97,16	107,90	110,18	102,15	130,22	108,99	129,25	87,79
TYR		83,44	64,51	71,47	72,08	53,33	77,96	60,15	63,15	53,92
PHE		87,30	73,18	91,13	78,93	71,25	91,45	69,40	95,51	76,80
His		121,65	112,78	114,29	106,10	94,79	132,71	99,84	131,47	96,83
1-M-His		51,21	40,14	46,18	49,23	48,99	42,18	31,03	42,68	42,85
3-M-His		3,16	6,95	2,90	2,45	0,83	2,55	2,62	3,72	1,46
Carn/Ans		10,24	9,75	6,96	8,04	7,16	7,16	7,94	8,28	9,86
Trp		101,48	78,86	83,00	85,05	81,64	102,44	73,40	99,05	93,75
Orn		71,89	91,40	62,66	63,41	58,61	243,72	52,19	76,34	67,60
Lys		121,85	124,86	98,74	112,19	110,65	137,46	99,56	152,53	57,45
Arg		248,55	163,50	169,43	189,30	157,10	12,79	135,91	204,20	130,05
<b>C5</b>										
Met		33,34	48,05	43,64	41,36	28,44	42,19	33,74	48,15	68,36
ILEU		80,95	89,02	81,35	78,75	57,65	76,40	67,96	74,68	55,92
LEU		117,88	158,05	124,69	132,81	77,00	124,01	123,49	128,24	85,34
TYR		91,98	119,12	91,31	94,11	56,75	87,34	67,09	84,43	49,39
PHE		97,55	115,22	98,29	94,87	59,52	95,89	86,63	109,05	70,03
His		107,31	116,05	99,66	140,43	71,50	82,71	109,10	112,47	73,51
1-M-His		36,26	40,54	45,30	48,20	43,60	35,02	39,00	37,69	37,85
3-M-His		2,45	0,00	2,02	2,00	0,81	3,85	0,94	0,00	0,76
Carn/Ans		9,37	14,55	8,25	6,20	7,98	8,97	10,10	10,14	11,94
Trp		97,65	75,04	87,72	93,80	71,55	95,01	106,69	98,26	71,93
Orn		65,76	79,27	59,22	63,87	46,01	194,66	56,71	60,91	107,23
Lys		108,11	155,43	137,93	170,87	89,21	131,17	97,87	152,53	114,36
Arg		218,03	187,19	186,77	199,38	151,72	42,51	170,36	208,50	63,81
<b>C6</b>										
Met		40,00	44,55	44,15	43,19	37,62	43,11	36,41	29,48	60,97
ILEU		89,46	62,60	65,64	71,55	65,83	76,47	71,85	58,57	73,83
LEU		113,22	107,89	115,73	107,05	90,44	120,47	122,59	102,06	121,11
TYR		105,56	84,97	81,07	79,06	66,07	88,75	73,11	58,91	84,04
PHE		106,98	84,45	102,67	82,63	72,62	106,63	89,98	89,24	109,04
His		135,57	121,93	113,30	100,08	78,27	112,43	112,69	85,65	131,52
1-M-His		17,05	14,10	18,62	18,11	19,50	12,34	20,96	15,70	18,84
3-M-His		1,78	8,46	1,37	2,68	0,90	3,24	6,05	1,09	2,40
Carn/Ans		9,75	11,03	9,19	9,19	10,36	7,73	8,99	8,10	12,99
Trp		102,69	74,06	84,92	82,44	81,67	102,61	93,89	67,07	108,14
Orn		76,75	68,46	55,38	53,61	48,95	174,54	60,76	51,74	121,08
Lys		120,59	127,54	89,94	104,81	94,62	103,53	111,73	111,91	90,82
Arg		230,58	168,46	180,98	201,13	168,02	99,90	193,32	207,09	131,90

