

Studien zur Aminosäurewirksamkeit beim Mastgeflügel unter spezifischer Betrachtung der verzweigt-kettigen Aminosäuren

Dissertation

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

vorgelegt von

Anja Pastor

geboren in Münster

Göttingen, im Februar 2014

D 7

1. Referent: Prof. Dr. F. Liebert

2. Referent: Dr. habil. C. Wecke

Tag der mündlichen Prüfung: 04.02.2014

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VIII
Anhangstabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XV
Zusammenfassung	XVII
Summary	XX
1 Einleitung	1
1.1 Das Konzept des Idealproteins.....	2
1.2 Die verzweigt-kettigen Aminosäuren.....	5
2 Literaturrecherche	6
3 Ziel der Arbeit	7
4 Material und Methoden	8
4.1 Tierhaltung.....	8
4.1.1 Bilanzversuche.....	9
4.1.2 Wachstumsversuche.....	10
4.1.3 Reservetiere.....	11
4.2 Fütterung.....	11
4.2.1 Bilanzversuche.....	11
4.2.2 Wachstumsversuche.....	12
4.3 Versuchsdieten.....	12
4.4 Sammlung und Aufarbeitung der Exkremente.....	16
4.5 Zootechnische Parameter.....	17
4.5.1 Ermittlung der Lebendmasse – Bilanzversuch.....	17
4.5.2 Ermittlung der Lebendmasse und Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse-Wachstumsversuch.....	17
4.6 Ganzkörperanalyse.....	20
	I

4.7	Blutabnahme.....	20
4.7.1	Experiment 2.....	21
4.7.2	Experiment 3.....	22
4.8	BCKA-Analytik.....	22
4.9	Aminosäuren-Analytik.....	22
4.9.1	Analytik der Proteinträger.....	22
4.9.2	Analytik des Blutplasmas.....	23
4.10	Berechnete Parameter.....	23
4.10.1	N-Ansatz (Bilanzversuch).....	23
4.10.2	N-Ansatz (Wachstumsversuch mit Ganzkörperanalyse).....	23
4.10.3	Lebendmassezunahme (Wachstumsversuch).....	23
4.10.4	Futtermaterialverbrauch (Wachstumsversuch).....	24
4.10.5	Parameter des N-Verwertungsmodells.....	24
4.11	Statistische Auswertung.....	26
5	Ergebnisse	27
5.1	Experiment 1 – Ermittlung der Modellparameter und des Lysin-Bedarfs.....	27
5.1.1	Bilanzversuch.....	27
5.1.2	Wachstumsversuch.....	29
5.1.3	Lysin-Bedarf.....	31
5.2	Experiment 2 – Ermittlung des idealen Aminosäuren-verhältnisses zwischen den verzweigtkettigen Aminosäuren und Lysin und Bestimmung des optimalen Zeitpunktes für eine Blutabnahme.....	34
5.2.1	Bilanzversuch.....	34
5.2.2	Wachstumsversuch.....	39
5.2.3	Bestimmung des optimalen Zeitpunktes für die Blutabnahme zur Bestimmung des Gehalts an verzweigtkettigen α -Ketosäuren im Blutplasma.....	42
5.3	Experiment 3 – Verifizierung des ermittelten idealen Verhältnisses zwischen den verzweigtkettigen Aminosäuren und Lysin.....	43
5.3.1	Bilanzversuch.....	43
5.3.2	Wachstumsversuch.....	45

5.3.3	Keto- und Aminosäuregehalte im Blutplasma.....	53
6	Diskussion	54
6.1	Bewertung des ermittelten idealen Verhältnisses zwischen den verzweigt-kettigen Aminosäuren und Lysin (Experiment 3).....	54
6.1.1	Bilanzversuche.....	54
6.1.2	Wachstumsversuche.....	57
6.2	Ableitung der idealen Aminosäurenverhältnisse und des Aminosäurenbedarfs unter Anwendung des nicht-linearen N-Verwertungsmodells.....	61
6.2.1	Vergleich des nicht-linearen N-Verwertungsmodells mit der Supplementationsmethode.....	61
6.2.2	Einfluss der Modellparameter.....	65
6.3	Ableitung des optimalen Zeitpunktes für eine Blutabnahme zur Bestimmung des Gehalts an verzweigt-kettigen α -Ketosäuren....	69
6.4	Kritische Betrachtung der Methoden Wachstumsversuch und N-Bilanz-Versuch.....	70
6.4.1	Mögliche Fehlerquellen – Bilanzversuch.....	71
6.4.2	Mögliche Fehlerquellen – Wachstumsversuch.....	72
6.4.3	Vorschläge zu einer erhöhten Vergleichbarkeit zwischen den in N-Bilanz- und Wachstumsversuchen erzielten Ergebnissen.....	73
6.5	Zusammenführung der Ergebnisse.....	74
7	Schlussfolgerungen	77
8	Ausblick und weitere Forschungsansätze	79
9	Literaturverzeichnis	82
10	Lebenslauf	96
11	Wissenschaftliche Publikationen und Beiträge zu wissenschaftlichen Tagungen	97
	Anhang I - Publikationen	99
	<i>Publikation I</i>	
	<i>WIRKUNGEN VERZWEIGTKETTIGER AMINOSÄUREN, INSBESONDERE VON LEUCIN, IM PROTEINSTOFFWECHSEL WACHSENDER MONOGASTRISCHER LABOR- UND NUTZTIERE</i>	99

Publikation II

<i>ASSESSING THE AGE-DEPENDENT OPTIMAL DIETARY BRANCHED-CHAIN AMINO ACID RATIO IN GROWING CHICKEN BY APPLICATION OF A NONLINEAR MODELING PROCEDURE.....</i>	141
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Publikation III

<i>Validation of the Lysine Requirement in Modern Genotype Growing Chickens as Reference Amino Acid for Ideal in-feed Amino Acid Ratios.</i>	154
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Anhang II – Anhangstabellen.....	183
-----------------------------------------	------------

Anhang III – Laborbeschreibung zur Bestimmung des Gehalts an verzweigt-kettigen α-Ketosäuren im Blutplasma von Masthähnchen.	312
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

Danksagung.....	320
------------------------	------------

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Produktionskosten für Hähnchenfleisch (USD/Tonne) im Zeitraum 1981-2002 in Deutschland und Brasilien (FAOSTAT, 2013).....	1
Abb. 2: Bilanzkäfig während der Growerperiode.....	10
Abb. 3: Haltung der Versuchstiere im Wachstumsversuch.....	11
Abb. 4: Überblick über die verschiedenen Aminosäuren-Gehalte in Versuchsmischungen in Experiment 3 während der Starterperiode.....	16
Abb. 5: Vorgehen im Wachstumsversuch im Zeitverlauf. Auswahl der Nulltiere zu Versuchsbeginn. Auswahl der Tiere für die GKA am Ende eines Wachstumsabschnittes und zusätzlich Auswahl der Nulltiere für den nächsten Wachstumsabschnitt. Auswahl der Tiere für die GKA am Ende eines Wachstumsabschnittes.....	20
Abb. 6: Blutabnahme bei einem 37-tägigen Broiler aus der <i>Vena jugularis dextra</i>	21
Abb. 7: N-Aufnahme und N-Exkretion, sowie die daraus resultierende N-Bilanz der einzelnen Versuchsmischungen während der Starterperiode in Experiment 1.....	27
Abb. 8: N-Aufnahme und N-Exkretion sowie die daraus resultierende N-Bilanz der einzelnen Versuchsmischungen während der Growerperiode in Experiment 1.....	28
Abb. 9: Schätzung des theoretischen Maximums der täglichen N-Deposition (ND_{maxT}) in männlichem, schnell wachsenden Geflügel, basierend auf dem Zusammenhang zwischen N-Aufnahme und N-Deposition, dargestellt für zwei unterschiedliche Altersabschnitte.....	29
Abb.10: N-Ansatz im Tierkörper ($mg/LM_{kg}^{0,67}/d$) im Wachstumsversuch (Experiment 1) über den Zeitraum von drei Altersabschnitten...	31
Abb. 11: N-Aufnahme und N-Exkretion sowie die daraus resultierende N-Bilanz während der Starter- und Growerperiode in Experiment 2. a-c kennzeichnen signifikante Unterschiede der N-Aufnahme zwischen den einzelnen Behandlungsgruppen, während α - γ signifikante Unterschiede der N-Exkretion und A-C signifikante Unterschiede der N-Bilanz markieren.....	34
Abb. 12: Ermittlung der Proteinqualität der einzelnen Versuchsdiäten im Experiment 2 für die Starter- und Growerperiode. a-c weisen signifikante Unterschiede für den <i>b</i> -Wert in der Starterperiode zwischen den einzelnen Versuchsmischungen aus, während A-C signifikante Unterschiede in der Growerperiode darstellen.	36

Abb. 13: Abgeleitetes IAAR für die BCAA in Relation zu Lys (=100%) für die Starter- und Growerperiode.....	36
Abb. 14: Repräsentative Versuchstiere des Bilanzversuchs am Ende der Starterperiode, sortiert nach Fütterungsgruppen.....	37
Abb. 15: Dasselbe Tier aus Abb. 14, das die Val-abgesenkte Futtermischung während der Starterperiode erhielt, am Ende der Growerperiode nach Verabreichung der Basaldiät.....	38
Abb. 16: N-Ansatz während der Starter- und Growerperiode. a-e geben signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsmischungen in der Starterperiode wieder; A-B signifikante Unterschiede in der Growerperiode.....	40
Abb. 17: Proteinqualität der Versuchsdieten im Wachstumsversuch im Experiment 2. a-b kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen in der Starterphase, A-B in der Growerperiode.....	41
Abb. 18: Zeitverlauf der verzweigtkettigen α -Ketosäuren im Blutplasma von Masthähnchen in Abhängigkeit der Nüchternungsdauer (h). A-B; a-b; α - β stellen signifikante Unterschiede im Zeitverlauf der einzelnen Ketosäuren KIC, KMV bzw. KIV dar.....	42
Abb. 19: N-Bilanz der Starter- und Growerperiode in Experiment 3. a-b und A-C kennzeichnen signifikante Unterschiede in der Starter- bzw. Growerperiode.....	44
Abb. 20: <i>b</i> -Werte der Starter- und Growerperiode in Experiment 3 im Bilanzversuch. In beiden Altersabschnitten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.....	45
Abb. 21: N-Ansatz im Wachstumsversuch in Experiment 3. a-d und A-B kennzeichnen signifikante Unterschiede in Starter- bzw. Growerperiode.....	47
Abb. 22: Proteinqualität (<i>b</i> -Wert) im Wachstumsversuch des Experiments 3. a-d stellen signifikante Unterschiede in der Starterperiode, A-D in der Growerperiode dar.....	49
Abb. 23: Vergleichende Darstellung des N-Ansatzes ($\text{mg N/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$) im Bilanz- bzw. Wachstumsversuch während der Starterperiode unter Angabe der prozentualen Zu- bzw. Abnahme zwischen Bilanz- und Wachstumsversuch.....	51
Abb. 24: Vergleichende Darstellung der Proteinqualität (<i>b</i> -Wert) im Bilanz- bzw. Wachstumsversuch während der Starterperiode unter Angabe der prozentualen Zu-/Abnahme zwischen Bilanz- und Wachstumsversuch.....	51
Abb. 25: Vergleichende Darstellung des N-Ansatzes ($\text{mg N/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$) im Bilanz- bzw. Wachstumsversuch während der Grower-	

periode unter Angabe der prozentualen Zu- bzw. Abnahme zwischen Bilanz- und Wachstumsversuch.....	52
Abb. 26: Vergleichende Darstellung der Proteinqualität (<i>b</i> -Wert) im Bilanz- bzw. Wachstumsversuch während der Growerperiode unter Angabe der prozentualen Zu-/Abnahme zwischen Bilanz- und Wachstumsversuch.....	53
Abb. 27: NEX:NI – Verhältnis der Starter- und Growerperiode im Bilanz- und Wachstumsversuch.....	59
Abb. 28: XL-Ansatz im Wachstumsversuch während der Starter- und Growerperiode.....	60
Abb. 29: Ableitung des optimalen Gehalts in der Diät an verdaulichem Lysin in Abhängigkeit der Futtermittelverwertung beim Broiler vom 8.-21.Lebenstag (modifiziert nach Baker <i>et al.</i> , 2002).....	62
Abb. 30: Verlauf des Produktiven Eiweißwerts (PEW) und des Physiologischen Nutzwertes (PNu) über einen Zeitraum von 20 Jahren für schnell wachsende Broilerlinien (Müller <i>et al.</i> , 1989; Rimbach, 2002; Samadi <i>et al.</i> , 2008, aktuelle Daten, 2013).....	66

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Aus verschiedenen Literaturdaten erhobenes IAAR (Wecke und Liebert, 2013).....	4
Tab. 2:	In den Untersuchungen zugrundegelegte Annahmen zum Idealprotein (Lys = 100), modifiziert* nach Wecke und Liebert (2013).....	13
Tab. 3:	In allen Experimenten verwendete Zielgrößen für die Gehalte (% in Diät) an Calcium, Phosphor, Natrium, Energie und Rohprotein.....	13
Tab. 4:	Übersicht über das Referenz IAAR, das in Experiment 2 ermittelte IAAR und das in Experiment 3 angewandte IAAR.....	15
Tab. 5:	Übersicht über die erzielten Ile- und Val-Relationen zu Leu (100%) in Experiment 3.....	15
Tab. 6:	Wichtigste Kennzahlen des Wachstumsversuchs. Experiment 1.....	30
Tab. 7:	Ermittlung des Modellparameters b auf Grundlage der N-Bilanz-Daten und den daraus berechneten Modellparametern ND_{maxT} und NMR für die Starter- und Growerperiode.....	32
Tab. 8:	Kalkulation des Lys-Bedarfes für männliche Masthähnchen während zwei Wachstumsabschnitten, in Abhängigkeit vom täglichen XP-Ansatz, der Lys-Wirksamkeit und einer unterstellten täglichen Futteraufnahme (mittlere LM: I: 500 g; II: 1500 g)	33
Tab. 9:	Kennzahlen des Wachstumsversuchs in Experiment 2.....	39
Tab. 10:	Ergebnisse des Bilanzversuchs in Experiment 3 für die Starter- und Growerperiode.....	43
Tab. 11:	Parameter des Wachstumsversuchs in Experiment 3.....	46
Tab. 12:	Optimale Gehalte in einer Futtermischung für Masthähnchen basierend auf den erhobenen Daten.....	74
Tab. 13:	Beispiel einer Futtermischung zur Umsetzung der aus Tabelle 12 optimalen Nährstoffgehalte ($IAAR_{BCAA}$) sowie einer praxisnahen Futtermischung.....	76

Anhangstabellenverzeichnis

A-Tab. 1:	Komponenten der Hofmischung für die Reservetiere.....	183
A-Tab. 2:	Zusammensetzung des kommerziellen Hähnchenmastfutters „Golddott“ in absteigender Reihenfolge.....	183
A-Tab. 3:	Rohnährstoff-Analyse des kommerziellen Hähnchenmastfutters „Golddott Kükenaufzucht“.....	183
A-Tab. 4:	Ableitung der verwendeten Gehalte für Ca, P, Na, XP und des Energiegehalts.....	184
A-Tab. 5:	Zusammensetzung (%) des in Experiment 2 verwendeten Starterfutters im Wachstumsversuch in absteigenden Gehalten (in der Arbeit mit ILE* und VAL* bezeichnet).....	185
A-Tab. 6:	Zusammensetzung (%) des in Experiment 2 verwendeten Growerfutters im Wachstumsversuch in absteigenden Gehalten (in der Arbeit mit ILE* und VAL* bezeichnet).....	186
A-Tab. 7:	Zusammensetzung (%) des in Experiment 3 verwendeten Starterfutters im Bilanz- und Wachstumsversuch in absteigenden Gehalten.....	187
A-Tab. 8:	Zusammensetzung (%) des in Experiment 3 verwendeten Growerfutters im Bilanz- und Wachstumsversuch in absteigenden Gehalten.....	188
A-Tab. 9:	Inhaltsstoffe (% in FS) des in Experiment 2 verwendeten Starterfutters im Wachstumsversuch (in der Arbeit mit ILE* und VAL* bezeichnet).....	189
A-Tab. 10:	Inhaltsstoffe (% in FS) des in Experiment 2 verwendeten Growerfutters im Wachstumsversuch (in der Arbeit mit ILE* und VAL* bezeichnet).....	190
A-Tab. 11:	Inhaltsstoffe (% in FS) des in Experiment 3 verwendeten Starterfutters im Bilanz- und Wachstumsversuch.....	191
A-Tab. 12:	Inhaltsstoffe (% in FS) des in Experiment 3 verwendeten Growerfutters im Bilanz- und Wachstumsversuch.....	192
A-Tab. 13:	Aminosäuren-Analyse des in Experiment 1 verwendeten Fischmehls.....	193
A-Tab. 14:	Aminosäuren-Analyse des in Experiment 2 und 3 verwendeten Fischmehls.....	193
A-Tab. 15:	Aminosäuren-Analyse des in Experiment 1 verwendeten Weizens.....	194
A-Tab. 16:	Aminosäuren-Analyse des in Experiment 2 und 3 verwendeten Weizens.....	194

A-Tab. 17:	Aminosäuren-Analyse des in allen Experimenten verwendeten Weizenklebers.....	195
A-Tab. 18:	Aminosäuren-Analyse des in allen Experimenten verwendeten Sojaproteinkonzentrats.....	195
A-Tab. 19:	Trockensubstanz-, Rohasche-, Stickstoff- und Rohprotein- gehalt der verwendeten Proteinträger.....	196
A-Tab. 20:	Lebendmasse (g) der Eintagsküken (Nulltiere) in Experiment 1 für die Ganzkörperanalyse vor und nach 24- stündiger Fastenzeit. Hierbei wurden jeweils fünf Einzeltiere zu einer Sammelprobe zusammengefasst.....	198
A-Tab. 21:	Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 1 zu Beginn des ersten Wachstumsabschnittes (1.Lebenstag).....	199
A-Tab. 22:	Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 1 am Ende des ersten Wachstumsabschnittes (12. Lebenstag). Lebendmasse in g.....	200
A-Tab. 23:	Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 1 zu Beginn des zweiten Wachstumsabschnittes (12.Lebenstag).....	202
A-Tab. 24:	Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 1 am Ende des zweiten Wachstumsabschnittes (24. Lebenstag). Lebendmasse in g.....	203
A-Tab. 25:	Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 1 zu Beginn des dritten Wachstumsabschnittes (24.Lebenstag).....	205
A-Tab. 26:	Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 1 am Ende des dritten Wachstumsabschnittes (36. Lebenstag). Lebendmasse in g.....	206
A-Tab. 27:	Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 1. Erster Wachstumsabschnitt (1.-12.Lebenstag).....	208
A-Tab. 28:	Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 1. Zweiter Wachstumsabschnitt (12.-24.Lebenstag).....	209
A-Tab. 29:	Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 1. Dritter Wachstumsabschnitt (25.-36.Lebenstag).....	210
A-Tab. 30:	N-Aufnahme im Wachstumsversuch im ersten Wachstumsabschnitt (1.-12.LT). Experiment 1.....	211
A-Tab. 31:	N-Aufnahme im Wachstumsversuch im zweiten Wachstumsabschnitt (12.-24.LT). Experiment 1.....	213

A-Tab. 32:	N-Aufnahme im Wachstumsversuch im dritten Wachstumsabschnitt (25.-36.LT). Experiment 1.....	215
A-Tab. 33:	N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 1. Schritt: T-Korrektur.....	217
A-Tab. 34:	N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 2. Schritt: Nährstoffgehalte in Nulltieren.....	220
A-Tab. 35:	N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 3. Schritt: Nährstoffgehalte zu Versuchsende in den Ganzkörpern.....	221
A-Tab. 36:	N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 4. Schritt: Nährstoffgehalte zu Versuchsbeginn.....	224
A-Tab. 37:	N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 5. Schritt: Nährstoffgehalte zu Versuchsende in den Versuchstieren.....	227
A-Tab. 38-1:	N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 6. Schritt: Ermittlung des N-Ansatzes. 10% XP.....	230
A-Tab. 38-2:	N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 6. Schritt: Ermittlung des N-Ansatzes. 14% XP.....	231
A-Tab. 38-3:	N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 6. Schritt: Ermittlung des N-Ansatzes. 18% XP.....	232
A-Tab. 38-4:	N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 6. Schritt: Ermittlung des N-Ansatzes. 22% XP.....	233
A-Tab. 38-5:	N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 6. Schritt: Ermittlung des N-Ansatzes. 26% XP.....	234
A-Tab. 38-6:	N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 6. Schritt: Ermittlung des N-Ansatzes. 30% XP.....	235
A-Tab. 39:	N-Ansatz im Tierkörper während des zweiten Wachstumsabschnittes (13.-24.LT). Experiment 1. [Verkürzte Darstellung].....	236
A-Tab. 40:	N-Ansatz im Tierkörper während des dritten Wachstumsabschnittes.(25.-36.LT). Experiment 1. [Verkürzte Darstellung].....	237
A-Tab. 41:	Einzeltierdaten aus Experiment 1. Sammelperiode I der Starterperiode (10.-15. Lebenstag) im Bilanzversuch.....	238