Anhangstabelle 21: Analyseergebnisse PFAA; Tiere S1 bis S3 je Termin

Tier u. AS	Termin									
	S1	09.05.11	13.07.11	17.08.11	14.09.11	21.09.11	16.11.11	11.01.12	14.03.12	23.05.12
Met		35,87	51,13	41,88	36,97	27,87	42,48	32,93	50,08	63,80
ILEU		69,05	86,71	70,52	60,40	45,69	68,14	54,64	66,48	47,09
LEU		102,80	150,00	109,94	110,12	77,09	110,57	100,39	109,41	79,71
TYR		89,47	117,33	87,34	83,52	53,16	84,35	65,03	83,87	50,75
PHE		88,20	104,36	86,01	79,96	59,44	90,97	81,54	96,14	64,31
His		109,04	103,74	97,33	93,94	71,82	86,72	100,24	110,87	68,71
1-M-His		34,87	32,94	47,76	42,24	39,44	36,77	43,20	47,25	36,15
3-M-His		3,42	0,00	0,00	3,82	0,00	1,53	0,00	0,64	0,00
Carn/Ans		10,38	13,40	10,79	7,58	9,00	10,49	10,96	11,87	13,47
Trp		103,19	88,19	103,79	100,23	75,14	103,85	106,52	99,65	77,18
Orn		57,57	83,87	59,80	45,26	42,50	73,02	51,67	72,81	33,33
Lys		102,02	197,26	134,02	136,39	83,80	133,91	91,89	154,79	96,86
Arg		211,76	190,72	176,99	194,08	149,34	170,20	166,88	192,35	140,23
<b>S2</b>										
Met		45,16	65,33	57,93	58,08	39,75	52,23	43,74	77,36	105,26
ILEU		84,96	129,44	83,59	77,56	62,81	84,99	61,52	99,78	61,75
LEU		110,74	199,20	114,58	111,42	91,23	132,35	85,01	166,88	82,69
TYR		91,46	163,62	101,02	93,29	63,55	97,16	64,93	106,80	59,75
PHE		89,67	138,09	99,14	88,56	67,20	100,75	74,79	129,98	72,08
His		109,95	118,05	108,67	175,23	85,48	99,73	99,94	121,94	76,87
1-M-His		20,33	21,87	26,32	28,37	23,00	16,66	21,40	26,06	25,64
3-M-His		2,14	0,00	0,00	0,00	0,00	2,96	0,00	0,00	0,00
Carn/Ans		8,40	15,75	10,67	8,20	8,78	9,71	11,06	12,44	13,12
Trp		101,51	102,77	93,96	103,03	86,59	102,56	102,23	107,21	70,09
Orn		61,79	115,59	64,22	76,17	56,28	183,50	60,90	81,47	111,04
Lys		109,31	238,75	132,14	146,03	90,62	135,61	66,61	202,71	120,96
Arg		242,50	295,76	212,66	236,46	195,37	89,42	182,96	278,17	87,14
<b>S3</b>										
Met		28,18	47,81	42,37	51,43	32,20	49,77	35,88	57,83	74,02
ILEU		59,27	78,21	70,46	68,17	44,16	76,92	68,29	80,76	49,81
LEU		84,83	142,62	95,87	127,58	75,25	119,19	113,72	149,07	75,62
TYR		80,76	114,84	82,29	92,61	59,84	86,86	65,31	91,90	50,36
PHE		82,95	110,19	84,53	98,83	64,90	98,13	81,38	113,74	66,13
His		101,80	107,61	75,06	174,52	94,76	95,56	107,36	126,71	85,30
1-M-His		36,36	34,02	36,69	44,89	37,02	27,71	37,72	39,54	34,45
3-M-His		2,17	0,00	1,98	0,00	1,18	1,74	0,89	0,00	0,00
Carn/Ans		7,79	14,82	8,50	4,44	7,01	8,59	8,76	10,08	10,68
Trp		78,27	69,07	78,71	90,12	72,15	81,20	88,06	96,11	68,27
Orn		57,38	76,13	60,21	63,09	44,29	177,12	54,42	76,69	102,79
Lys		84,19	156,60	119,01	174,04	91,81	148,68	103,58	181,35	112,71
Arg		201,77	216,63	170,13	219,22	155,68	70,27	171,89	227,81	60,51