A-Tab. 42:	Einzel tierdaten aus Experiment 1. Sammelperiode II der Starterperiode (15.-20. Lebenstag) im Bilanzversuch.....	239
A-Tab. 43:	Einzel tierdaten aus Experiment 1. Sammelperiode I der Growerperiode (25.-30. Lebenstag) im Bilanzversuch.....	240
A-Tab. 44:	Einzel tierdaten aus Experiment 1. Sammelperiode II der Growerperiode (30.-35. Lebenstag) im Bilanzversuch.....	241
A-Tab. 45:	Lebendmasse (g) der Eintagsküken (Nulltiere) in Experiment 2 für die Ganzkörperanalyse vor und nach 24-stündiger Fastenzeit. Hierbei wurden jeweils fünf Einzel tier e zu einer Sammelprobe zusammengefasst.....	243
A-Tab. 46:	Einzel tierwägung (Lebendmasse in g) der Tiere im Wachstumsversuch in Experiment 2 zu Beginn der Starterperiode (1.Lebenstag).....	244
A-Tab. 47:	Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 2 am Ende der Starterperiode (21. Lebenstag). Lebendmasse in g.....	245
A-Tab. 48:	Einzel tierwägung (Lebendmasse in g) der Tiere des Wachstumsversuchs in Experiment 2 zu Beginn der Growerperiode (21.Lebenstag).....	246
A-Tab. 49:	Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 2 am Ende der Growerperiode (35. Lebenstag). Lebendmasse in g.....	247
A-Tab. 50:	Nährstoffanalyse der Ganzkörper tier e aus dem Wachstumsversuch in Experiment 2. Starterperiode (1.-21.Lebenstag).....	248
A-Tab. 51:	Nährstoffanalyse der Ganzkörper tier e aus dem Wachstumsversuch in Experiment 2. Growerperiode (21.-35.Lebenstag).....	249
A-Tab. 52:	N-Ansatz im Tierkörper während der Starterperiode (1.-21.LT) und daraus ermittelte <i>b</i> -Werte. Experiment 2. [Verkürzte Darstellung].....	250
A-Tab. 53:	N-Ansatz im Tierkörper während der Growerperiode (21.-35.LT) und daraus ermittelte <i>b</i> -Werte. Experiment 2. [Verkürzte Darstellung].....	252
A-Tab. 54:	N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der ersten Lebenswoche (1.-7. LT). Starterperiode. Experiment 2.....	254
A-Tab. 55:	N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der zweiten Lebenswoche (8.-14.LT). Starterperiode. Experiment 2.....	256
A-Tab. 56:	N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der dritten Lebenswoche (15.-21.LT). Starterperiode. Experiment 2.....	258

A-Tab. 57:	N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der vierten Lebenswoche (22.-28.LT). Growerperiode. Experiment 2.....	260
A-Tab. 58:	N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der fünften Lebenswoche (29.-35.LT) Growerperiode. Experiment 2.....	262
A-Tab. 59:	Einzeltierdaten aus Experiment 2. Sammelperiode I der Starterperiode (10.-15. Lebenstag) im Bilanzversuch.....	264
A-Tab. 60:	Einzeltierdaten aus Experiment 2. Sammelperiode II der Starterperiode (15.-20. Lebenstag) im Bilanzversuch.....	266
A-Tab. 61:	Einzeltierdaten aus Experiment 2. Sammelperiode I der Growerperiode (25.-30. Lebenstag) im Bilanzversuch.....	268
A-Tab. 62:	Einzeltierdaten aus Experiment 2. Sammelperiode II der Growerperiode (30.-35. Lebenstag) im Bilanzversuch.....	270
A-Tab. 63:	Proteinqualität (<i>b</i> -Wert) der Starterperiode, Sammelperiode I + II (10.-20.LT). Experiment 2.....	272
A-Tab. 64:	Proteinqualität (<i>b</i> -Wert) der Growerperiode, Sammelperiode I + II (25.-35.LT). Experiment 2.....	274
A-Tab. 65:	Einzelergebnisse der Ketosäuren-Analytik des Broiler-Blutplasmas. Experiment 2.....	276
A-Tab. 66:	Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 3 zu Beginn der Adaptationsperiode. Starterperiode (04.Lebenstag).....	280
A-Tab. 67:	Auswahl der Null-Tiere für die Starterperiode am 10. Lebenstag und Angabe der LM nach 24-stündiger Nüchterung (11. Lebenstag). Experiment 3.....	281
A-Tab. 68:	Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 3 zu Beginn der Starterperiode (10.Lebenstag).....	282
A-Tab. 69:	Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 3 am Ende der Starterperiode (20. Lebenstag). Lebendmasse in g. Die Auswahl erfolgte nach der mittleren Lebendmasse der <i>gesamten</i> Behandlungsgruppe.....	283
A-Tab. 70:	Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 3 zu Beginn der Adaptationsperiode. Growerperiode (20.Lebenstag).....	284
A-Tab. 71:	Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 3 zu Beginn der Growerperiode (25.Lebenstag).....	285
A-Tab. 72:	Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 3 am Ende der Growerperiode (35. Lebenstag). Leb-	

	endmasse in g. Die Auswahl erfolgte nach der mittleren Lebendmasse der <i>gesamten</i> Behandlungsgruppe.....	286
A-Tab. 73:	Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 3. Starterperiode (10.-20.Lebenstag).....	287
A-Tab. 74:	Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 3. Growerperiode (25.-35.Lebenstag).....	289
A-Tab. 75:	N-Ansatz im Tierkörper während der Starterperiode (10.-20.LT) und daraus ermittelte <i>b</i> -Werte. Experiment 3. [Verkürzte Darstellung].....	291
A-Tab. 76:	N-Ansatz im Tierkörper während der Growerperiode (25.-35.LT) und daraus ermittelte <i>b</i> -Werte. Experiment 3. [Verkürzte Darstellung].....	293
A-Tab. 77:	N-Aufnahme im Wachstumsversuch während der Starterperiode (1.-21.Lebenstag). Experiment 3.....	295
A-Tab. 78:	N-Aufnahme im Wachstumsversuch während der Growerperiode (25.-35.Lebenstag). Experiment 3.....	297
A-Tab. 79:	Einzeltierdaten aus Experiment 3. Sammelperiode I der Starterperiode (10.-15. Lebenstag) im Bilanzversuch.....	299
A-Tab. 80:	Einzeltierdaten aus Experiment 3. Sammelperiode II der Starterperiode (15.-20. Lebenstag) im Bilanzversuch.....	301
A-Tab. 81:	Einzeltierdaten aus Experiment 3. Sammelperiode I der Growerperiode (25.-30. Lebenstag) im Bilanzversuch.....	303
A-Tab. 82:	Einzeltierdaten aus Experiment 3. Sammelperiode II der Growerperiode (30.-35. Lebenstag) im Bilanzversuch.....	305
A-Tab. 83:	Proteinqualität (<i>b</i> -Wert) der Starterperiode, Sammelperiode I + II (10.-20.LT). Experiment 3.....	307
A-Tab. 84:	Proteinqualität (<i>b</i> -Wert) der Growerperiode, Sammelperiode I + II (25.-35.LT). Experiment 3.....	309
A-Tab. 85:	Ergebnisse der Aminosäuren-Analytik im Blutplasma von Masthähnchen ($\mu\text{mol/l}$). Experiment 3. MW \pm SE.....	311
A-Tab. 86:	Ergebnisse der verzweigtkettigen α -Ketosäuren-Analytik im Blutplasma von Masthähnchen ($\mu\text{mol/l}$). Experiment 3. MW \pm SE.....	311

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 werden folgende Abkürzungen verwendet:

AA	Aminosäure/n
Abb	Abbildung
Ala	Alanin
ARC	Agricultural Research Council
Arg	Arginin
Asp	Asparaginsäure
ATP	Adenosin Triphosphat
BCAA/s	<i>engl.:</i> branched-chain amino acids = verzweigt-kettige Aminosäure/n
BCKA/s	<i>engl.:</i> branched-chain keto acids = verzweigt-kettige α -Ketosäure/n
BK	AA-balancierte Kontrollmischung
BW	Biologische Wertigkeit
Cys	Cystin
EAA	unentbehrliche (essentielle) Aminosäuren
<i>et al.</i>	<i>lat.:</i> <i>et alii/ et aliae</i> = und andere
FA	Futtermittelverbrauch
FI	Futtermittelaufnahme
FS	Frischsubstanz
GKA	Ganzkörperanalyse
Glu	Glutaminsäure
Gly	Glyzin
His	Histidin
HPLC	<i>engl.:</i> high performance liquid chromatography = Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
IAAR	<i>engl.:</i> ideal amino acid ratio = ideales Aminosäuren-Verhältnis
Ile	Isoleucin

LAA	limitierende Aminosäure im Futterprotein
LAVES	Niedersächsischen Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
Leu	Leucin
LM	Lebendmasse
LMZ	tägliche Lebendmassezunahme
LT	Lebenstag
Lys	Lysin
Met	Methionin
NEAA	entbehrliche (nicht-essentielle) Aminosäuren
PEW	Produktiver Eiweißwert
Phe	Phenylalanin
PNu	Physiologischer Nutzwert
Pro	Prolin
rpm	rounds per minute
Ser	Serin
Tab	Tabelle
Thr	Threonin
Trp	Tryptophan
TS	Trockensubstanz
Tyr	Tyrosin
USDA	United States Department of Agriculture
USD	US-Dollar
Val	Valin
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V.
XA	Rohasche
XP	Rohprotein

Zusammenfassung

Das Konzept des Idealproteins (IAAR) bietet einen Ansatzpunkt zur umweltschonenden Tierproduktion. Das IAAR definiert genau die Relationen an AA, die der Körper für eine gewünschte Leistung, z.B. Wachstum, Reproduktion, *etc.*, benötigt. Im Idealfall liegt keine AA im Überschuss oder im Mangel vor. In der Folge wirken alle AA gleichermaßen limitierend. Das Protein kann unter diesen Bedingungen mit der höchsten Effizienz genutzt werden. Stickstoff (N)-Exkretionen und Belastungen des Stoffwechsels werden minimiert.

Bei der Umsetzung des IAAR-Konzepts wird die zu untersuchende AA in Relation zu einer Referenz-Aminosäure (AA), meistens Lysin (Lys), gesetzt. Eine umfassende Literaturrecherche zeigte, dass fundierte Angaben über die idealen Verhältnisse der verzweigkettigen AA (engl.: branched-chain amino acids, BCAA) Leucin (Leu), Isoleucin (Ile) und Valin (Val) zu Lys beim Masthähnchen rar sind, insbesondere Angaben zum idealen Leu:Lys-Verhältnis.

Das Ziel dieser Arbeit war daher die Ermittlung der idealen BCAA:Lys-Verhältnisse in Futtermischungen für männliche Masthähnchen der Genetik Ross 308 und eine anschließende Validierung der gefundenen Ergebnisse. Dabei erfolgte die Auswertung von aus Stoffwechselversuchen gewonnen N-Ansatz-Daten mit Hilfe eines nicht-linearen N-Verwertungsmodells für wachsende Monogastride.

Des Weiteren sollte der optimale Zeitpunkt für die Blutabnahme zur Analyse der verzweigkettigen Ketosäuren, die wichtige Informationen zum Stoffwechsel der BCAA vermitteln können, definiert werden, da in der Literatur keine Hinweise auf einen optimalen Zeitpunkt gegeben sind.

Drei aufeinander aufbauende Versuchskomplexe wurden durchgeführt, die neben N-Bilanz-Studien parallel Wachstumsversuche umfassten. Diese waren in eine Starter- und Growerperiode unterteilt. In den Bilanzversuchen schlossen sich an eine fünf-tägige Adaptationsperiode die zweimal fünf-tägigen Sammelperioden an (je 36 Tiere in der Starter- (10.-20. Lebenstag (LT)) und Growerperiode (25.-35.LT)). Im Wachstumsversuch gliederten sich die Versuchsabschnitte vom 1.-12. 13.-24. und 25.-36. Lebenstag in Experiment 1. In Experiment 2 und 3 umfasste die Starterperiode den 1.-21. LT

bzw. 10.-20. LT und die Growerperiode den 21.-35. LT bzw. 25.-35. LT. Für jeden Abschnitt wurden jeweils 240 Tiere verwendet. Zu Beginn und zum Ende jedes Wachstumsabschnittes wurden repräsentative Tiere für eine Ganzkörperanalyse ausgewählt, 24h genüchtert, eingeschläfert, autoklaviert, homogenisiert und im Hinblick auf XP, TS und XA analysiert. Dies ermöglichte die Berechnung des N-Ansatzes der Versuchstiere für den jeweiligen Wachstumsabschnitt.

Hauptkomponenten der Diäten in allen Versuchen waren Weizen, Weizenkleber, Sojaproteinkonzentrat und Fischmehl. Das zunächst als Referenz angenommene IAAR basierte auf Literaturdaten. Die Diätgestaltung erfolgte nach dem Prinzip der Verdünnungsmethode.

Zur Bestimmung des optimalen Blutabnahmezeitpunktes wurden 40 Tiere verwendet. Nur Tiere, die eine AA-balancierte Kontrollmischung erhalten hatten, kamen zur Anwendung. Über einen gestaffelten Zeitraum wurde den Masthähnchen Blut am 36. LT abgenommen. Die Bestimmung des Gehalts an verzweigtkettigen α -Ketosäuren erfolgte mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC).

Nachfolgend sind die Ergebnisse der einzelnen Versuchskomplexe dargestellt:

Experiment 1 diente der Ermittlung der Modellparameter des täglichen N-Erhaltungsbedarfs (NMR) sowie des täglichen maximalen N-Retentionsvermögens ($NR_{max}T$) für die Ergebnisevaluierung nach dem exponentiellen N-Verwertungsmodell. Auf Grundlage der N-Bilanz-Daten ergaben sich ein NMR und $NR_{max}T$ von 113 mg N/LM_{kg}^{0,67}/d und 4705 mg N/LM_{kg}^{0,67}/d für die Starter-, sowie von 215 mg N/LM_{kg}^{0,67}/d und 4516 mg N/LM_{kg}^{0,67}/d für die Growerperiode.

Weiterhin konnte basierend auf der ermittelten Lys-Effizienz der Lys-Bedarf für unterschiedliche Leistungsziele (g XP-Ansatz/d), verschieden unterstellte Futteraufnahmen sowie für eine definierte Lebendmasse quantifiziert werden.

In Experiment 2 erfolgte die Ermittlung des IAAR für die BCAA in Relation zu Lys ($IAAR_{BCAA}$). Es ergab sich für die Starter- bzw. Growerperiode ein $IAAR_{BCAA}$ von Lys:Leu:Ile:Val = 100:94:55:65 bzw. 100:106:56:72.

Die Ergebnisse deuteten an, dass für die Growerperiode ein erhöhter relativer Bedarf an Leu und Val vorlag. Die ermittelten Werte des $IAAR_{BCAA}$ lagen deutlich unterhalb des Referenz $IAAR_{BCAA}$ (100:110:68:79).

Die Analyse der verzweigtkettigen α -Ketosäuren zeigte, dass 3 – 12h nach Futterentzug keine signifikanten Konzentrationsänderungen im Blutplasma für alle drei α -Ketosäuren vorlag ($p < 0,05$). Es wurde geschlussfolgert, dass dieser Zeitraum für weitere Untersuchungen zu präferieren ist.

Experiment 3 diente der Validierung eines im Vergleich zum Referenz $IAAR_{BCAA}$ (Lys:Leu:Ile:Val = 100:110:68:79) deutlich reduzierten BCAA-Anteils im Broilerfutter (Lys:Leu:Ile:Val = 100:89:53:63 in der Starter- und 100:97:56:70 in der Growerperiode). Es konnte festgehalten werden, dass sich die Einstellung eines im Vergleich zur Literatur niedrigeren $IAAR_{BCAA}$ nicht negativ auf die Leistung von Masthähnchen auswirkte.

Weiterer Forschungsbedarf besteht einerseits in der Methodik. Neben einer weiteren Optimierung von Stoffwechsel- und Wachstumsversuchen wäre auch ein Vergleich unterschiedlicher Modelle (z.B. N-Verwertungsmodell und Supplementationsmethode) zur Ableitung des AA-Bedarfs/des $IAAR$ innerhalb eines Versuchskomplexes wünschenswert. Andererseits könnten nachfolgende Untersuchungen neben den Gehalt an verzweigtkettigen α -Ketosäuren im Blutplasma von Masthähnchen weitere Parameter, wie den AA- oder Harnsäure-Gehalt mit einbeziehen. Somit könnte ein Beitrag zu einem noch besseren Verständnis für den BCAA-Metabolismus und dessen Auswirkungen auf die Tierleistung und -gesundheit geleistet werden.

Summary

The ideal amino acid ratio (IAAR) offers one possibility to achieve the goals of an environmentally compatible animal production. The IAAR defines the exact ratio of amino acids (AA) that are required by an animal for a given desired performance, e.g. growth, reproduction, etc. Ideally, no AA is in a limiting or exceeding position. Consequently, all AA are equally limiting. Under such circumstances, the protein can be utilized with the highest efficiency. Nitrogen (N) – excretions as well as the impact on the metabolic burden are decreased.

In the concept of the IAAR, the AA under investigation is related to a reference AA, mostly lysine (Lys). A thorough literature research showed that information about an IAAR for the branched-chain amino acids (BCAA) leucine (Leu), isoleucine (Ile), and valine (Val) for meat type chickens are scarce, especially regarding the Leu:Lys-ratio.

The aim of this study was the determination of an $IAAR_{BCAA}$ for male broiler chickens (Ross 308), followed by a validation of the derived results. Therefore, data analysis applied a non-linear N-utilization model for growing monogastric animals.

Furthermore, the optimal timeframe for taking a blood sample to determine the branched-chain α -keto acids in blood plasma of broiler chickens was assessed.

Consequently, three consecutive experiments were carried out. Each experiment consisted of an N-balance study and a growth assay. Every N-balance study was separated into an adaptation period (5d), followed by two consecutive collection periods (2 x 5d) for starter and grower period, respectively. While the starter period lasted from the 10th to 20th day of life (N = 36), the grower period, utilizing new birds, lasted from 25th to 35th day of life (N = 36).

During the growth assay, growth periods lasted from the 1st to 12th; 13th to 24th and 25th to 36th day of life in Experiment 1. In Experiment 2 and 3, starter period lasted from the 1st to 21st day of life and 10th to 20th day of life, respectively, and grower period from 21st to 35th and 25th to 35th day of life, respec-

tively. Each growth period used 240 chickens. At the beginning and the end of each growth period, representative animals were chosen for whole body analysis, fasted for 24 hours, euthanized, autoclaved, homogenized and analyzed for CP, DM and crude ash. This enabled the calculation of the animals' N-deposition for the respective growth period.

Wheat, wheat gluten, soy protein concentrate and fish meal were the main feed ingredients. The applied IAAR was calculated based on literature data. Diet formulation was based on the principle of the diet dilution technique.

For assessing the optimal time to take blood samples, 40 animals which had access to an AA-balanced diet were utilized. On day 36, blood samples were taken over a graded period of time. The content of the α -branched-chain keto acids was determined by high performance liquid chromatography.

The results of the individual experiments are presented below.

In Experiment 1, the daily N maintenance requirement (NMR) and the daily theoretical maximum of N-retention ($NR_{\max T}$) were determined for data evaluation based on the non-linear N-utilization model. An NMR and $NR_{\max T}$ of 113 mg N/LM_{kg}^{0,67}/d and 4705 mg N/LM_{kg}^{0,67}/d could be derived for the starter period, while values of 215 mg N/LM_{kg}^{0,67}/d and 4516 mg N/LM_{kg}^{0,67}/d were concluded for the grower period. Furthermore, based on the Lys-efficiency, the Lys-requirement was determined, taking into account varying levels of performance (g CP-deposition/d), feed intake (g/d) and body weight.

In Experiment 2, the IAAR for the BCAA, related to Lys was derived ($IAAR_{BCAA}$). An $IAAR_{BCAA}$ for the starter and grower period of Lys:Leu:Ile:Val = 100:94:55:65 and 100:106:56:72 was derived, respectively. These results indicated a slightly higher relevance for Leu and Val during the grower period. The concluded $IAAR_{BCAA}$ was markedly lower than the $IAAR_{BCAA}$ found in the literature (100:110:68:79).

HPLC analysis showed no significant changes in the branched-chain α -keto acid content in the blood plasma between 3-12h after deprivation of feed. It was concluded that this timeframe is preferable for taking blood samples, if the branched-chain keto acids are to be analyzed.

In Experiment 3, the Reference IAAR_{BCAA} (Lys:Leu:Ile:Val = 100:110:68:79) was compared to markedly lower BCAA-contents in a diet for broiler chickens (Lys:Leu:Ile:Val = 100:89:53:63 and 100:97:56:70 for starter and grower period, respectively). It was concluded that the lower IAAR_{BCAA} did not hamper the animals' performance.

Further research is believed to be necessary, on the one hand, for the methodology. Besides a further optimization of N-balance-studies and growth assays a comparison of different models (e.g. N-utilization model and supplementation technique) for deriving AA-requirement/ IAAR-values within one experimental trial would be desirable. On the other hand, ongoing studies might not only take into account the content of the branched-chain α -keto acids but that of AA or uric acid in the blood plasma of broiler chickens as well. This might contribute to an even better understanding of the BCCA-metabolism and its effects on animals' performance and health status.

1 Einleitung

Die Verknappung von Anbauflächen auf der einen Seite und einer wachsenden Weltbevölkerung auf der anderen Seite stellen heraus, wie wichtig eine effiziente Fütterung moderner landwirtschaftlicher Nutztiere ist. Prognosen gehen davon aus, dass die Weltbevölkerung 2050 mit neun Milliarden Menschen ein Plateau erreichen wird. Steigendes Einkommen in nicht-entwickelten Ländern führte in den letzten Jahren zu einem Anstieg im Fleischkonsum. Vor allem für Geflügelfleisch ist ein enormer Zuwachs vorhergesagt. Beispielsweise lag 2012 in Deutschland der Pro-Kopf-Verbrauch bei 18,7 kg (Statistisches Bundesamt, 2012). Von 2010 zu 2050 ist weltweit ein Anstieg um +225% prognostiziert (FAO, 2006). Der „Siegesszug“ des Hähnchenfleisches ist multifaktoriell: Im Vergleich zu Schweine- oder Rinderfleisch ist Hähnchenfleisch deutlich günstiger, so dass sich v.a. aufstrebende Schwellenländer den Konsum von Hähnchenfleisch, und damit von tierischem Protein, eher leisten können. Doch auch die Finanzkrise in Europa führte dazu, dass mehr Hähnchenfleisch konsumiert wurde (USDA, 2012a). Weiterhin glauben viele Verbraucher, dass Hähnchenfleisch gesünder als Schweinefleisch sei und einfacher in der Zubereitung. Die Entscheidung von Discountern wie LIDL oder ALDI Frischgeflügel anzubieten, begünstigte weiter die Zunahme am Konsum von Geflügelprodukten (USDA, 2012b). Deutsche Geflügelproduzenten sehen sich vielfältigem Druck ausgesetzt: Im internationalen Vergleich sind die Produktionskosten/kg Hähnchenfleisch in Deutschland deutlich höher als beispielsweise in Brasilien (Abb. 1).

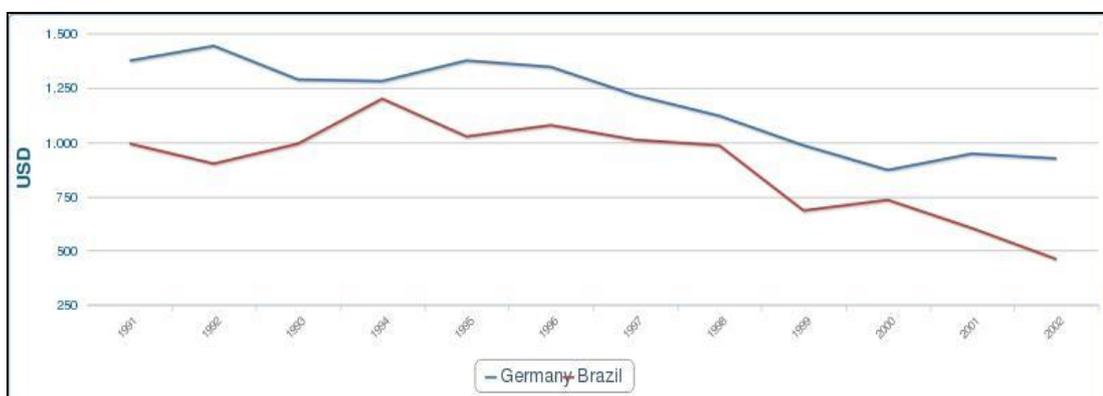


Abbildung 1: Produktionskosten für Hähnchenfleisch (USD/Tonne) im Zeitraum 1981-2002 in Deutschland und Brasilien (FAOSTAT, 2013).

Die Abbildung lässt erkennen, dass in den Jahren 1981–2002 die Produktionskosten (USD/Tonne) zwar in beiden Ländern gesunken sind, Brasilien jedoch im Gesamt deutlich günstiger produzieren kann. Des Weiteren sollen bei der Produktion Aspekte des Tierwohls und des Umweltschutzes beachtet werden, um insgesamt das Konzept einer nachhaltigen Produktion gewährleisten zu können. Da Futterkosten etwa 60% an den Gesamtproduktionskosten ausmachen, ist die Minimierung dieser – und vor allem ein effizienter Einsatz von Proteinträgern - der Schlüsselpunkt für eine erfolgreiche Geflügelproduktion.

Das sogenannte Konzept des Idealproteins bietet eine Möglichkeit, um die Ziele einer effektiven Broilerproduktion, in Kombination mit Umweltschutz- und Tierwohlaspekten, zu unterstützen.

Die folgenden Abschnitte geben einen kurzen Überblick über das Konzept des Idealproteins und über die Rolle der verzweigtkettigen Aminosäuren, da sie ein zentraler Teil der Arbeit sind.

1.1 Das Konzept des Idealproteins

Die bedarfsangepasste Versorgung landwirtschaftlicher Nutztiere mit Energie und Protein stellt eine Kerngröße in der Tierernährung dar. Hierbei gilt festzuhalten, dass Tiere *per se* keinen Bedarf an Protein haben, sondern einen Bedarf an den Bausteinen des Proteins, den Aminosäuren (**AA**) (Fuller, 2004). Insgesamt gelten 20 AA als proteinogen und diese werden in drei Gruppen unterteilt: entbehrlich, semi-entbehrlich und unentbehrlich. Entbehrliche AA (z.B. Alanin, Serin, Glutaminsäure, Prolin) können vom Körper selbst in der benötigten Menge synthetisiert werden, während semi-entbehrliche AA (Cystein, Tyrosin, Glycin) durch eine eingeschränkte Eigensynthese gekennzeichnet sind. Aufgrund des fehlenden Ornithinzyklus´ beim Geflügel wird Arginin den unentbehrlichen AA zugeordnet, d.h. es muss über das Futterprotein aufgenommen werden und eine Eigensynthese ist nicht möglich (Fuller, 2004).

Das Konzept des sogenannten „Idealproteins“, oder auch des IAAR (engl.: *ideal amino acid ratio*), bietet die Möglichkeit, den Zielen einer nachhaltigen und dennoch effizienten Geflügelproduktion näher zu kommen. Die einzelnen AA werden in Relation zu einer Referenz-AA dargestellt (=100). In der Regel

wird Lysin (**Lys**) als Referenz-AA gewählt, da es häufig die erstlimitierende AA in Futtermitteln ist, die chemische Analyse standardisiert und unkompliziert ist und Lys überwiegend für den Proteinansatz verwendet wird (Baker *et al.*, 2002).

Die Idee des IAAR ist keinesfalls eine neue. Oser stellte bereits 1951 den „Essential Amino Acid Index“ vor. Hierin erlaubte der Vergleich des zu untersuchenden Proteins mit einem hochwertigen Referenzprotein (Vollei) eine qualitative Einordnung der AA und damit Rückschlüsse auf die Proteinqualität. Der AA-Gehalt des Test-Proteins wurde in Relation zum Eiprotein ermittelt. Die Besonderheit des Indexes besteht in der Bewertung der AA, die in höheren Gehalten vorliegen als im Referenzprotein: „The curves are plotted for food proteins with a maximum at 100 per cent, *i.e.* any essential amino acid present in higher proportion than in whole egg protein is considered to equal, not superior, to the standard.“ Diese Überlegung gilt auch für das Konzept des IAAR. Es besagt, dass die Zufuhr von entbehrlichen und unentbehrlichen AA genau dem Bedarf an AA entspricht, den das Tier für die erforderliche Leistung (z.B. Proteinansatz, Milchbildung) benötigt. Somit ist die Zusammensetzung eines Proteins dann als ideal zu bezeichnen, wenn weder die Zufuhr von zusätzlichen AA, noch die Reduzierung einzelner AA eine Leistungssteigerung herbeiführt. Kirchgessner *et al.* (1987) stellten hierbei heraus, dass anzunehmen ist, dass eine „enge Korrelation zwischen dem Aminosäurenmuster des angesetzten Körperproteins und der optimalen Zusammensetzung des Futterproteins zu erwarten“ ist, wenn der Anteil des Erhaltungsbedarfs des Tieres in Relation zum Gesamtbedarf aufgrund hoher Wachstumsintensität gering ist.

Während der Bedarf an AA von vielen Faktoren wie Diätgestaltung, Umweltaspekten, Genetik und Geschlecht abhängig ist, sind die *Relationen* zwischen den AA gegenüber diesen Einflussfaktoren relativ stabil und stellen damit den Vorteil des Konzeptes heraus (Baker *et al.*, 2002; Baker 2003). Der Essential Amino Acid Index von Oser (1951) evaluiert die Proteinqualität und setzt folglich bei einer hohen Qualität gesteigerte Tierleistungen voraus. Es bewertet damit die möglich einsetzbaren Futtermittel. Das IAAR beschreibt wiederum die idealen AA-Relationen für den Leistungsbedarf der Tiere. Beide Konzepte basieren auf der gemessenen Wirkung der Futtermi-

schungen im Tier, verwenden AA-Relationen in Bezug zu einer Referenz, betrachten alle unentbehrlichen AA und werten AA-Überschüsse nicht als positiv. Erstmals vorgestellt wurde das IAAR-Konzept in seiner heutigen Form von Cole *et al.* (1980) für Schweine. Größere Aufmerksamkeit fand es dann, als es vom British Agricultural Research Council (ARC, 1981) für die Rationsgestaltung von Schweinen vorgeschlagen wurde.

Nachdem das IAAR-Konzept erfolgreich in der Schweineernährung etabliert wurde (ARC, 1981; Wang und Fuller, 1989; Boisen *et al.*, 2000; Chung und Baker, 1992; GfE, 2006; NRC, 2012), ist es mittlerweile auch ein fester Bestandteil der Diätgestaltung in der Geflügelernährung (Baker und Han, 1994; NRC, 1994; GfE, 1999; Mack *et al.*, 1999; Baker *et al.*, 2002, Baker, 2003; Taherkhani *et al.*, 2005, 2008; Tavernari *et al.*, 2013). Wecke und Liebert (2013) stellten basierend auf Literaturdaten ein IAAR zusammen. Dieses ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Aus verschiedenen Literaturdaten erhobenes IAAR (Wecke und Liebert, 2013).

AA	Lys	Met	Met + Cys	Thr	Trp	Arg	Val	Ile	Leu	Phe	Phe + Tyr	His
	100	40	74	66	16	105	80	69	110	66	120	34

Durch die Anwendung des IAAR kann der Einsatz von Futtermischungen mit reduziertem Rohprotein (**XP**) – Gehalt ermöglicht werden. Eine Reduzierung des XP-Gehalts im Futter ist wünschenswert: so führte beispielsweise bei Ferkeln eine Absenkung des Rohproteingehalts von 224 g/kg Diät auf 169 g/kg Diät zu einer Reduzierung der Stickstoff (**N**) – Ausscheidung um 42% (Le Bellego und Noblet, 2002). Neben deutlichen Umweltschutzaspekten ist hier auch mit einer Entlastung des Stoffwechsels der Tiere und damit einer verbesserten Tiergesundheit zu rechnen. Wird der XP-Gehalt in der Ration abgesenkt und das IAAR beibehalten, so ist bei ausreichender Versorgung mit entbehrlichen AA von einer gleichbleibenden Leistung im Vergleich zu einer im XP-Gehalt nicht-abgesenkten Diät auszugehen (Mack *et al.*, 1999).

1.2 Die verzweigtkettigen Aminosäuren

Die verzweigtkettigen AA (engl.: *branched-chain amino acids*, **BCAA**) Leucin (**Leu**), Isoleucin (**Ile**) und Valin (**Val**) sind Teil der Gruppe der unentbehrlichen AA. Die futtermittelrechtliche Zulassung von L-Ile und L-Val als Futterzusatzstoffe erlaubt es, diese AA bei der Rationsgestaltung mit in Betracht zu ziehen. Vor allem in Mais-Soja-Diäten können sie in Futtermischungen für Masthähnchen nach Methionin (**Met**), Lys und Threonin (**Thr**) limitierend wirken (Kidd *et al.*, 2004; Corzo *et al.*, 2007, 2009, 2010), so dass eine Supplementierung in Protein abgesenkten Diäten notwendig ist.

Diese erscheint vor allem unter dem Aspekt der Antagonismen, die zwischen den BCAA vorliegen, sinnvoll zu sein. Bereits 1955 beschrieben Harper *et al.* den Antagonismus zwischen den BCAA. Ausgelöst wird dieser durch die ähnliche Struktur der BCAA, wodurch sie in den ersten beiden Katabolisierungsschritten durch dieselben Enzymsysteme abgebaut werden (Harper *et al.*, 1984). Somit bewirkt die exzessive Zufuhr einer BCAA (in der Regel Leu) den verstärkten Abbau der zwei weiteren BCAA, wodurch Leistungsminderungen entstehen können (Spolter und Harper, 1961; Farran und Thomas, 1992a,b; Gatnau *et al.*, 1995; Wiltafsky *et al.*, 2010). Aus diesem Grunde sollte ein optimales Verhältnis der BCAA zu Lys gewährleistet sein, um Auswirkungen der Antagonismen zu vermeiden.

Herauszustellen ist die Einzigartigkeit von Leu im Hinblick auf die Förderung der Proteinsynthese bzw. der Hemmung von Muskelproteinabbau (Anthony *et al.*, 2000a, b; Lynch *et al.*, 2002a, b; Rieu *et al.*, 2003; Escobar *et al.*, 2006, 2007; Davis *et al.*, 2010; Torazza *et al.*, 2010, Yin *et al.*, 2010; Wilson *et al.*, 2011). Eine tiefere Darstellung der BCAA, ihrem Metabolismus und ihre Besonderheiten im Hinblick auf Einflussnahme auf Prozesse des Ab- und Aufbaus der Proteine sind in **Publikation I** dargestellt.

2 Literaturrecherche

Aufgrund der vorliegenden Antagonismen zwischen den BCAA sollte zu Beginn des Promotionsvorhabens zunächst ein tieferes Verständnis für die Besonderheiten im Stoffwechsel der BCAA geschaffen werden. Eine umfangreiche Literaturrecherche stellte die Basis für die nachfolgenden Untersuchungen dar.

Die Literaturrecherche betrachtete die Besonderheiten im Stoffwechsel der BCAA, die daraus resultierenden versorgungsabhängigen Antagonismen und deren Auswirkungen auf die Tierleistung. Neben monogastrischen Nutztieren wurden auch Labortiere mit einbezogen. Den Hauptteil der Betrachtung stellen die beteiligten Enzymsysteme, gewebespezifische Umsetzungen und Auswirkungen variierender Versorgungsgrade dar. Weiterhin fanden Vorstellungen über Wirkmechanismen von Leu auf einzelne Prozesse der Proteinsynthese Beachtung. Es wurde gezeigt, dass sich eine Leu-Supplementation positiv auf die Muskelproteinsynthese auswirken kann. Hierbei sollten jedoch die Verhältnisse zwischen den BCAA beachtet werden, um nachteilige Antagonismen zu vermeiden.

Die Literaturrecherche ergab, dass der Focus in vorhandener Literatur primär auf Leu-Exzessen und deren Auswirkungen lag. Vorstellungen über optimale Gehalte an BCAA in der Futtermischung, vor allem beim Broiler, sind rar und hierbei insbesondere Aussagen über einen optimalen Leu-Gehalt. Weiterhin wurde ersichtlich, dass im Geflügelbereich nahezu keine Veröffentlichungen über den Gehalt an verzweigtkettigen α -Ketosäuren im Plasma von Broilern vorliegen. Der Literatur konnte kein optimaler Zeitpunkt für eine Blutabnahme entnommen werden.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche sind in **Publikation I** zusammenfassend dargestellt.

3 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Dissertation waren folgende Aspekte:

- Evaluierung der derzeit bestehenden Annahmen für die Relationen der verzweigtkettigen Aminosäuren Leucin, Isoleucin und Valin zu Lysin im Sinne des Idealprotein-Konzepts für Broilermastfutter
- Bestimmung des Bedarfs für Lysin als Referenz-AA
- Ermittlung des IAAR für die verzweigtkettigen AA auf der Grundlage von N-Bilanz- und Wachstumsversuchen an Masthähnchen der Genetik Ross308
- Validierung der beobachteten idealen BCAA-Verhältnisse zu Lysin

Des Weiteren fanden folgende Punkte Beachtung:

- Bestimmung des optimalen Zeitpunkts für die Blutabnahme zur Analyse der verzweigtkettigen Ketosäuren im Blutplasma
- Kritische Betrachtung der gemessenen Stickstoffansätze aus Bilanz- und Wachstumsversuchen mit dem Ziel einer möglichen Optimierung der angewandten Methoden

4 Material und Methoden

Dieses Kapitel bietet einen Überblick über die angewandten Materialien und Methoden. Ergänzende Darstellungen sind den Publikationen zu entnehmen.

Während in Experiment 1 die zur Bedarfsbestimmung und zur Ermittlung der idealen AA-Relationen notwendigen Modellparameter ermittelt wurden, konnte hier weiterhin der Lys-Bedarf bestimmt werden.

In Experiment 2 fanden die Modellparameter aus Experiment 1 Anwendung, so dass das ideale BCAA-Verhältnis zu Lys bestimmt werden konnte. Zusätzlich erfolgte eine gestaffelte Nüchterung der Tiere und Blutabnahme am Ende des Experiments, um Aussagen zum optimalen Zeitpunkt der Blutabnahme anhand des Verlaufs des Gehalts an verzweigt-kettigen α -Ketosäuren im Blutplasma in Abhängigkeit der Nüchterungszeit zu erhalten.

Experiment 3 diente der Validierung des in Experiment 2 gefundenen idealen Verhältnisses der BCAA zu Lys. Hierzu wurde das ermittelte IAAR mit einem IAAR aus Literaturdaten verglichen. Zusätzlich wurde zu einer im XP-abgesenkten Diät Leu oder alle drei BCAA supplementiert, um resultierende Wachstumseffekte zu beobachten.

4.1 Tierhaltung

Die durchgeführten Experimente wurden vom Niedersächsischen Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (**LAVES**) genehmigt. Alle Experimente wurden in den Versuchseinrichtungen der Abteilung Tierernährungsphysiologie der Georg-August-Universität Göttingen durchgeführt. Es kamen ausschließlich männliche Broiler der Genetik Ross 308 zur Verwendung. Die Tiere wurden am Schlupftag von der Brüterei der Lohmann & Co. AG, Geflügelhof Möckern, bezogen und zunächst in Bodenhaltung auf Holzspänen bei einer Temperatur von 32°C gehalten. Für den ersten Versuch standen insgesamt 1000 Tiere zur Verfügung, für die zwei folgenden jeweils 650 Stück.