Anhangstabelle 22: Analysenergebnisse PFAA; Tiere S4 bis S6 je Termin

Tier u. AS	Termin									
	S4	09.05.11	13.07.11	17.08.11	14.09.11	21.09.11	16.11.11	11.01.12	14.03.12	23.05.12
Met		30,17	58,21	40,77	50,74	32,12	47,66	38,14	47,87	78,27
ILEU		71,05	115,54	80,14	87,42	61,49	88,94	75,92	68,53	61,60
LEU		95,45	186,37	126,75	144,60	99,21	138,46	124,46	114,77	86,84
TYR		67,11	120,63	80,57	87,66	57,50	103,36	61,89	75,67	54,87
PHE		81,46	134,60	95,37	93,79	63,45	100,98	78,43	99,28	70,27
His		110,65	113,16	97,95	153,00	82,03	104,97	104,10	104,55	87,98
1-M-His		24,92	26,81	25,64	36,27	30,87	21,17	23,68	29,27	26,76
3-M-His		0,00	0,00	1,92	3,22	0,86	4,93	0,99	0,00	0,88
Carn/Ans		12,76	11,27	7,41	6,60	7,56	8,19	9,90	9,40	11,93
Trp		113,17	68,24	82,55	97,29	78,14	101,34	101,30	82,73	84,58
Orn		59,65	92,17	66,28	64,91	62,54	236,75	63,97	71,85	133,29
Lys		93,84	201,18	137,43	176,26	119,01	164,53	94,76	151,99	126,09
Arg		244,38	218,20	191,46	226,19	175,47	14,78	192,04	196,00	77,17
<b>S5</b>										
Met		33,34	48,05	43,64	41,36	28,44	42,19	33,74	48,15	68,36
ILEU		80,95	89,02	81,35	78,75	57,65	76,40	67,96	74,68	55,92
LEU		117,88	158,05	124,69	132,81	77,00	124,01	123,49	128,24	85,34
TYR		91,98	119,12	91,31	94,11	56,75	87,34	67,09	84,43	49,39
PHE		97,55	115,22	98,29	94,87	59,52	95,89	86,63	109,05	70,03
His		107,31	116,05	99,66	140,43	71,50	82,71	109,10	112,47	73,51
1-M-His		36,26	40,54	45,30	48,20	43,60	35,02	39,00	37,69	37,85
3-M-His		2,45	0,00	2,02	2,00	0,81	3,85	0,94	0,00	0,76
Carn/Ans		9,37	14,55	8,25	6,20	7,98	8,97	10,10	10,14	11,94
Trp		97,65	75,04	87,72	93,80	71,55	95,01	106,69	98,26	71,93
Orn		65,76	79,27	59,22	63,87	46,01	194,66	56,71	60,91	107,23
Lys		108,11	155,43	137,93	170,87	89,21	131,17	97,87	152,53	114,36
Arg		218,03	187,19	186,77	199,38	151,72	42,51	170,36	208,50	63,81
<b>S6</b>										
Met		37,50	55,15	47,85	45,22	31,36	50,83	39,30	55,76	75,84
ILEU		72,99	98,89	92,07	75,68	61,92	94,26	74,43	86,14	51,58
LEU		89,27	174,21	154,85	97,51	79,61	138,69	122,76	155,30	79,01
TYR		86,58	113,80	95,51	74,46	52,74	90,77	64,50	86,59	44,23
PHE		78,89	134,04	105,55	68,82	58,54	95,62	78,56	111,56	64,64
His		105,03	129,35	118,43	136,57	80,95	87,46	114,55	124,12	90,49
1-M-His		41,93	43,75	45,70	44,20	41,46	33,32	36,01	44,22	38,69
3-M-His		2,94	2,61	2,80	4,32	1,11	2,96	1,06	0,00	1,00
Carn/Ans		10,07	16,36	9,85	9,18	8,19	9,61	11,80	11,52	11,98
Trp		80,24	91,32	91,49	91,58	72,50	97,99	99,81	102,26	72,56
Orn		61,97	101,15	83,69	68,54	65,18	157,70	66,36	91,87	154,55
Lys		89,44	99,43	161,32	136,06	84,24	139,64	94,22	186,18	102,73
Arg		210,58	229,29	230,82	212,77	164,24	126,18	195,25	240,38	40,57