4.1.1 Bilanzversuche

Starterperiode (10.-20. Lebenstag)

Die für Bilanzversuche vorgesehenen Broilerküken wurden bis zum fünften Lebenstag (**LT**) zusammen mit den Reservetieren gehalten (s. 3.1.3). Am fünften LT erfolgte die Umsetzung in die Bilanzkäfige für eine fünf-tägige Adaptationsperiode. Hierzu wurden die Tiere zuvor gewogen, um eine homogene Verteilung der Lebendmasse (**LM**) in allen Versuchsgruppen sicherzustellen. Vom fünften bis zum siebten LT waren die Tiere jeweils zu zweit eingestallt, um eine schnellere Gewöhnung an die neue Haltungsumwelt zu gewährleisten. Für den Fall, dass einzelne Tiere Schwierigkeiten mit dem Haltungssystem hatten, wurde das jeweilige Tier in diesem Zeitraum gegen ein Ersatztier gleicher LM ausgetauscht. Am siebten Lebenstag wurde jeder Stoffwechselkäfig (25 x 30 cm) mit jeweils einem Tier belegt und die Tiere konnten über zwei weitere Tage beobachtet werden, bevor am zehnten Lebenstag die Sammelperiode begann (10.-20. LT, 2 x 5 Tage). Eine zweifache Sammelperiode wurde gewählt, um die Anzahl der Wiederholungen/Versuchsmischung zu erhöhen. Die Käfige waren mit Gitterböden, Selbsttränken und Futtertrögen ausgestattet. Im Verlauf der Experimente wurde die Haltungstemperatur entsprechend der Vorgaben des Zuchtverbandes (Aviagen, 2009) angepasst. Licht stand 24 h zur Verfügung.

Growerperiode (25.-35.Lebenstag)

Der zeitliche Ablauf der Experimente während der Growerperiode verlief analog zur Starterperiode, so dass am 20. LT zwei Tiere für eine fünf-tägige Adaptationsperiode in die Stoffwechselkäfige (80 x 80 cm, Abb.2) verbracht wurden. Es ist herauszustellen, dass für die Untersuchungen in der Growerperiode neue Tiere aus der Reservehaltung verwendet wurden. Die Sammelperiode war auch hier in zwei aufeinanderfolgende Abschnitte unterteilt: 25.-30. LT bzw. 30.-35. LT.

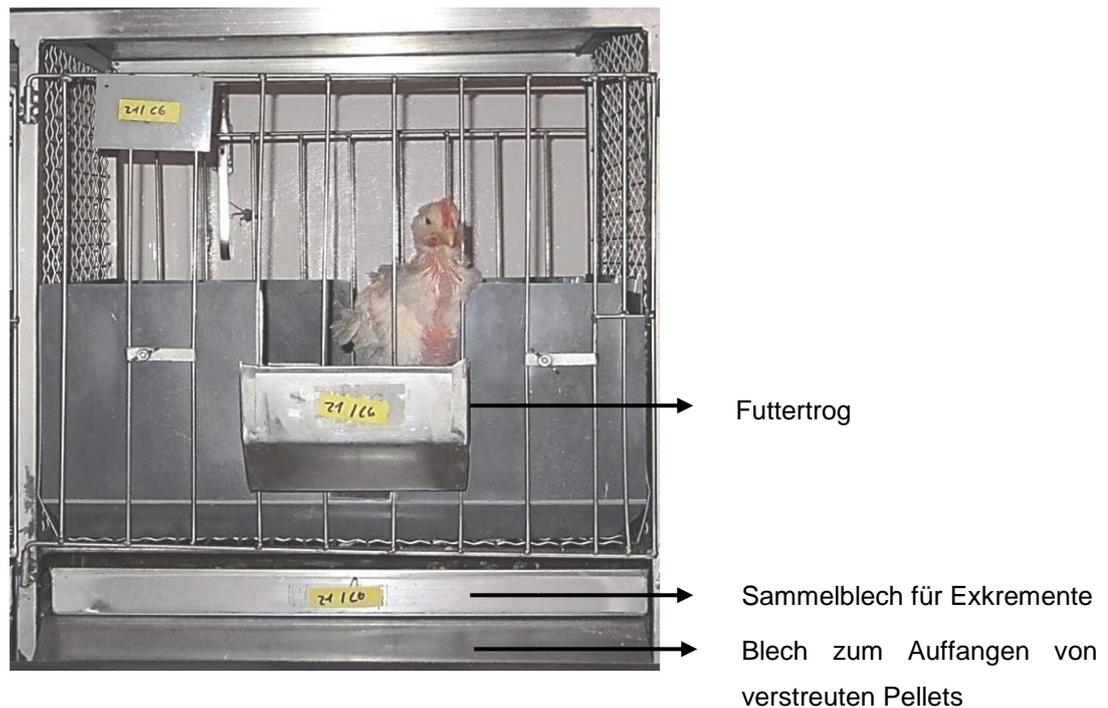


Abbildung 2: Bilanzkäfig während der Growerperiode.

4.1.2 Wachstumsversuche

In Experiment 1 und 2 wurden die Versuchsgruppen entsprechend einer homogenen Verteilung der Lebendmasse zusammengestellt und in der Versuchsanlage aufgestellt. Es standen jeweils 24 Bodenhaltungsboxen in zwei Räumen zur Verfügung, wobei sich die Boxen in den beiden Räumen in ihren Abmessungen leicht unterschieden (70 x 150 cm und 108 x 120 cm). Jede Box wurde mit 5 Broilern belegt und war mit einer automatischen Tränke und einem Futtertrog ausgestattet (Abb. 3). Die Haltung erfolgte auf Holzspänen. Beide Räume waren mit einem automatischen Zu- und Abluftsystem ausgestattet. In der ersten Woche wurde ein Hell:Dunkel-Rhythmus von 23:1 h angewandt, der ab der zweiten Woche auf 20:4 h ausgeweitet wurde.



Abbildung 3: Haltung der Versuchstiere im Wachstumsversuch.

4.1.3 Reservetiere

Die Reservetiere wurden in Bodenhaltung auf Holzspänen gehalten. Vom 1.-12. LT erhielten die Tiere eine bedarfsgerechte Standardmischung (s. Anhang-Tabelle 1) und ab dem 12. LT ein kommerzielles Hähnchenmastfutter (GoldDott, Derby Spezialfutter GmbH, Münster, Zusammensetzung und Roh Nährstoffgehalte s. A-Tab. 2 und 3). Das Lichtprogramm entsprach dem Licht-Dunkel-Rhythmus im Wachstumsversuch.

4.2 Fütterung

4.2.1 Bilanzversuche

Um Streuverluste zu minimieren, wurden die Broiler in den Bilanzversuchen leicht restriktiv gefüttert. Zu Beginn jeder Adaptationsperiode erhielten die Tiere jedoch zunächst *ad libitum* Zugang zum Futter zur Ermittlung der Höhe der Futteraufnahme, die das Tier bei freiem Zugang wählen würde. Ab dem dritten Tag der Adaptationsperiode wurde die individuell ermittelte Futtermenge konstant gehalten. Da in schnell wachsenden Tieren eine altersbedingte Anpassung an die Futtermenge erfolgen muss, wurde die Futtermenge während der ersten beiden Tage der Sammelperioden erneut tierindividuell

ell angehoben, wiederum gefolgt von einer konstanten Futtervorlage für die letzten drei Tage der beiden Sammelperioden. Während in den Adaptationsperioden das Versuchsfutter dreimal täglich gefüttert wurde (09:00h; 14:00h, 21:00h), erhielten die Broiler in den Sammelperioden nur noch zweimal am Tag (09:00h und 21:00h) Futter. Zur Bestimmung der Futteraufnahme wurde evtl. nicht aufgenommenes Futter täglich zurück gewogen und auf das Sammelblech gefallene Pellets quantifiziert und berücksichtigt.

Wasser stand den Tieren *ad libitum* zur Verfügung.

4.2.2 Wachstumsversuche

Jede Bodenhaltungsbox war mit einem Futtertrog ausgestattet, zu dem die Tiere *ad libitum* Zugang hatten. Die Tröge waren lediglich zu dreiviertel gefüllt, um Streuverluste zu vermeiden. Mehrmals am Tag wurde der Füllungsgrad der Tröge überprüft und bei Bedarf Futter nachgefüllt.

Um die Vermischung von Futter und Sägespänen zu minimieren, wurde zweimal am Tag die Fläche um den Futtertrog gefegt. Alle Tiere hatten freien Zugang zum Wasser.

4.3 Versuchsdiäten

Für die Formulierung der Versuchsdiäten mussten im Vorfeld zunächst einige Parameter festgesetzt werden:

Festlegung des IAAR

Versorgung mit Nährstoffen (XP, Energie, Ca, P, Na)

Auswahl der Proteinträger

Da das Konzept des Idealproteins angewendet werden sollte, musste zunächst ein IAAR zugrunde gelegt werden. Hierzu sind in der Literatur publizierte IAARs in Betracht gezogen worden. Basierend auf den Daten von Wecke und Liebert (2013) (Tab.1), wurde das aus Literaturquellen abgeleitete IAAR um einige Daten erweitert. Einzelwerte, die mehr als 10% vom Gesamtmittel abwichen, sind nicht berücksichtigt worden. Tabelle 2 zeigt das in dieser Arbeit verwendete Referenz-IAAR. In allen Experimenten wurde ein Lys-Gehalt von 1,3% bzw. 1,2% Lys in der Mischung in der Starter- bzw. Growerperiode verwendet.

Tabelle 2: In den Untersuchungen zugrundegelegte Annahmen zum Idealprotein (Lys = 100), modifiziert* nach Wecke und Liebert (2013).

AA	Lys	Met	Met+Cys	Thr	Trp	Arg	Val	Ile	Leu	Phe	Phe+Tyr	His
	100	38	74	65	17	106	79	68	110	66	118	32

*Aviagen, 2009; CVB, 2009; Coneglian *et al.*, 2010; de Castro Goulart, 2011; Sklan und Noy, 2005

Die Festlegung der Gehalte an XP, Energie, Ca, Na und P basierte ebenfalls auf mehreren Literaturempfehlungen (A-Tab. 4). Tabelle 3 gibt die verwendeten Richtwerte wieder.

Tabelle 3: In allen Experimenten verwendete Zielgrößen für die Gehalte (% in Diät) an Calcium, Phosphor, Natrium, Energie und Rohprotein.

	Calcium (%)	Gesamt Phosphor (%)	Natrium (%)	Energie (kcal ME bzw. MJ ME/kg Diät)	Rohprotein (%)
Starterperiode	1,0	0,6	0,2	3039/ 12,7	22,0
Growerperiode	0,85	0,55	0,18	3200/13,3	20,0

Bei der Auswahl der Proteinträger wurde vor allem der native Gehalt an Leu berücksichtigt. Da die meisten Futtermittel einen sehr hohen Gehalt an Leu aufweisen, die das Leu:Lys-Verhältnis (Tab.2) zum Teil deutlich überschreiten, wurden Proteinträger mit einem niedrigen Leu-Gehalt ausgewählt. Hierin ist auch die Ursache zu sehen, warum Mais mit einem hohen nativen Leu-Gehalt als typische Komponente in einem Hähnchenmastfutter keine Verwendung fand.

In allen drei Experimenten fiel die Wahl der Proteinträger auf Weizen, Weizengluten, Sojaproteinkonzentrat und Fischmehl.

Die Kalkulation aller Versuchsmischungen erfolgte Computer gestützt (Fumi für Windows - Futteroptimierung, Vers. 3.9, HYBRIMIN®).

Die exakte Zusammensetzung der Versuchsdäten des Experiments 1 und 2 für die Bilanzversuche sind den **Publikationen II** und **III** zu entnehmen, während die Rationszusammensetzung und Energie- und Nährstoffgehalte für Experiment 3 und für alle weiten Wachstumsversuche im Anhang (A-Tab. 5-12) zu finden ist.

Experiment 1 diente der Ermittlung der Modellparameter und des Lysin-Bedarfs. Hierzu wurden acht Versuchsmischungen mit einem gestaffelten

XP-Gehalt verwendet: N1-N8 = 6,4 - 37,8% XP in der TS (s. **Publikation II**). Als limitierende AA wurde Lys eingestellt zur Ermittlung des Lys-Bedarfes. Während im Bilanzversuch alle acht Diäten Anwendung fanden, wurden im Wachstumsversuch lediglich die Diäten N2 (10,8% XP) – N7 (33,2% XP in TS) verwendet. Dies lag einerseits darin begründet, dass die Anzahl der Wiederholungen pro Diät erhöht werden sollten und andererseits Akzeptanzprobleme aufgrund der sehr niedrigen bzw. hohen Proteingehalte vermieden werden sollten.

In Experiment 2 erfolgte die Ableitung des idealen Verhältnisses zwischen den BCAA und Lys. Neben einer AA-balancierten Kontrollmischung (**BK**) erhielten die Tiere in Experiment 2 vier weitere Diäten, in denen die zu untersuchende AA (Lys, Leu, Ile bzw. Val) als limitierend eingestellt wurden. Diese Diäten werden im Folgenden mit **LYS**; **LEU**; **ILE** und **VAL** bezeichnet. Die BK basierte auf dem Referenz-IAAR (Tab. 2) und stellte eine adäquate Nährstoffversorgung sicher. Sowohl im Bilanz- als auch im Wachstumsversuch wurde der Lys- und Leu-Gehalt auf 80% der BK abgesenkt (LYS und LEU). Anders wurde mit Ile und Val verfahren: Während im Wachstumsversuch ebenfalls ein Niveau von 80% angewandt wurde (**ILE*** und **VAL***), wurde im N-Bilanz-Versuch kein kristallines L-Ile bzw. L-Val supplementiert. Mit der Absenkung von 67 bzw. 64% der BK sollte in Übereinstimmung mit den Untersuchungsbefunden von Wecke und Liebert (2013) eine noch größere Sicherheit für eine Limitierung dieser AA erreicht werden (ILE und VAL).

In Experiment 3 erfolgte die Bewertung eines noch etwas weiter abgesenkten $IAAR_{BCAA}$ als aus den Bilanzversuchen (Experiment 2) abgeleiteten Verhältnissen der drei BCAA zu Lys (Tab. 4). Zusätzlich sind Versuchsmischungen einbezogen worden, die im Proteingehalt abgesenkt (-20%) und mit differenzierten BCAA- oder Leu-Zulagen versehen wurden, um eine weitere Spreizung, insbesondere der Leu-Relationen, zu erreichen. Als Kontrolldiät diente neben dem erniedrigten $IAAR_{BCAA}$ (mit **IAAR¹** bezeichnet) eine weitere Kontrolldiät, deren BCAA-Gehalte dem Referenz $IAAR_{BCAA}$ entsprachen, das bereits in Experiment 1 und 2 angewandt wurde (s. Tab 2 und 4, mit **IAAR*** bezeichnet) und höhere BCAA:Lys-Relationen aufwies. Dies gewährleistete einen direkten Vergleich zwischen den beiden $IAAR_{BCAA}$.

Tabelle 4: Übersicht über das Referenz-IAAR, das in Experiment 2 ermittelte IAAR und das in Experiment 3 angewandte IAAR.

Starterperiode												
AA	Lys	Met	Met +Cys	Thr	Trp	Arg	Leu	Ile	Val	Phe	Phe +Tyr	His
Referenz (IAAR*)	100	38	74	65	17	106	110	68	79	66	118	32
Experiment 2 (IAAR ²)	100	38	74	65	17	106	94	55	65	66	118	32
Experiment 3 (IAAR ¹)	100	38	74	65	17	106	89	53	63	66	118	32
Growerperiode												
AA	Lys	Met	Met +Cys	Thr	Trp	Arg	Leu	Ile	Val	Phe	Phe +Tyr	His
Referenz (IAAR*)	100	38	74	65	17	106	110	68	79	66	118	32
Experiment 2 (IAAR ²)	100	38	74	65	17	106	106	56	72	66	118	32
Experiment 3 (IAAR ¹)	100	38	74	65	17	106	97	56	70	66	118	32

IAAR* = Das IAAR, das auf Literaturangaben basiert; IAAR2 = IAAR, das in Experiment 2 ermittelt wurde; IAAR1 = IAAR, das in Experiment 3 angewandt wurde.

Tabelle 5 stellt die in den Versuchsmischungen eingestellten Ile- und Val-Relationen zu Leu (100%) dar und verdeutlicht v.a. in den Leu-supplementierten Futtermischungen XPR_{Leu1} und XPR_{Leu^*} die unterschiedlichen Supplementationshöhen im Vergleich zu den anderen Versuchsmischungen.

Tabelle 5: Übersicht über die erzielten Ile- und Val-Relationen zu Leu (100%) in Experiment 3.

	IAAR ¹	IAAR*	XPR	XPR _{BCAA}	XPR _{Leu1}	XPR _{Leu*}
Starterperiode						
Leu : Ile	100 : 60	100 : 62	100 : 60	100 : 60	100 : 49	100 : 39
Leu : Val	100 : 71	100 : 72	100 : 71	100 : 71	100 : 58	100 : 47
Growerperiode						
Leu : Ile	100 : 58	100 : 62	100 : 58	100 : 58	100 : 46	100 : 41
Leu : Val	100 : 72	100 : 72	100 : 72	100 : 72	100 : 58	100 : 51

Die im XP-abgesenkten Versuchsmischungen teilten sich folgendermaßen auf: Die Diät **XPR** entsprach Versuchsmischung IAAR¹, war jedoch im XP-Gehalt deutlich abgesenkt (-20%). **XPR_{BCAA}** entsprach wiederum XPR (-20% XP), jedoch erfolgte so eine Supplementierung mit allen BCAA, dass

diese dem Gehalt in Futtermischung IAAR¹ entsprach, während alle anderen AA-Gehalte weiterhin abgesenkt waren. Versuchsdiät **XPR_{Leu1}**, die ebenfalls auf XPR basierte, wurde so mit Leu supplementiert, dass dessen Gehalt dem Leu-Gehalt in IAAR¹ entsprach. Eine Überprüfung der Auswirkungen unterschiedlicher Leu-Gehalte gewährleistete die Versuchsmischung **XPR_{Leu*}**: Die Supplementation mit Leu zur im XP-Gehalt abgesenkten XPR, so dass der Leu-Gehalt dem in Futtermischung IAAR* entsprach (Referenz IAAR_{BCAA}). Die Gehalte aller anderen AA wurden konstant gehalten (Abb. 4). In Experiment 2 und 3 erfolgte eine Anpassung des XP-, Ca-, P-, Na- und Energiegehalts zwischen den einzelnen Altersstufen wie in Tabelle 3 dargestellt.

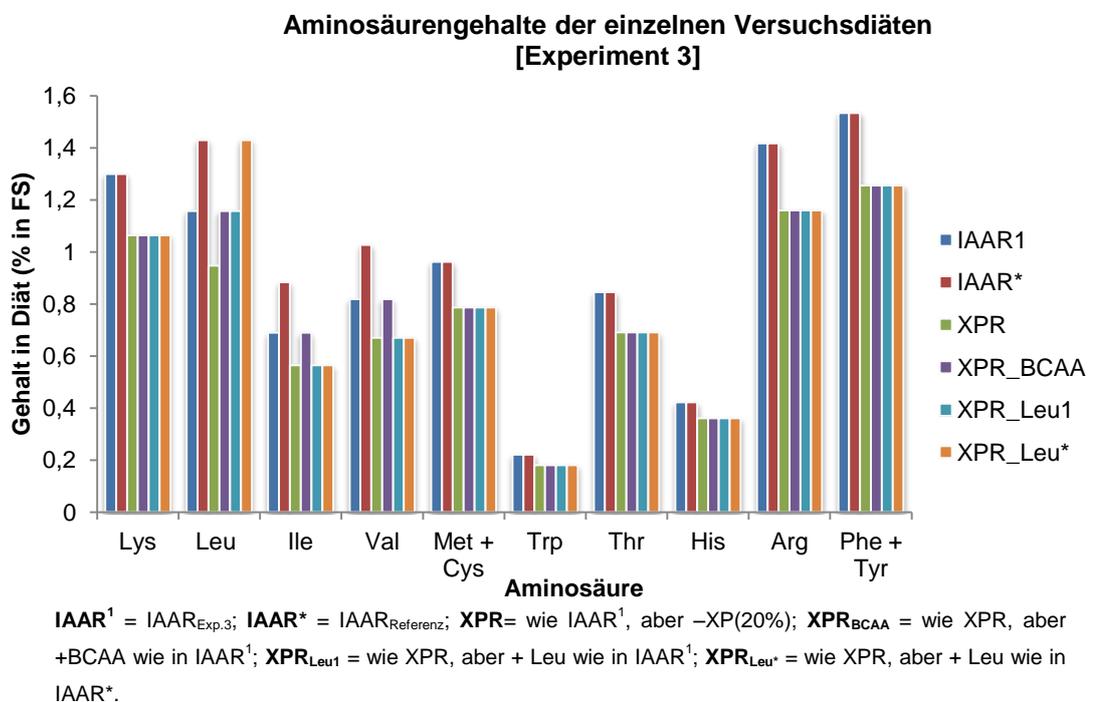


Abbildung 4: Überblick über die verschiedenen Aminosäuren-Gehalte in den Versuchsmischungen in Experiment 3 während der Starterperiode.

4.4 Sammlung und Aufarbeitung der Exkrememente

Die Exkrememente wurden während der zweimal fünf-tägigen Sammelperioden in jedem Altersabschnitt alle 12h gesammelt. Um eine Kontamination mit N aus Federn, Futter oder Hautschuppen zu vermeiden, erfolgte eine Entfernung dieser vom Sammelblech mit einer Pinzette. Hierbei erwies sich eine zusätzliche Lichtquelle sowie ein kleiner Handventilator als sinnvoll, um Pellets und Federn besser identifizieren und Hautschuppen besser entfernen zu können. Angetrocknete Exkrememente wurden mit wenig demineralisiertem Wasser eingeweicht und im Anschluss gesammelt. Nachdem die Exkre-

mente vom Blech in einen verschließbaren Eimer gesammelt wurden, schloss sich eine gründliche Reinigung der Sammelbleche mit Wasser an. Die Lagerung der Exkreme erfolgte bei -20°C bis zur weiteren Analyse. Da das Leergewicht der Sammelbehälter bekannt war, war es möglich nach Abschluss einer jeden Sammelperiode die Menge der Exkreme zu quantifizieren. Zur N- und Trockensubstanz (**TS**)– Bestimmung wurde - ggf. unter Zugabe von demineralisiertem Wasser - jede einzelne Probe mittels eines Stabmixers (FA. BRAUN GMBH, Kronberg, Deutschland) homogenisiert und nach Vorgaben der VDLUFA (Naumann und Bassler, 1976-1997) analysiert.

4.5 Zootechnische Parameter

4.5.1 Ermittlung der Lebendmasse – Bilanzversuch

Die Wägung der Tiere erfolgte jeweils zu Beginn der Adaptationsperiode (6. bzw. 21. LT) sowie zu Beginn und am Ende jeder Sammelperiode. Dabei stellte die End-LM der Tiere aus Sammelperiode I die Anfangs-LM für Sammelperiode II dar. Für die Auswertung der Bilanzdaten wurde die mittlere LM (**MLM**) verwendet.

4.5.2 Ermittlung der Lebendmasse und Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse – Wachstumsversuch

Zur Bestimmung von Kennzahlen der Wachstumsleistung wurden die Tiere in allen Wachstumsversuchen wöchentlich (Experiment 1) bzw. zu Beginn und zum Ende jedes Wachstumsabschnittes (Experiment 2 und 3) individuell gewogen.

Experiment 1

Für die Durchführung von Ganzkörperanalysen (**GKA**) wurden zu Beginn und am Ende jedes Wachstumsabschnittes repräsentative Tiere ausgewählt. Die Auswahl der Tiere in jedem Experiment ist im Anhang dargestellt.

Zu Beginn eines Wachstumsabschnittes (1.; 12. und 24. LT) wurden Tiere mit gleicher Lebendmasse entnommen, 24h genüchtert und anschließend mit CO₂ euthanasiert. Aufgrund der geringen LM, wurden zu Beginn des ersten Wachstumsabschnittes je fünf Küken zu einer Sammelprobe zusammengefasst (Nulltiere, n = 3, N = 15). In den zwei folgenden Wachstumsabschnitten wurden jeweils drei Tiere als Nulltiere ausgewählt. Die Lagerung

der Nulltiere erfolgte bis zur weiteren Analyse bei -20°C . Ebenfalls am ersten eines jeden Versuchsabschnittes erfolgte das Verbringen von 240 Tieren in die Bodenhaltungsbuchten. Hierbei wurde auf eine möglichst geringe Variation in der LM geachtet ($n = 8$). Am Ende jedes Wachstumsabschnittes (12., 24. und 36. LT) erfolgte die Wägung aller Tiere einer Box und das Tier, dessen mittlere LM die geringste Abweichung zur LM der Tiere der Box im Mittel aufwies, wurde selektiert. Somit standen pro Versuchsdiät am Ende acht Tiere für die Ganzkörperanalyse zur Verfügung. Aus diesen acht Tieren wurden das leichteste und das schwerste Tiere nicht in Betracht gezogen, so dass am Ende sechs Tiere 24h genüchert und im Anschluss mit CO_2 eingeschläfert wurden. Die verbleibenden Tiere wurden umgesetzt und abgegeben.

Experiment 2

Das Prinzip des Experiments 2 ist mit dem von Experiment 1 gleichzusetzen, nur dass andere Wachstumsabschnitte gewählt wurden: 1.-21. LT (Starterperiode) und 21.-35. LT (Growerperiode).

Experiment 3

Experiment 3 unterschied sich in der Auswahl der GKA-Tiere in zweierlei Hinsicht von Experiment 1 bzw. 2: um eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus Bilanz- und Wachstumsversuchen zu erzielen, wurde eine zeitliche Anpassung der Wachstumsabschnitte an die Zeitverläufe der Bilanzversuche vorgenommen. Das bedeutet, dass die Tiere im Wachstumsversuch zeitlich parallel wie die Tiere im Bilanzversuch in die Versuchseinrichtungen aufgestellt wurden, also statt wie bisher am ersten LT in der Starterperiode erst am fünften LT, bzw. am 20. LT in der Growerperiode. Somit stand den Tieren hier ebenfalls eine fünf-tägige Adaptationsperiode wie im Bilanzversuch zur Verfügung. Die Zusammenstellung der Versuchsgruppen zu Beginn der Adaptationsperiode erfolgte auch hier unter dem Aspekt einer gleichmäßigen Verteilung der LM aller Tiere mit geringer Variation. Die Versuchsabschnitte erstreckten sich über den 10.-20. LT bzw. 25.-35. LT in der Starter- und Growerperiode. Die Auswahl der Nulltiere wurde am 10. bzw. 25. LT durchgeführt, zum Start des jeweiligen Versuchsabschnittes. In der Starterperiode wurden hierfür alle Tiere der einzelnen Versuchsdiäten gewogen und für jede Versuchsgruppen individuell drei Nulltiere ausgewählt, deren Leb-

endmasse der mittleren LM der Versuchstiere der einzelnen Diäten entsprach.

Neben einer Änderung der gewählten Wachstumsabschnitte wurde auch eine andere Auswahl der Versuchstiere für die GKA am *Ende* der Versuchsabschnitte getroffen: Statt wie bisher ein Tier pro Box auszuwählen, wurden nun zunächst *alle* Tiere einer Versuchsgruppe gewogen, um das Gesamtgruppenmittel der LM zu ermitteln. Im Folgenden wurden die Tiere für die GKA herangezogen, die dem Mittel der LM am nächsten waren. Somit wurden in Experiment 3 mehr Tiere für die Auswahl der Nulltiere benötigt als in Experiment 1 und 2. Da die Auswahl der Nulltiere erst nach der Adaptationsperiode erfolgte, gab es – in Abhängigkeit von der Futtergestaltung – bereits deutliche Unterschiede in der LM-Entwicklung der einzelnen Gruppen. Um Nulltiere zu finden, die genau dieser LM entsprechen, war eine große Tierzahl erforderlich. Weiterhin wurden in Experiment 1 und 2 für die Growerperiode lediglich drei Tiere als Nulltiere ausgewählt, während in Experiment 3 nun drei Tiere *pro* Diät ausgewählt wurden, so dass sich eine höhere erforderliche Anzahl an Nulltieren ergab. Da für die Growerperiode weniger Tiere für die Auswahl zur Verfügung standen als in der Starterperiode, war es hier nicht möglich, ausreichend Nulltiere nach dem oben beschriebenen Konzept auszuwählen. Aus diesem Grund erfolgte die Auswahl der Nulltiere wie es für Experiment 1 und 2 beschrieben wurde, d.h. entsprechend der mittleren LM *aller* Versuchsgruppen (d.h. je Diät) zu Beginn des Versuchsabschnittes. Weiterhin erfolgte die Boxenbelegung lediglich mit vier statt mit fünf Tieren. Eine Übersicht über das Vorgehen in allen Wachstumsversuchen ist Abbildung 5 zu entnehmen. Die LM aller Versuchstiere und die daraus ausgewählten Tiere zur GKA sind im Anhang dargestellt.

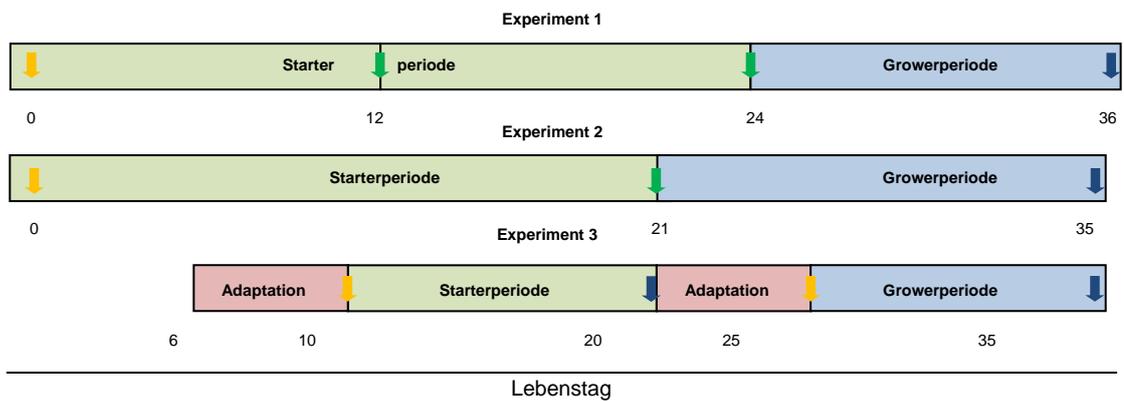


Abbildung 5: Vorgehen im Wachstumsversuch im Zeitverlauf. Auswahl der Nulltiere zu Versuchsbeginn (↓). Auswahl der Tiere für die GKA am Ende eines Wachstumsabschnittes und zusätzlich Auswahl der Nulltiere für den nächsten Wachstumsabschnitt (↓). Auswahl der Tiere für die GKA am Ende eines Wachstumsabschnittes (↓).

4.6 Ganzkörperanalyse

Tiere für die GKA wurden zu Beginn und am Ende jedes Versuchsabschnittes (s. 4.5.2) gewogen, 24h genüchert, mit CO₂ eingeschläfert, erneut gewogen, umgehend in Autoklaviergläser verbracht und bis zur weiteren Aufarbeitung bei -20°C gelagert. Zur Bestimmung der TS-, N- und Rohasche (**XA**) - Gehalte wurden die Proben zunächst 4h bei 110°C autoklaviert, und im Anschluss mit einem Fleischwolf zerkleinert und homogenisiert. Auch hier erfolgte die Analyse nach den Vorschriften der VDLUFA (Naumann und Bassler, 1976-1997). Der Nährstoffansatz im Tierkörper ließ sich im Anschluss über die Differenz zwischen den Mengen im Tierkörper am Ende des Experiments (ausgewählte Tiere) und zu Beginn (Nulltiere) ermitteln. Hierbei wurden auch Verluste während des Autoklavierens berücksichtigt. Anhangstabelle 33 stellt exemplarisch die detaillierte Berechnung des N-Ansatzes im Tierkörper für die Starterperiode in Experiment 1 dar. Die weiteren Ergebnisse der N-Ansatz-Ermittlung sind verkürzt dargestellt.

4.7 Blutabnahme

In der Literatur waren keine Hinweise für den optimalen Zeitpunkt der Blutabnahme zur Untersuchung der verzweigtkettigen α -Ketosäuren (**BCKA**) zu finden. Daher wurde in Experiment 2 eine gestaffelte Blutabnahme durchgeführt, um den optimalen Zeitpunkt der Blutabnahme zu bestimmen, welcher in Experiment 3 angewandt wurde.

4.7.1 Experiment 2

Zur Blutabnahme wurden 37 Tage alte Tiere aus dem Wachstumsversuch herangezogen, nachdem dieser abgeschlossen war. Nur Tiere, die die ausgewogene Kontrollmischung (BK) erhalten hatten, wurden verwendet. Für die Haltung der Tiere wurden die etwas größeren Bodenhaltungsbuchten aus dem Wachstumsversuch verwendet, die mit fünf Tieren/Bucht belegt waren. Um bei allen Tieren die Futteraufnahme zu synchronisieren, wurde den Tieren das Futter für 12h entzogen. Im Anschluss erhielten sie 30 Minuten Zugang zum Futter, welches danach wieder entzogen wurde. Da der Einfluss der Fütterung auf den BCKA-Gehalt im Blutplasma untersucht werden sollte, erfolgte die Blutabnahme in Intervallen (1; 3; 5; 7; 9; 11; 12 und 23h) nach dem letzten Futterzugang. 5 Tiere wurden bei jedem Zeitpunkt beprobt.

Zur Blutabnahme wurden zunächst die Einwegspritze und Kanüle mit Heparin gespült, um eine Hämolyse zu vermeiden. Eine Tierärztin entnahm das Blut aus der *Vena jugularis dextra*, nachdem das Gefieder an der Halsseite mit Alkohol desinfiziert wurde. Eine Hilfsperson fixierte das Tier (s. Abb.6). Nach erfolgter Blutabnahme erhielten die Tiere wieder *ad libitum* Zugang zum Futter.



Abbildung 6: Blutabnahme bei einem 37-tägigen Broiler aus der *Vena jugularis dextra*.

4.7.2 Experiment 3

Der Einfluss jeder der sechs in Experiment 3 verwendeten Diäten auf den α -BCKA-Gehalt im Blutplasma wurde untersucht. Hierzu wurden 15 Tiere/Diät beprobt, jeweils mit 5 Tieren/Bucht. Die Dunkelphase, an die die Masthähnchen gewöhnt waren, erstreckte sich von 02:30 – 06:30 Uhr. Es ist bekannt, dass die Tiere in der Dunkelperiode kein oder nur sehr wenig Futter aufnehmen. Die Erfahrung der vorhergehenden Experimente zeigte, dass die Futterraufnahme mit beginnender Lichtphase unverzüglich einsetzt. Um die Fresslust aller Tiere weiter zu erhöhen, wurden alle Futtertröge um 06.30 Uhr entfernt. Auf Grundlage der Ergebnisse aus Experiment 2 erfolgte die Blutabnahme sieben Stunden nach dem letzten Futterzugang. Hierzu war es notwendig, den verschiedenen Versuchsgruppen das Futter zeitlich gestaffelt anzubieten bzw. zu entziehen (30 Minuten nach Futtergabe). Um den Einfluss unterschiedlicher Nüchterungsdauer vor der Futtergabe zu minimieren, wurde die Reihenfolge, in der die Blutabnahme der Tiere der einzelnen Versuchsdiäten erfolgte, randomisiert.

4.8 BCKA-Analytik

Nach der Blutabnahme wurden die Probengefäße bei 32.000 rpm für sechs Minuten zentrifugiert. Das Plasma (Überstand) wurde abgenommen, in ein Eppendorfgefäß (2 ml) überführt und anschließend bei -80°C gelagert.

Die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (**HPLC**) ermöglichte die Analyse der Plasmaproben. Der von Kand'ár *et al.* (2009) publizierte Ansatz zur Bestimmung der α -BCKA in menschlichem Plasma wurde modifiziert und angewandt. Die Details der Modifizierung sind im Anhang wiedergegeben (s. Anhang III).

4.9 Aminosäuren-Analytik

4.9.1 Analytik der Proteinträger

Die Analyse der AA erfolgte mittels Ionenaustauschchromatographie (Biochrom30, ONKEN GmbH, Gruendau, Deutschland). Vor der Säurehydrolyse (492 ml Salzsäure und 1 g Phenol auf 1 l Wasser) wurde eine Oxidationsmischung (H_2O_2 und 88%-ige phenolhaltige Ameisensäure im Verhältnis 1:10) verwendet, um auch Met und Cys quantitativ bestimmen zu können.

Als Pufferlösung nach der Hydrolyse fand eine Citratpufferlösung (PVP) Anwendung (pH = 2,20; bestehend aus Natriumcitrat, Salzsäure, Thiodiglycol und Wasser). Als interner Standard wurde Norleucin benutzt (20 µmol Norleucin in 1 ml PVP). Die Ergebnisse der AA-Analytik der Proteinträger sind dem Anhang (A-Tab. 13-18) zu entnehmen.

4.9.2 Analytik des Blutplasmas

Die Analyse der AA erfolgte ebenfalls mittels Ionenaustauschchromatographie, jedoch wurde im Gegensatz zur Analytik der Proteinträger kein Na-Puffer-System verwendet, sondern ein Li-Puffer-System (LC3000, eppendorf BIOTRONIK, Maintal, Deutschland). Um Effekte auf den pH-Wert auszuschließen, wurde getrocknete Sulfosalicylsäure (10%ige, 100 µl/Probe) verwendet. Zu dieser Menge wurden 500 µl des Blutplasmas hinzugefügt. Nach Fällung der Proteine und einer Kühlung der Proben (30 Minuten, 4°C), erfolgte die Zentrifugation der Proben (10 Minuten, 14000 rpm). Im Anschluss wurden 400 µl des Überstandes abgenommen und mit 100 µl Norleucin vermengt.

4.10 Berechnete Parameter

4.10.1 N-Ansatz (Bilanzversuch)

$$ND = NI - NEX \quad [1]$$

wobei ND	=	N-Deposition	[mg/LM _{kg} ^{0,67} /d]
NI	=	N-Aufnahme	[mg/LM _{kg} ^{0,67} /d]
NEX	=	N-Exkretion	[mg/LM _{kg} ^{0,67} /d]

Es sei darauf hingewiesen, dass der Begriff N-Ansatz mit N-Deposition gleichzusetzen ist.

4.10.2 N-Ansatz (Wachstumsversuch mit Ganzkörperanalyse)

$$ND = [(N\text{-Menge im Tierkörper}_{\text{Ende}} - N\text{-Menge im Tierkörper}_{\text{Anfang}}) / \text{Anzahl Versuchstage}] / \text{metabolische Lebendmasse} \quad [2]$$

wobei ND	=	N-Deposition	[mg/LM _{kg} ^{0,67} /d]
----------	---	--------------	------------------------------------------

4.10.3 Lebendmassezunahme (Wachstumsversuch)

$$LMZ = (LM_{\text{Versuchsende}} - LM_{\text{Versuchsanfang}}) / \text{Anzahl Tage} \quad [3]$$

wobei LMZ = tägliche Lebendmassezunahme [g/d]
 LM = Lebendmasse [g]

4.10.4 Futteraufwand (Wachstumsversuch)

$$FA = FI / LMZ \quad [4]$$

wobei FA = Futteraufwand [g/g]
 FI = Futteraufnahme [g/d]
 LMZ = tägliche Lebendmassezunahme [g/d]

4.10.5 Parameter des N-Verwertungsmodells

Proteinqualitätsparameter wie die Biologische Wertigkeit (**BW**) (Thomas, 1909; Mitchell, 1924), der physiologische Nutzwert (**PNU**) (Bender und Miller, 1953), oder der produktive Eiweißwert (**PEW**) (Müller und Hötzel, 1957) erlauben zwar eine Evaluierung der Proteinqualität, unterliegen jedoch stark dem Einfluss der aufgenommenen N-Menge. Aus diesem Grund findet in der vorliegenden Arbeit ein nicht-lineares N-Verwertungsmodell Anwendung, das erstmals 1966 von Gebhardt vorgestellt und fortlaufend für verschiedene Spezies weiterentwickelt wurde (Thong und Liebert, 2004a,b,c; Samadi und Liebert, 2006a,b; 2007a,b; 2008; Liebert und Benkendorff, 2007; Wecke und Liebert, 2009; 2010; 2013), so dass die Bewertung der Proteinqualität unabhängig von der Höhe der N-Aufnahme möglich wurde. Basierend auf der nicht-linearen Beziehung zwischen der Höhe der N-Aufnahme und der Höhe der N-Retention ergeben sich folgende Zusammenhänge:

$$NR = NR_{\max} T (1 - e^{-b \cdot NI}) \quad [5]$$

$$ND = NR_{\max} T (1 - e^{-b \cdot NI}) - NMR \quad [6]$$

wobei NR = N-Retention (ND+NMR) [mg/LM_{kg}^{0,67}/d]
 NR_{max}T = theoretisches Maximum der NR [mg/LM_{kg}^{0,67}/d]
 e = Grundzahl der natürlichen Logarithmen [ln]
 NI = N-Aufnahme [mg/LM_{kg}^{0,67}/d]
 ND = N-Ansatz [mg/LM_{kg}^{0,67}/d]
 NMR = N-Erhaltungsbedarf [mg/LM_{kg}^{0,67}/d]
 b = Anstieg der N-Retentionskurve, Ausdruck der Futterproteinqualität, unabhängig von der Höhe der NI

Hierbei ist herauszustellen, dass es sich bei dem Modellparameter $NR_{max}T$ um einen theoretischen Wert handelt, der einerseits art-, alters-, geschlechts- und genotypabhängig ist und andererseits unter normalen Produktionsbedingungen nicht erreicht wird. Der Modellparameter stellt somit einen Grenzwert *oberhalb* der Messwerte dar. Die Grenzwertschätzung für diesen Parameter sowie die Ermittlung des NMR erfolgt durch die nicht-lineare Regression unter Anwendung des *Levenberg-Marquardt-Algorithmus* (SPSS Version 19.0 für Windows). Die Gleichung für den Modellparameter b , der die **Bewertung der Futterproteinqualität**, unabhängig von der aufgenommenen N-Menge ermöglicht, ergibt sich nach Umformung und Logarithmierung von Gleichung [5]:

$$b = \ln NR_{max}T - \ln(NR_{max}T - NR) / NI \quad [7]$$

In den Ergebnisdarstellungen erfolgt die Angabe des Parameters b multipliziert mit dem Faktor 10^6 .