### Danksagung

Folgenden Personen und Institutionen gilt mein besonderer Dank:

Herrn Prof. Dr. F. Liebert für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit, in der Abteilung Tierernährungsphysiologie der Georg-August-Universität Göttingen zu promovieren. Sie standen mir stets mit wissenschaftlichem Rat zur Seite. Ich danke Ihnen für die vielen konstruktiven Gespräche, die Unterstützung bei allen aufwendigen, speziellen Versuchsdurchführungen und die Möglichkeit eigene Ideen verwirklichen zu dürfen.

Herrn Dr. habil. C. Wecke für die Übernahme des Zweitgutachtens, die Möglichkeit der Nutzung der Versuchsanlagen und der Futterproduktion, sowie die stets gute Abstimmung aller laufenden Versuche in der Tierernährungsphysiologie.

Herrn apl. Prof. Dr. S. Neumann für das wissenschaftliche Interesse an den Fragestellungen beim Pferd und Ermöglichung der Blutabnahmen sowie Durchführung der Blutanalysen in seiner Einrichtung.

Frau Prof. Dr. A. Zeyner für die wissenschaftliche Unterstützung und die Zusammenarbeit in der speziellen Nährstoffanalytik der eingesetzten Futtermittel.

Frau Dr. A. Sünder und allen Mitarbeitern im Labor der Tierernährungsphysiologie für ihre intensive Arbeit in der Analytik in den verschiedensten Probenmaterialien.

Familie Unger und den Mitarbeitern des Gestütes Käfernburg für das Vertrauen und die Überlassung der Jungpferde die im Versuch genutzt wurden.

Frau H. Marbell danke ich für ihre stetige Hilfsbereitschaft bei den Veröffentlichungen und Verwaltungsangelegenheiten

Nicole, Nadine, Walter, Thomas, Mario und den HiWi's danke ich für die pferdegerechte Umgestaltung des Versuchsstalles und der Ausläufe, die Unterstützung und Durchführung der täglichen Arbeiten in der Pferdehaltung und der Mitarbeit bei den Untersuchungen der Tiere.

Den Master- und Bachelorstudenten welche am Versuch beteiligt waren.

Den Tierärzten der Kleintierklinik des Tierärztlichen Institutes für die Blutabnahmen, der Aufbereitung und Analysen dieser.

Herrn Dr. D. Barnewitz und den Mitarbeitern der Großtierklinik des FZMB in Bad Langensalza für die Durchführung der Röntgenuntersuchung, der Bereitstellung der Technik und die Unterstützung bei der Auswertung der Bilder.

Herrn DVM J. Thielebein für die enge unkomplizierte Zusammenarbeit bei der Weiterentwicklung und Anwendung der Ultraschallanalytik beim Pferd.

Den Mitarbeitern der Abteilung Ökologie der Nutztierhaltung der Georg- August- Universität Göttingen für die Mitarbeit bei der Auswertung der Ultraschallbilder.

Der DERBY Spezialfutter GmbH für die großzügige Unterstützung des Versuches.

Der Firma agro Food Solution GmbH für die Unterstützung des Versuches.

Anja, Daulat sowie Jakob für die heiteren Momente im Büro und während des Studiums. Eure Ideen und Kreativität haben mir bei so manchem Problem weitergeholfen.

Mein größter Dank gilt meiner Familie und Elke, die nie an mir zweifelten, mir Kraft gaben und mich immer unterstützt haben. Danke, dass ihr mir mein Studium ermöglicht habt! Danke, dass ihr immer für mich da seid!