Weiterhin ist es möglich, auf Grundlage von Gleichung [5] die Wirkungskurve der limitierenden AA im Futterprotein (LAA) zu bestimmen. Hierbei wird NI durch LAA ersetzt, wobei folgender Zusammenhang verwendet wird:

$$NI = (16 \cdot LAAI) / c \quad [8]$$

wobei LAAI = notwendige Aufnahme der LAA [mg/LM_{kg}^{0,67}/d]
 c = Konzentration der LAA im Futterprotein [g/16g N]

Unter Berücksichtigung dieser Prämissen ergibt sich aus Gleichung [5] Gleichung [9]:

$$NR = NR_{max}T (1 - e^{-16bc^{-1} \cdot LAAI}) \quad [9]$$

Durch Logarithmierung von Gleichung [9] kann im Folgenden entweder nach LAAI oder bc^{-1} umgestellt werden, wobei bc^{-1} den linearen Zusammenhang zwischen der Konzentration der LAA (c) und der Proteinqualität (b) widerspiegelt und somit die **Wirksamkeit der AA** charakterisiert (z.B. Liebert und Gebhardt 1986; 1987; 1988a,b; Thong und Liebert, 2004a,b,c; Samadi und Liebert, 2006a,b; 2007a,b; 2008):

$$LAAI = [\ln NR_{max}T - \ln(NR_{max}T - NR)] / 16 \cdot bc^{-1} \quad [10]$$

$$bc^{-1} = [\ln NR_{max}T - \ln (NR_{max}T - NR)] / 16 \cdot LAAI \quad [11]$$

Die Wirksamkeit der zu untersuchenden AA kann jedoch nur dann ermittelt werden, wenn sie auch tatsächlich limitierend wirkt (Samadi und Liebert, 2008). Andernfalls ist eine Überschätzung des tatsächlichen AA-Bedarfs möglich. Auf Grundlage der bc^{-1} -Werte kann das **IAAR** ermittelt werden (Samadi und Liebert, 2008; Wecke und Liebert, 2013):

$$IAAR = bc_{Lys}^{-1} / bc_{LAA}^{-1} \quad [12]$$

4.11 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programm SPSS Version 19 für Windows. Durchgeführt wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse ($p < 0,05$), unter Anwendung des Tukey- oder Games-Howell post-hoc-Tests, in Abhängigkeit von Homo- oder Heterogenität der getesteten Gruppen, welche durch den Levene-Test validiert wurden. Im Ergebnisteil werden signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen durch unterschiedlich hochgestellte Buchstaben kenntlich gemacht. Die Daten werden als Mittelwert \pm Standardfehler des Mittelwertes dargestellt.

Die Ermittlung von Ausreißern erfolgte nach Dixon und Massey (1969).

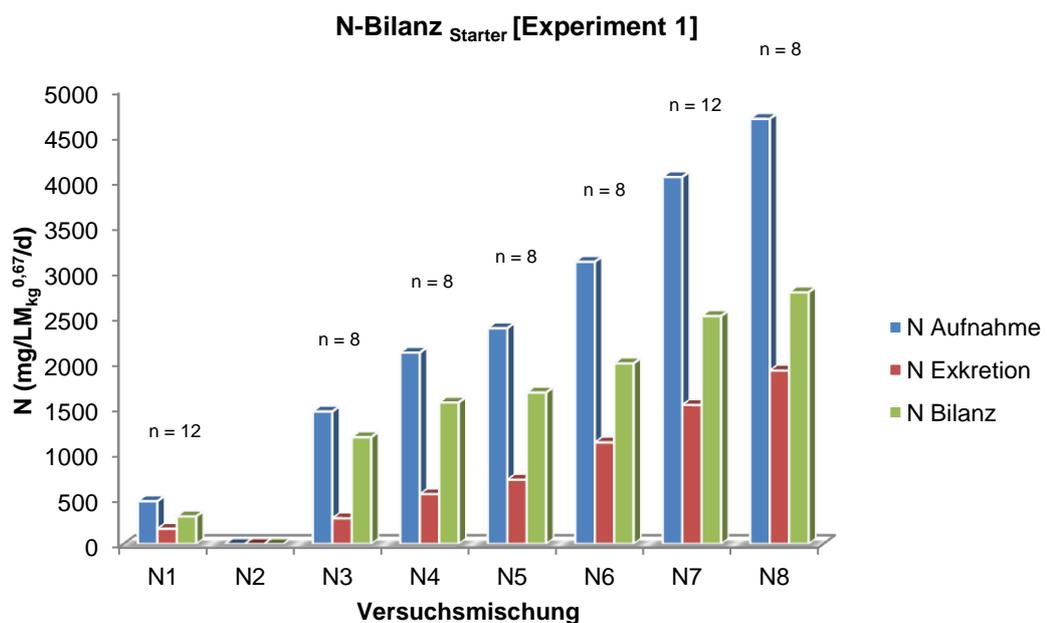
5 Ergebnisse

Im Ergebnisteil werden die Gruppenmittel der einzelnen Behandlungen dargestellt. Tierindividuelle Einzeldaten sind dem Anhang zu entnehmen. Sowohl die Ergebnisse der Bilanz- als auch der Wachstumsversuche werden wiedergegeben.

5.1 Experiment 1 – Ermittlung der Modellparameter und des Lysin-Bedarfs

5.1.1 Bilanzversuch

In Abbildung 7-10 sind die wichtigsten Ergebnisse der Starter- und Growerperiode dargestellt. Eine ausführlichere Darstellung, incl. Standardfehler des Mittelwertes und statistischer Prüfung, ist **Publikation II** zu entnehmen.

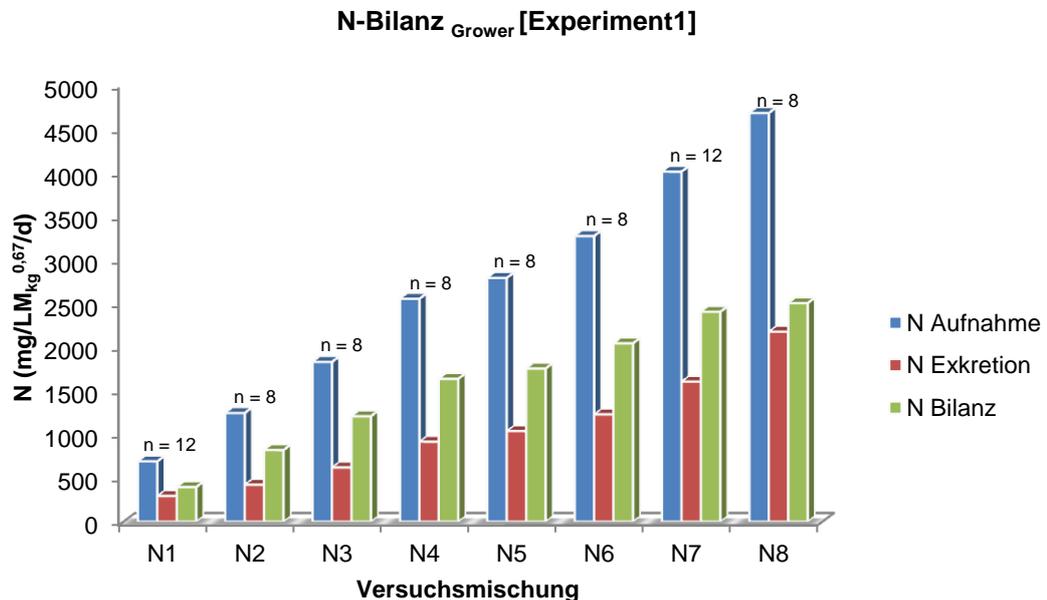


N1 = 6,4; N2 = 10,8; N3 = 15,2; N4 = 19,7; N5 = 24,1; N6 = 28,6; N7 = 33,2; N8 = 37,8% XP in TS

Abbildung 7: N-Aufnahme und N-Exkretion, sowie die N-Bilanz der Tiere der einzelnen Versuchsmischungen während der Starterperiode in Experiment 1.

Zwei Tiere der Fütterungsgruppe mit 10,8% XP/kg TS verweigerten die Fut-
teraufnahme über mehrere Tage. Aus diesem Grunde wurde die gesamte
Versuchsgruppe aus der Datenevaluierung für die Starterperiode genommen
(Abb. 7). Da in allen Experimenten für die Growerperiode neue Tiere verwen-
det wurden und während der Growerperiode keine Akzeptanzprobleme auf-

traten, konnten die erhobenen Daten für die Tiere, die einen XP-Gehalt von 10,8% erhielten, verwendet werden (Abb. 8).



N1 = 6,4; N2 = 10,8; N3 = 15,2; N4 = 19,7; N5 = 24,1; N6 = 28,6; N7 = 33,2; N8 = 37,8% XP in TS

Abbildung 8: N-Aufnahme und N-Exkretion sowie die daraus resultierende N-Bilanz der einzelnen Versuchsmischungen während der Growerperiode in Experiment 1.

Erwartungsgemäß konnten in beiden Altersabschnitten mit steigender N-Zufuhr eine erhöhte N-Aufnahme, N-Exkretion und N-Bilanz beobachtet werden. Dies spiegelte sich ebenfalls in einer gestaffelten mittleren LM wieder (s. **Publikation II**).

Basierend auf den Bilanzdaten konnten die Modellparameter $ND_{\max T}$, NMR, b und bc^{-1} errechnet werden. Es ergab sich ein NMR von 113 bzw. 215 mg $N/LM_{kg}^{0,67}/d$ für die Starter- bzw. Growerperiode und ein $ND_{\max T}$ von 4592 bzw. 4301 mg $N/LM_{kg}^{0,67}/d$. Bezogen auf die metabolische Lebendmasse war mit zunehmendem Alter ein steigender NMR und eine Abnahme von $ND_{\max T}$ zu erkennen. Die Unterschiede zwischen beiden Altersstufen waren nicht stark ausgeprägt. Dabei ist festzuhalten, dass der NMR im Vergleich zu vorhergehenden Untersuchungen nicht regressiv abgeleitet wurde, sondern ebenfalls mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS frei geschätzt wurde (s. Formel [6]).

Abbildung 9 stellt die Schätzung für die $ND_{\max T}$ dar.

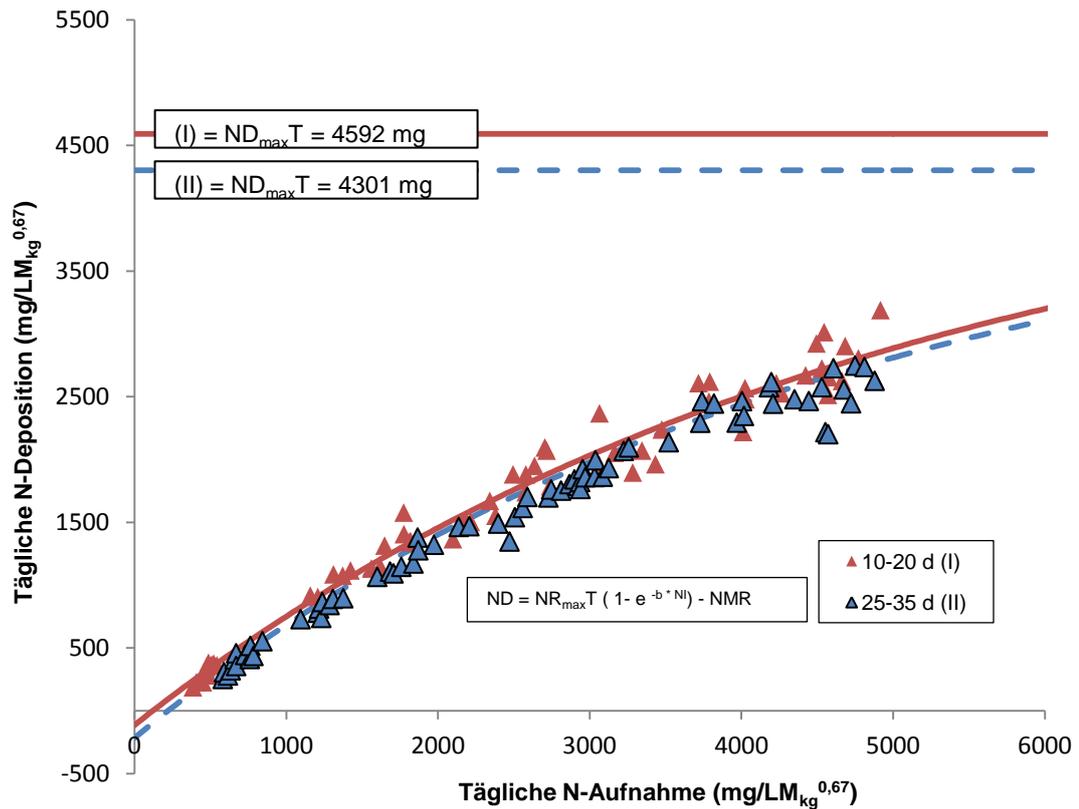


Abbildung 9: Schätzung des theoretischen Maximums der täglichen N-Deposition ($ND_{\max}T$) in männlichem, schnell wachsenden Geflügel, basierend auf dem Zusammenhang zwischen N-Aufnahme und N-Deposition, dargestellt für zwei unterschiedliche Altersabschnitte.

5.1.2 Wachstumsversuch

Tabelle 6 und Abbildung 10 geben einen Überblick über die ermittelten Ergebnisse der verschiedenen Altersabschnitte. Hierbei ist zu beachten, dass biostatistisch eine Bodenhaltungsbox mit fünf Tieren als ein Beobachtungswert gilt, d.h. über alle Behandlungen konnten 48 Beobachtungswerte erhoben werden.

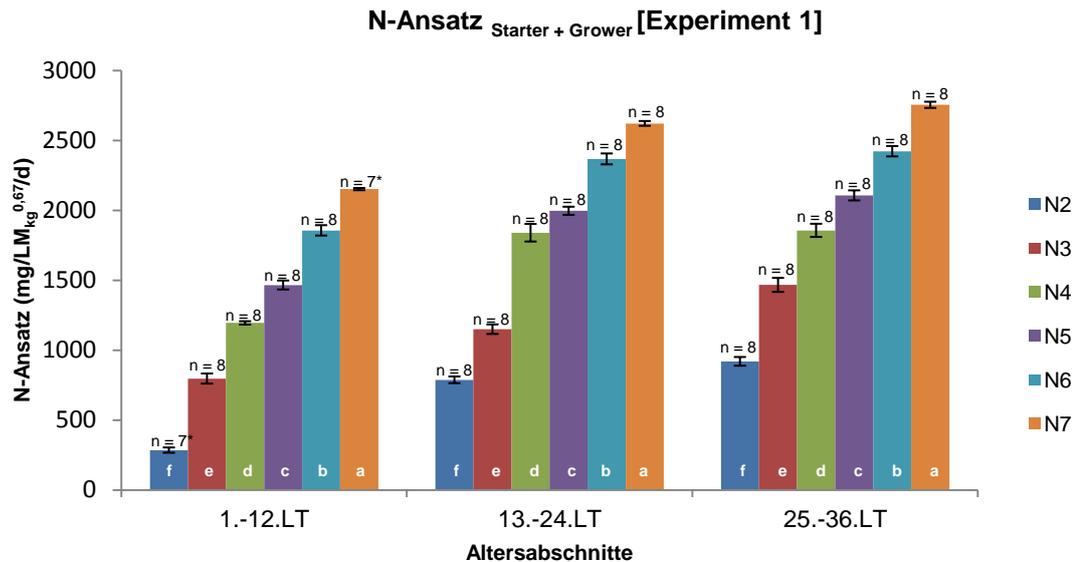
Wie bereits im Bilanzversuch war mit einer zunehmenden N-Aufnahme eine signifikante Zunahme im N-Ansatz zu beobachten. Die Ermittlung der Modellparameter $ND_{\max}T$ und NMR erfolgte nach dem bereits beschriebenen Prinzip. Allerdings führte die Schätzung der Modellparameter zu keinen realistischen Werten.

Tabelle 6: Wichtigste Kennzahlen des Wachstumsversuchs. Experiment 1.

1.-12. Lebenstag						
Mischung	N2	N3	N4	N5	N6	N7
	(n=7*)	(n=8)	(n=8)	(n=8)	(n=8)	(n=7*)
Anfangs-	50 ^a	50 ^a	50 ^a	50 ^a	50 ^a	50 ^a
Lebendmasse (g)	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
End-	78 ^e	141 ^e	200 ^d	282 ^c	397 ^b	461 ^a
Lebendmasse (g)	± 2	± 6	± 3	± 9	± 15	± 4
Trockensubstanz-	14 ^d	19 ^d	25 ^c	27 ^{bc}	32 ^a	31 ^{ab}
Aufnahme (g/d)	± 1	± 1	± 1	± 1	± 1	± 1
N-Aufnahme	1554 ^d	2262 ^c	3173 ^b	3544 ^{ab}	4058 ^{ab}	4115 ^a
(mg/LM _{kg} ^{0.67/d})	± 147	± 149	± 153	± 91	± 96	± 69
N-Ansatz	285 ^f	797 ^e	1195 ^d	1466 ^c	1857 ^b	2152 ^a
(mg/LM _{kg} ^{0.67/d})	± 19	± 36	± 12	± 32	± 37	± 8
13.-24. Lebenstag						
Mischung	N2	N3	N4	N5	N6	N7
	(n=8)	(n=8)	(n=8)	(n=8)	(n=8)	(n=8)
Anfangs-	413 ^a	413 ^a	414 ^a	414 ^a	417 ^a	413 ^a
Lebendmasse (g)	± 0	± 0	± 0	± 0	± 3	± 0
End-	750 ^e	796 ^e	1077 ^d	1256 ^c	1428 ^b	1573 ^a
Lebendmasse (g)	± 11	± 14	± 34	± 19	± 26	± 13
Trockensubstanz-	68 ^d	74 ^{cd}	78 ^{cd}	85 ^{abc}	83 ^{abc}	92 ^a
Aufnahme (g/d)	± 2	± 4	± 3	± 1	± 4	± 2
N-Aufnahme	1698 ^d	2608 ^c	3038 ^c	3782 ^b	4045 ^b	4936 ^a
(mg/LM _{kg} ^{0.67/d})	± 38	± 130	± 89	± 35	± 156	± 110
N-Ansatz	789 ^f	1150 ^e	1840 ^d	1997 ^c	2368 ^b	2623 ^a
(mg/LM _{kg} ^{0.67/d})	± 24	± 34	± 63	± 29	± 39	± 17
25.-36. Lebenstag						
Mischung	N2	N3	N4	N5	N6	N7
	(n=8)	(n=8)	(n=8)	(n=8)	(n=8)	(n=8)
Anfangs-	1124 ^a	1063 ^a	1081 ^a	1094 ^a	1076 ^a	1085 ^a
Lebendmasse (g)	± 12	± 14	± 13	± 14	± 12	± 20
End-	1731 ^e	1971 ^d	2264 ^c	2430 ^b	2566 ^{ab}	2684 ^a
Lebendmasse (g)	± 35	± 44	± 27	± 40	± 39	± 26
Trockensubstanz-	122 ^d	136 ^{cd}	144 ^{bc}	174 ^a	171 ^{ab}	172 ^a
Aufnahme (g/d)	± 5	± 3	± 3	± 6	± 7	± 3
N-Aufnahme	1660 ^e	2502 ^d	3204 ^c	4583 ^b	5246 ^{ab}	5979 ^a
(mg/LM _{kg} ^{0.67/d})	± 57	± 39	± 53	± 138	± 208	± 120
N-Ansatz	920 ^f	1467 ^e	1857 ^d	2107 ^c	2423 ^b	2755 ^a
(mg/LM _{kg} ^{0.67/d})	± 31	± 50	± 47	± 36	± 37	± 22

N2 = 10,8; N3 = 15,2; N4 = 19,7; N5 = 24,1; N6 = 28,6; N7 = 33,2% XP in TS

* 1 Ausreißer



N2 = 10,8; N3 = 15,2; N4 = 19,7; N5 = 24,1; N6 = 28,6; N7 = 33,2% XP in TS
 * 1 Ausreißer

Abbildung 10: N-Ansatz im Tierkörper ($\text{mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$) im Wachstumsversuch (Experiment 1).

Lediglich für den dritten Altersabschnitt (25.-36. LT) konnte ein annehmbarer Wert von $3698 \text{ mg N/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$ für die ND_{maxT} ermittelt werden. Auch eine Zusammenlegung der ersten beiden Versuchsabschnitte (1.-24. LT) führte zu keiner Verbesserung. Aus diesem Grunde basierten alle nachfolgenden Kalkulationen auf den Modellparametern, die im Bilanzversuch erhoben worden sind; unabhängig davon, ob sie für Bilanz- oder Wachstumsversuche angewendet wurden.

5.1.3 Lysin-Bedarf

Auf Grundlage des Bilanzversuchs konnte nach der oben beschriebenen Gleichung [7] Modellparameter b berechnet werden. Tabelle 7 gibt den gemittelten b -Wert der einzelnen Versuchsgruppen wieder, so wie das Mittel über alle Versuchsgruppen, auf dessen Grundlage die Kalkulation des Lysin-Bedarfes erfolgte.

Wie erwartet, gab es keinen signifikanten Unterschied in der Proteinqualität zwischen den Proteinstaffelungen. Als mittlerer „Arbeitswert“ ergab sich für die Starter- bzw. Growerperiode ein b -Wert von 203 bzw. 210. Basierend auf Gleichung [10] leitete sich der Lysin-Bedarf ab (Tab. 8). Erwartungsgemäß erhöhte sich mit steigendem XP-Ansatz der Lysin-Bedarf in beiden Altersstufen.

Tabelle 7: Ermittlung des Modellparameters b auf Grundlage der N-Bilanz-Daten und den daraus berechneten Modellparametern $ND_{\max T}$ und NMR für die Starter- und Growerperiode.

Starterperiode (10.-20. Lebenstag)								
Mischung	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
b -Wert	196 ^a	-	219 ^a	212 ^a	200 ^a	192 ^a	203 ^a	204 ^a
	± 5		± 5	± 5	± 7	± 6	± 5	± 9
Mittel	203							
Growerperiode (25.-35. Lebenstag)								
b -Wert	210 ^a	209 ^a	207 ^a	208 ^a	206 ^a	213 ^a	218 ^a	197 ^a
	± 5	± 3	± 2	± 4	± 7	± 5	± 4	± 7
Mittel	210							
N1 = 6,4; N2 = 10,8; N3 = 15,2; N4 = 19,7; N5 = 24,1; N6 = 28,6; N7 = 33,2; N8 = 37,8% XP in TS								

Bezogen auf die metabolische Lebendmasse verringerte sich der Lys-Bedarf in der Growerphase im Vergleich mit der Starterperiode, während absolut ein höher Lys-Bedarf während der Growerperiode ermittelt wurde. Die Kalkulation macht deutlich, dass die tägliche Futteraufnahme (**FI**) einen großen Einfluss auf die erforderliche Lys-Konzentration im Futter hat: Sollte ein täglicher XP-Ansatz von 10 g in der Starterperiode erreicht werden, müsste bei einer unterstellten täglichen FA von 60 g 1,34% Lys im Futter enthalten sein, um den Lys-Bedarf von 690 mg/d zu decken. Bei einer täglichen Futteraufnahme von 80 g müssten lediglich 1,00% Lys im Futter enthalten sein. Eine Einordnung der Beobachtungen erfolgt in **Publikation III**.

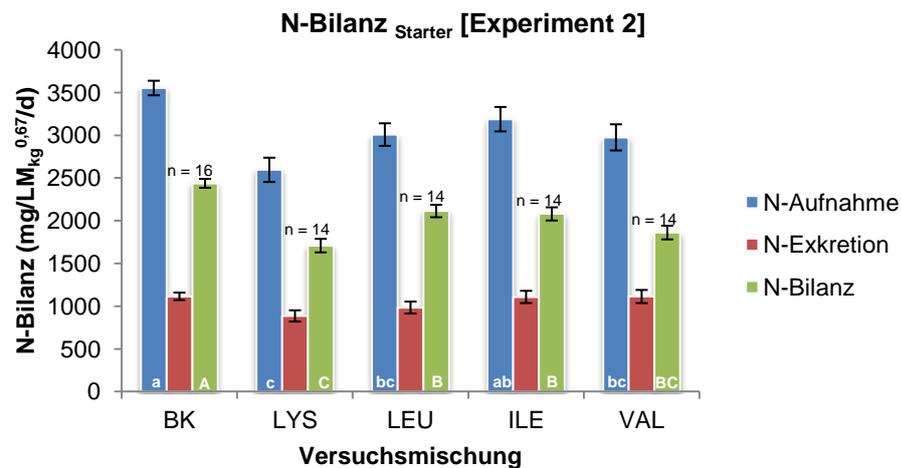
Tabelle 8: Kalkulation des Lys-Bedarfes für männliche Masthähnchen während zwei Wachstumsabschnitten, in Abhängigkeit vom täglichen XP-Ansatz, der Lys-Wirksamkeit und einer unterstellten täglichen Futteraufnahme (mittlere LM: I: 500 g; II: 1500 g).

Altersabschnitt	I (10.-20. Lebenstag)			II (25.–35. Lebenstag)			
XP-Deposition (g/d)	9,0	10,0	11,0	XP-Deposition (g/d)	17,0	18,0	19,0
Lys-Wirksamkeit (bc^{-1}_{LYS})		41 · 10 ⁻⁶		Lys-Wirksamkeit (bc^{-1}_{LYS})		42 · 10 ⁻⁶	
Lys-Bedarf (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1097	1277	1481	Lys-Bedarf (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1060	1144	1234
Lys-Bedarf (mg/d)	690	803	931	Lys-Bedarf (mg/d)	1390	1501	1619
Optimaler Lys-Gehalt in der Diät (%)							
Futteraufnahme (g/d)				Futteraufnahme (g/d)			
60	1,15	1,34	1,55	140	0,99	1,07	1,16
70	0,99	1,15	1,33	150	0,93	1,00	1,08
80	0,86	1,00	1,16	160	0,87	0,94	1,01

5.2 Experiment 2 – Ermittlung des idealen Aminosäurenverhältnisses zwischen den verzweigt-kettigen Aminosäuren und Lysin und Bestimmung des optimalen Zeitpunktes für eine Blutabnahme

5.2.1 Bilanzversuch

Wie bereits unter 5.1.1 beschrieben, ist eine genauere Darstellung der Bilanzergebnisse **Publikation II** zu entnehmen. Abbildungen 11-18 fassen die wichtigsten Ergebnisse des zweiten Experiments zusammen.



BK = AA-balancierte Kontrollmischung; **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%); **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%); **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%); **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

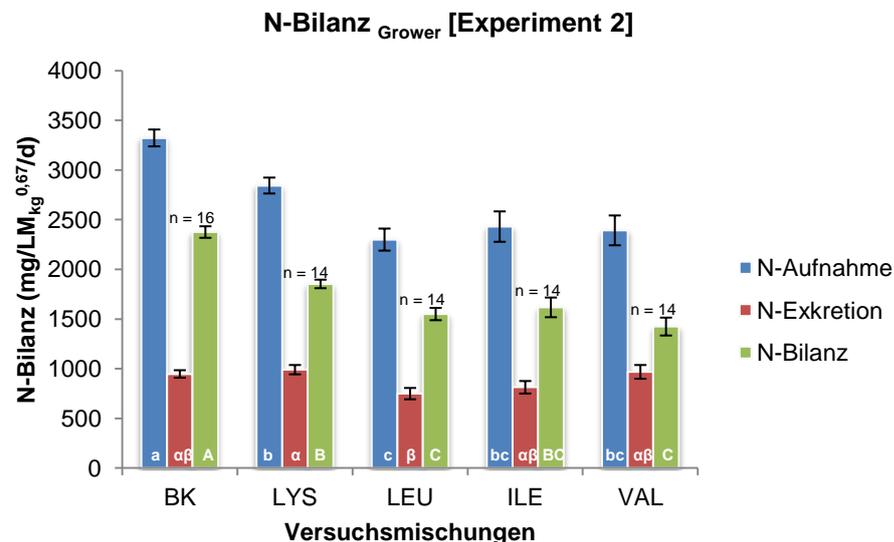
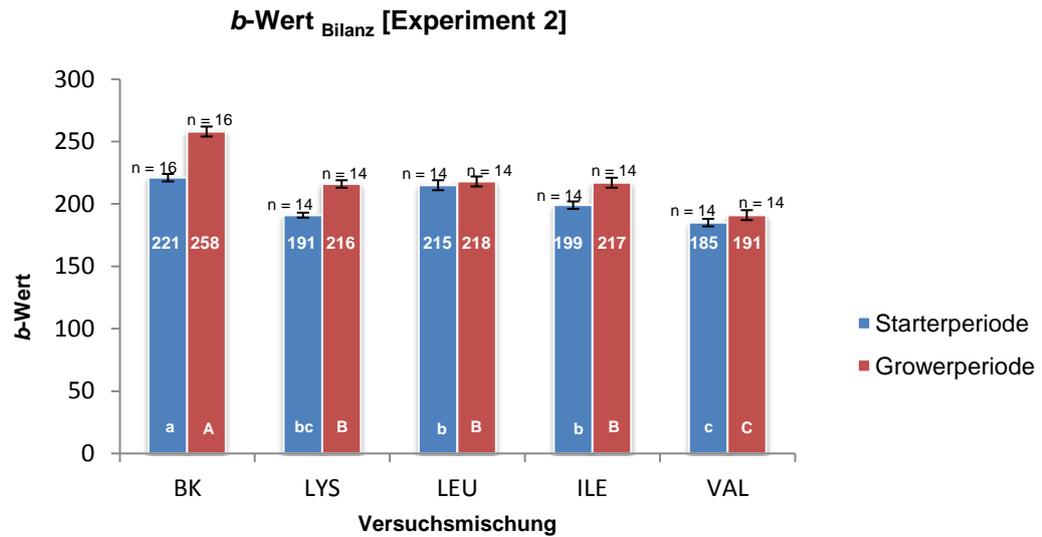


Abbildung 11: N-Aufnahme und N-Exkretion sowie die daraus resultierende N-Bilanz während der Starter- und Growerperiode in Experiment 2. a-c kennzeichnen signifikante Unterschiede der N-Aufnahme zwischen den einzelnen Behandlungsgruppen, während α-β signifikante Unterschiede der N-Exkretion und A-C signifikante Unterschiede der N-Bilanz markieren.

Es war ein deutlicher verzehrdepressiver Effekt in beiden Altersabschnitten zu erkennen, sobald Diäten verabreicht wurden, die kein ausgewogenes AA-Muster aufwiesen (LYS, LEU, ILE und VAL). Alle Versuchsdieten zeigten folglich im Vergleich zur Kontrollmischung BK signifikant niedrigere N-Aufnahmen (Abb. 11). In der Starterperiode reagierten die Tiere besonders auf die Lys-limitierende Diät (LYS) mit Wachstumsdepressionen. In der Growerperiode zeigte sich jedoch eine signifikante niedrigere N-Aufnahme bei den Broilern, die eine *Leu*-abgesenkte Diät (LEU) erhielten im Vergleich zur Kontrolldiät (BK). Somit wirkte sich eine Lys-Absenkung während der Starterperiode stärker mindernd auf die Futteraufnahme und den N-Ansatz aus als während der Growerperiode. Hier zeigte sich primär eine *Leu*-Absenkung leistungsbegrenzend. Wie zu erwarten, wiesen die Tiere, denen die Versuchsmischung BK verabreicht wurde, in beiden Altersabschnitten die signifikant höchste N-Bilanz auf. Die Ergebnisse zeigten, dass eine Val bzw. Ile-Limitierung (VAL und ILE) zu einer ebenfalls signifikanten Verminderung der N-Bilanz im Vergleich zur BK in beiden Altersabschnitten führte. Diese waren jedoch nicht so stark ausgeprägt wie die durch eine Verabreichung von Lys- oder *Leu*-abgesenkten Diät. Basierend auf den Bilanzdaten konnte die Proteinqualität (*b*-Wert) ermittelt werden (Abb. 12): Die balancierte Kontrollmischung BK wies in beiden Altersabschnitten die signifikant höchste Proteinqualität aus, während für die Versuchsmischungen LYS, LEU, ILE und VAL eine signifikant verminderte Proteinqualität beobachtet wurde. In beiden Wachstumsabschnitten zeigte sich ein signifikant niedrigster *b*-Wert für die Val-limitierten Versuchsmischungen. Die Bedingung, dass die zu untersuchende AA im Limitierungsbereich vorliegen muss, um das IAAR zu berechnen, war erfüllt. Nach Ermittlung der Aminosäurewirksamkeit (bc^{-1} -Werte, s. **Publikation II**) ergab sich das folgende IAAR für die BCAA in Relation zu Lys (Abb. 13):



BK = AA-balancierte Kontrollmischung; **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%);
LEU = BK abgesenkt in Leu (80%); **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%); **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

Abbildung 12: Ermittlung der Proteinqualität der einzelnen Versuchsdäten im Experiment 2 für die Starter- und Growerperiode. a-c weisen signifikante Unterschiede für den b -Wert in der Starterperiode zwischen den einzelnen Versuchsmischungen aus, während A-C signifikante Unterschiede in der Growerperiode darstellen.

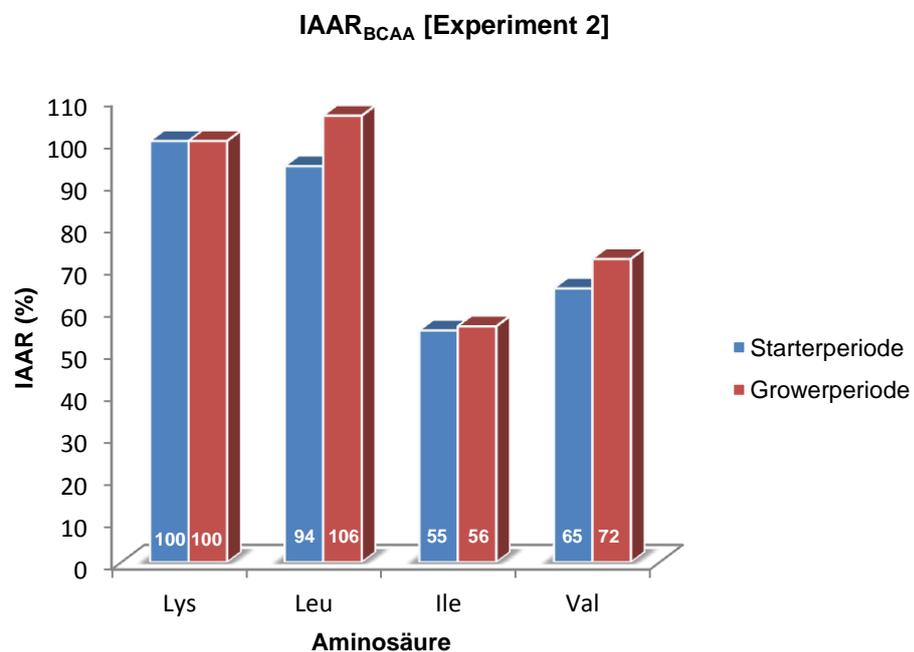


Abbildung 13: Abgeleitete IAAR für die BCAA in Relation zu Lys (=100%) für die Starter- und Growerperiode.

Es ergab sich ein IAAR für die BCAA in Relation zu Lys von 100:94:55:65 und 100:106:56:72 für Lys:Leu:Ile:Val für die Starter- bzw. Growerperiode. Dabei ist festzuhalten, dass die Bedeutung von Leu und Val in der Growerperiode scheinbar zunahm und sich das IAAR erhöhte, während es für Ile stabil blieb.

Eine weitere Beobachtung konnte in Bezug auf Antagonismen zwischen den BCAA gemacht werden: Die Tiere, die die Val limitierten Versuchsdiäten erhielten, nahmen eine hockende Stellung ein, zeigten ein gedrehtes Federkleid und standen nur noch zur Futter- und Wasseraufnahme auf (Abb. 14). Daneben ist auf der Abbildung deutlich die Wachstumsretardierung des Tieres zu erkennen, das die Lys-limitierte Mischung erhielt. Nach Beendigung der Starterperiode erhielt das Tier der Val-limitierten Diät die AA-balancierte Kontrollmischung (BK). Innerhalb von zwei Wochen zeigte sich ein normales Federkleid und das Tier war wieder in der Lage (Abb. 15) zu stehen und zu laufen.

Die beobachteten Effekte unterstreichen nochmals die Notwendigkeit der Ableitung von validen idealen Verhältnissen zwischen den BCAA und Lys, um Antagonismen durch erhöhte Leu-Gehalte- wie in **Publikation I** beschrieben - zu vermeiden, um damit einerseits Leistungsminderungen zu verhindern und andererseits das Tierwohl zu unterstützen.



Abbildung 14: Repräsentative Versuchstiere des Bilanzversuchs am Ende der Starterperiode, sortiert nach Fütterungsgruppen.



Abbildung 15: Dasselbe Tier aus Abbildung 14, das die Val-abgesenkte Futtermischung während der Starterperiode erhielt, am Ende der Growerperiode nach Verabreichung der AA-balancierten Kontrollmischung.

5.2.2 Wachstumsversuch

Tabelle 9 fasst die Ergebnisse des Wachstumsversuchs zusammen.

Tabelle 9: Kennzahlen des Wachstumsversuchs in Experiment 2.

Starterperiode (1.-21. Lebenstag)					
Mischung	BK (n=9)	LYS (n=9)	LEU (n=10)	ILE* (n=10)	VAL* (n=10)
Anfangs-	48 ^a	48 ^a	48 ^a	48 ^a	48 ^a
Lebendmasse (g)	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
End-	1169 ^a	483 ^c	874 ^b	1106 ^a	1130 ^a
Lebendmasse (g)	± 12	± 20	± 17	± 33	± 22
Trockensubstanz-	57 ^a	26 ^c	42 ^b	54 ^a	56 ^a
Aufnahme (g/d)	± 1	± 1	± 1	± 1	± 2
N-Aufnahme	3682 ^a	2899 ^c	3216 ^b	3613 ^a	3677 ^a
(mg/LM _{kg} ^{0.67} /d)	± 32	± 72	± 39	± 38	± 80
N-Ansatz	1896 ^{bc}	1164 ^d	1668 ^c	1961 ^{ab}	1954 ^a
(mg/LM _{kg} ^{0.67} /d)	± 8	± 24	± 14	± 24	± 15
Tägliche Zunahme	53 ^a	22 ^c	40 ^b	50 ^a	51 ^a
(g)	± 1	± 1	± 1	± 2	± 1
Futtermittelverbrauch	1,1 ^b	1,4 ^a	1,1 ^b	1,1 ^b	1,1 ^b
(g/g)	± 0,01	± 0,03	± 0,01	± 0,01	± 0,01
Growerperiode (21.-35. Lebenstag)					
Mischung	BK (n=9)	LYS (n=9)	LEU (n=10)	ILE* (n=10)	VAL* (n=10)
Anfangs-	686 ^a	690 ^a	681 ^a	692 ^a	681 ^a
Lebendmasse (g)	± 24	± 17	± 21	± 10	± 23
End-	2067 ^a	1732 ^b	1658 ^b	2043 ^a	2044 ^a
Lebendmasse (g)	± 46	± 42	± 46	± 43	± 46
Trockensubstanz-	119 ^{ab}	107 ^b	93 ^c	121 ^a	120 ^a
Aufnahme (g/d)	± 3	± 3	± 2	± 3	± 4
N-Aufnahme	3488 ^{ab}	3361 ^b	3020 ^c	3555 ^a	3541 ^a
(mg/LM _{kg} ^{0.67} /d)	± 50	± 64	± 32	± 39	± 53
N-Ansatz	2041 ^a	1736 ^b	1835 ^b	2127 ^a	2052 ^a
(mg/LM _{kg} ^{0.67} /d)	± 25	± 42	± 29	± 34	± 25
Tägliche Zunahme	99 ^a	74 ^b	70 ^b	96 ^a	97 ^a
(g)	± 2	± 2	± 2	± 3	± 2
Futtermittelverbrauch	1,3 ^c	1,6 ^a	1,5 ^a	1,4 ^b	1,4 ^b
(g/g)	± 0,01	± 0,04	± 0,02	± 0,01	± 0,02

BK = AA-balancierte Kontrollmischung; **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%);
LEU = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%); **VAL*** = BK
abgesenkt in Val (80%)

Wie bereits im Bilanzversuch zu beobachten war, wirkten sich während der Starterperiode eine Lys- und Leu-Limitierung mindernd auf die Futter- und damit auf die N-Aufnahme aus. Im Gegensatz hierzu wurde dieser Effekt in der Growerperiode nur durch die Leu-abgesenkte Diät herbeigeführt. Die Wachstumsretardierung der Tiere, die die Lys- und Leu-abgesenkten Diäten in der Starterperiode erhielten, wird weiterhin deutlich, wenn die zootecnischen Parameter betrachtet werden: Die tägliche Zunahme (g/d) war im Gegensatz zu den anderen Futtermischungen signifikant verringert, während der Futteraufwand erhöht war. In der Growerperiode war dieser Effekt dann lediglich für die Leu-Mischung gegeben. Abweichend vom Bilanzversuch sind die Diäten ILE* (Ile 80% von BK statt 67%) und VAL* (Val 80% von BK statt 64%) nicht so stark abgesenkt worden. In den aufgeführten Mastleistungsparametern N-Aufnahme, Anfangs-LM, tägliche Zunahme, Futteraufwand und im N-Ansatz (berechnet aus den Ergebnissen der Körperanalysen) konnte *kein* signifikanter Unterschied im Vergleich zur AA-balancierten Kontrollmischung BK festgestellt werden. Während der Starterperiode setzten Tiere der Val-abgesenkten Diät (VAL*) sogar signifikant mehr N an als Tiere der Kontrollmischung (Abb. 16) und wiesen eine vergleichbare LM auf.

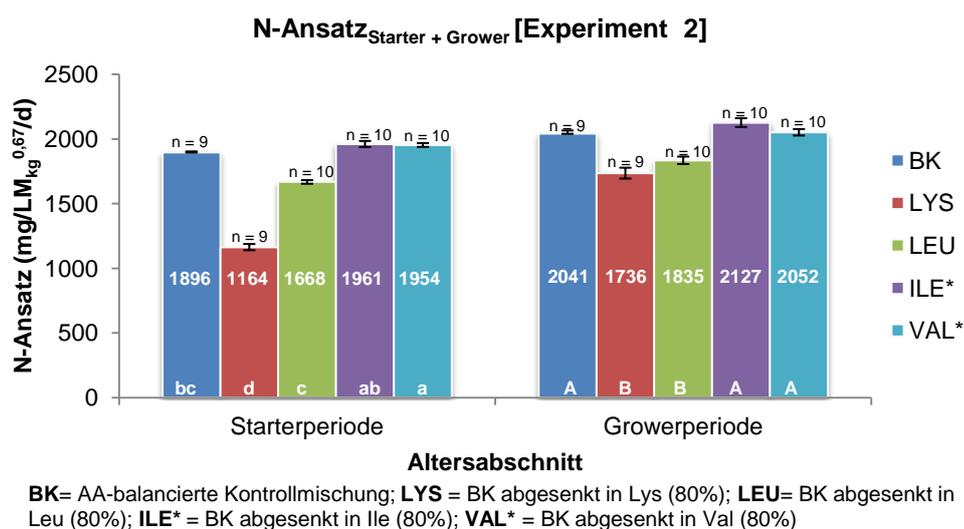


Abbildung 16: N-Ansatz während der Starter- und Growerperiode (1.-21. bzw. 21.-35. Lebensstag). a-e geben signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsmischungen in der Starterperiode wieder; A-B signifikante Unterschiede in der Growerperiode.

Auffallend ist, dass mit den Diäten, die in sowohl im Bilanz- als auch im Wachstumsversuch Verwendung fanden (BK, LYS und LEU), selbst bei Bezug auf die metabolische LM, unterschiedliche N-Ansatzdaten realisiert wurden. Dabei wurde ersichtlich, dass aus den Bilanzversuchen abgeleiteten Daten deutlich höher waren. Diese wiederholte Beobachtung bedarf weiterer Beachtung und Klärung.

Basierend auf den N-Ansatz-Daten und Anwendung der Modellparameter ND_{maxT} und NMR ergab sich folgende Proteinqualität (Abb. 17): Lediglich die Lys-limitierte Diät (LYS) wies in beiden Altersabschnitten eine signifikant schlechtere Proteinqualität im Vergleich zur AA-balancierten Kontrollmischung BK auf. In der Starterperiode war der *b*-Wert der BK sogar signifikant geringer als der *b*-Wert der Val- und Ile-abgesenkten Diäten und auch in der Growerperiode gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Behandlungen BK, ILE* und VAL*.

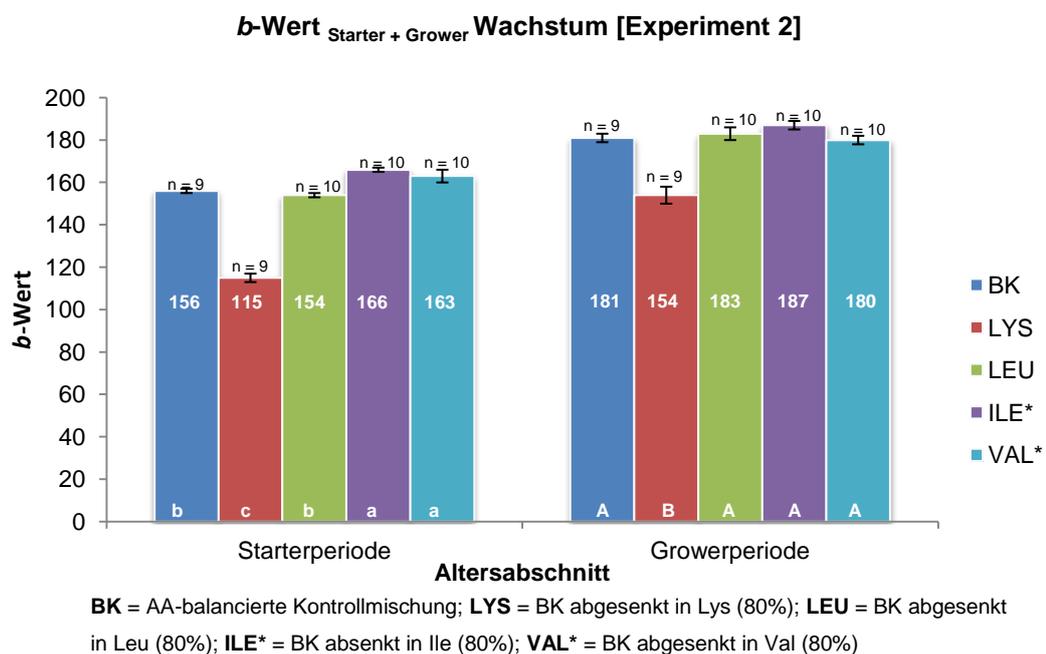


Abbildung 17: Proteinqualität der Versuchsdiäten im Wachstumsversuch im Experiment 2. a-b kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen in der Starterphase, A-B in der Growerperiode.

5.2.3 Bestimmung des optimalen Zeitpunktes für die Blutabnahme zur Bestimmung des Gehalts an verzweigtkettigen α -Ketosäuren im Blutplasma

Abbildung 18 stellt den Zeitverlauf der verzweigtkettigen α -Ketosäuren im Blutplasma in Abhängigkeit von der Nüchterungsdauer dar. Für die verzweigtkettigen α -Ketosäuren KIC (Leu) und KIV (Val) konnte eine signifikante Abnahme im Blutplasma zwischen einer und drei Stunden Fasten beobachtet werden. Im Zeitraum zwischen drei und elf Stunden konnte für keine der drei α -Ketosäuren ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Ein signifikanter Anstieg im KIC- und KMV-Gehalt im Blutplasma ergab sich nach einer Nüchterungszeit von 12h im Vergleich zu einem Zeitraum von drei Stunden. Dieser signifikante Unterschied blieb für KIC auch nach 24h Nüchterungszeit bestehen. Somit konnte abgeleitet werden, dass der Gehalt der verzweigtkettigen α -Ketosäuren drei bis elf Stunden nach Futteraufnahme und anschließendem Fasten am stabilsten war. Als mittlerer Termin von 7h wurde dieser als optimaler Zeitpunkt für eine Blutabnahme geschlussfolgert.

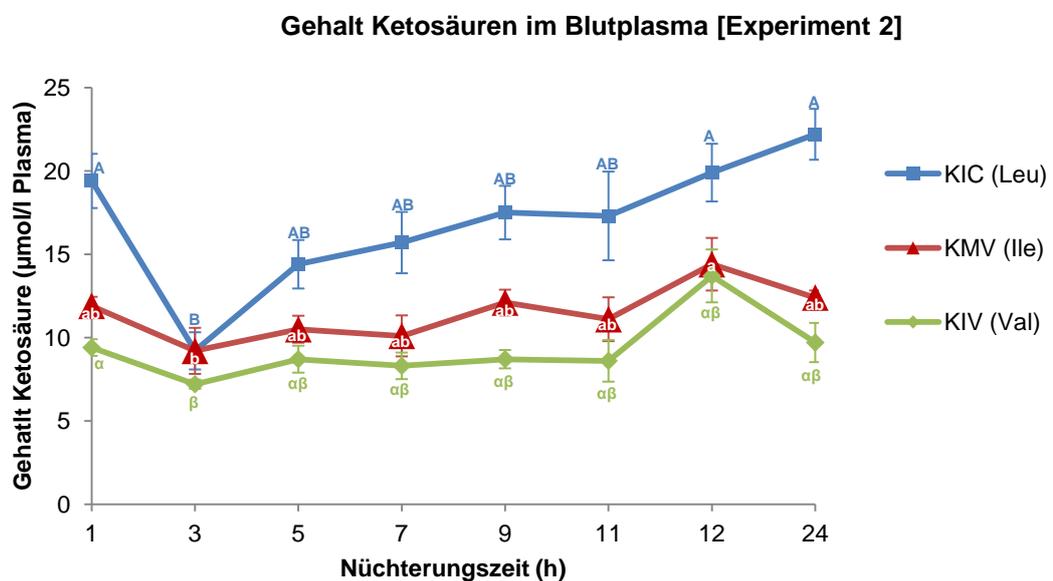


Abbildung 18: Zeitverlauf der verzweigtkettigen α -Ketosäuren im Blutplasma von Masthähnchen in Abhängigkeit der Nüchterungsdauer (h). A-B; a-b; α - β stellen signifikante Unterschiede im Zeitverlauf der einzelnen Ketosäuren KIC, KMV bzw. KIV dar.

5.3 Experiment 3 – Verifizierung des ermittelten idealen Verhältnisses zwischen den verzweigt-kettigen Aminosäuren und Lysin

5.3.1 Bilanzversuch

Tabelle 10 bietet einen Überblick über die im N-Bilanz-Versuch erhobenen Parameter während der Starter- und Growerperiode.

Tabelle 10: Ergebnisse des Bilanzversuchs in Experiment 3 für die Starter- und Growerperiode.

Starterperiode (10.-20. Lebenstag)						
Mischung	IAAR ¹ (n=12)	IAAR* (n=12)	XPR (n=12)	XPR _{BCAA} (n=11*)	XPR _{LEU1} (n=12)	XPR _{LEU*} (n=11*)
Mittlere Lebend- masse (g)	585 ^a ± 49	587 ^a ± 47	506 ^a ± 43	509 ^a ± 46	546 ^a ± 47	467 ^a ± 39
Trockensubstanz- Aufnahme (g/d)	69 ^a ± 4	70 ^a ± 4	64 ^a ± 4	67 ^a ± 5	73 ^a ± 5	59 ^a ± 4
N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	3558 ^a ± 52	3643 ^a ± 63	2905 ^{bc} ± 56	3090 ^b ± 32	3135 ^b ± 59	2869 ^c ± 44
N-Exkretion (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1115 ^a ± 46	1227 ^a ± 57	814 ^b ± 29	942 ^b ± 33	924 ^b ± 26	859 ^b ± 46
N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	2443 ^a ± 29	2416 ^{ab} ± 87	2091 ^c ± 33	2148 ^{bc} ± 25	2211 ^{bc} ± 56	2010 ^c ± 45
Growerperiode (25.-35. Lebenstag)						
Mischung	IAAR ¹ (n=12)	IAAR* (n=12)	XPR (n=12)	XPR _{BCAA} (n=12)	XPR _{LEU1} (n=12)	XPR _{LEU*} (n=12)
Mittlere Lebend- masse (g)	1556 ^a ± 85	1486 ^a ± 81	1336 ^a ± 69	1431 ^a ± 83	1324 ^a ± 58	1390 ^a ± 72
Trockensubstanz- Aufnahme (g/d)	140 ^a ± 4	128 ^{ab} ± 6	114 ^b ± 6	137 ^{ab} ± 7	123 ^{ab} ± 7	134 ^{ab} ± 7
N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	3680 ^a ± 60	3460 ^{ab} ± 108	2606 ^d ± 84	3011 ^{cd} ± 74	2832 ^{cd} ± 149	3044 ^{bc} ± 133
N-Exkretion (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1274 ^a ± 78	1128 ^{ab} ± 57	823 ^b ± 29	950 ^{ab} ± 66	1003 ^{ab} ± 99	1088 ^{ab} ± 108
N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	2406 ^a ± 76	2332 ^{ab} ± 80	1783 ^c ± 95	2061 ^{bc} ± 220	1829 ^c ± 183	1956 ^c ± 181

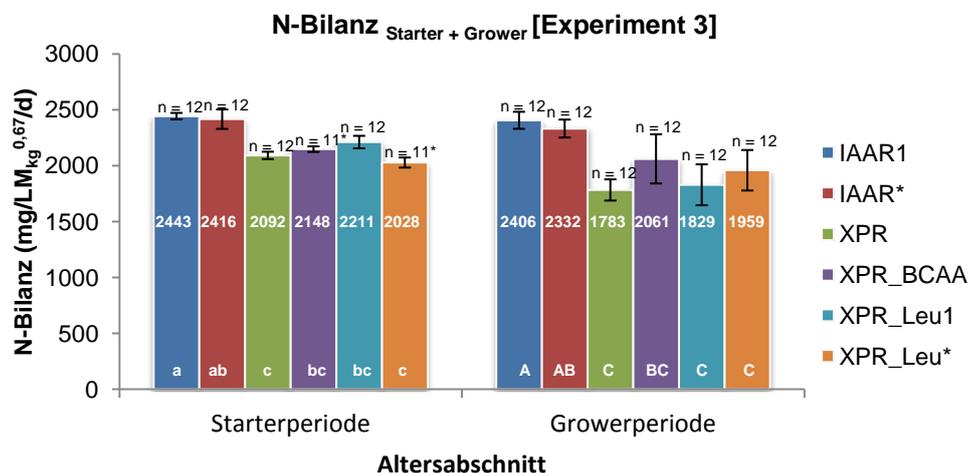
IAAR¹ = IAAR_{Exp.3}; IAAR* = IAAR_{Referenz}; XPR = wie IAAR¹, aber -XP(20%); XPR_{BCAA} = wie XPR, aber +BCAA wie in IAAR¹; XPR_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹; XPR_{Leu*} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*.

* 1 Ausreißer

Erwartungsgemäß nahmen die Tiere der Diäten IAAR¹ und IAAR* in beiden Altersabschnitten signifikant mehr N auf als Tiere der XP-reduzierten Diäten. Kongruent dazu waren für die Tiere der Diäten IAAR¹ und IAAR* auch die höchsten N-Exkretionen zu beobachten, die sich allerdings in der Growerperiode mit Ausnahme von XPR statistisch nicht mehr absichern ließen ($p > 0,05$).

Aus den in Tabelle 10 dargestellten Daten ergaben sich folgende N-Bilanzen und *b*-Werte für die Starter- und Growerperiode (Abb. 19 und 20): In der Starterperiode wiesen die Tiere, die die Versuchsmischungen mit adäquatem XP-Gehalt erhielten (IAAR¹ und IAAR*), die signifikant höchsten N-Bilanz auf. Dabei zeigten die Masthähnchen, die das abgesenkte IAAR_{BCAA} verabreicht bekamen (IAAR¹), leicht höhere Leistungen.

Zwischen Tieren der Behandlungen XPR, XPR_{BCAA}, XPR_{Leu1} und XPR_{Leu*} gab es keine signifikanten Unterschiede im Hinblick auf die N-Bilanz. Zwischen den Leistung der Tiere der Diäten XPR_{BCAA} und XPR_{Leu1} und den Masthähnchen, die die Versuchsmischung IAAR* (Referenz IAAR_{BCAA}) erhielten, wurde *kein* signifikanter Unterschied in der Starterperiode festgestellt.



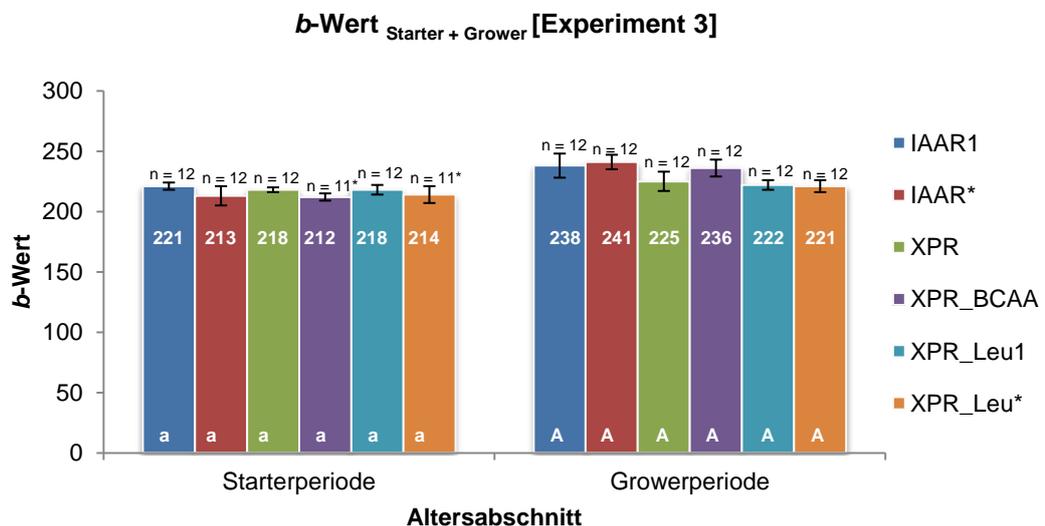
IAAR¹ = IAAR_{Exp.3}; **IAAR*** = IAAR_{Referenz}; **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP(20%); **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber +BCAA wie in IAAR¹; **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹; **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*.

* 1 Ausreißer

Abbildung 19: N-Bilanz der Starter- und Growerperiode in Experiment 3. a-b und A-C kennzeichnen signifikante Unterschiede in der Starter- bzw. Growerperiode.

Der Verlauf der Leistungsdaten in der Growerperiode verlief nahezu kongruent zur Starterperiode: Zwischen den Diäten mit einem normal hohen Prote-

ingehalt (IAAR¹ und IAAR*) wurde kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf den Parameter N-Bilanz festgestellt. Wieder zeigte sich ein leichter positiver Trend für die Diät, die nach dem niedrigeren IAAR_{BCAA} gestaltet wurde. Ebenfalls kein signifikanter Unterschied ergab sich für die Diät IAAR* (Referenz-IAAR_{BCAA}) und Versuchsmischung XPR_{BCAA}. Die signifikant niedrigsten Leistungen wurden für die Diäten XPR (Minus XP), XPR_{Leu1} (Minus XP plus Leu nach aktuellem IAAR_{BCAA}) und XPR_{Leu*} (Minus XP plus Leu nach Referenz IAAR_{BCAA}) ermittelt. Dabei ist auffällig, dass der vorteilhafte Effekt einer Leu-Supplementierung nach aktuellem IAAR_{BCAA} (XPR_{Leu1}) in der Growerperiode im Gegensatz zur Starterperiode zu keinem positiven Effekt führte.



IAAR¹ = IAAR_{Exp.3}; IAAR* = IAAR_{Referenz}; XPR = wie IAAR¹, aber -XP(20%); XPR_{BCAA} = wie XPR, aber +BCAA wie in IAAR¹; XPR_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹; XPR_{Leu*} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*.

*1 Ausreißer

Abbildung 20: b-Werte der Starter- und Growerperiode in Experiment 3 im Bilanzversuch. In beiden Altersabschnitten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

In der Proteinqualität waren für die Starter- und Growerperiode *keine* signifikanten Unterschiede zwischen allen Behandlungen festzustellen. Somit hatte weder eine Absenkung des Proteingehalts noch eine unterschiedlich hohe BCAA-Supplementation Auswirkungen auf die Proteinqualität.

5.3.2 Wachstumsversuch

Hinsichtlich der täglichen TS-Aufnahme gab es in der Starterperiode keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Behandlungen (Tab. 11).

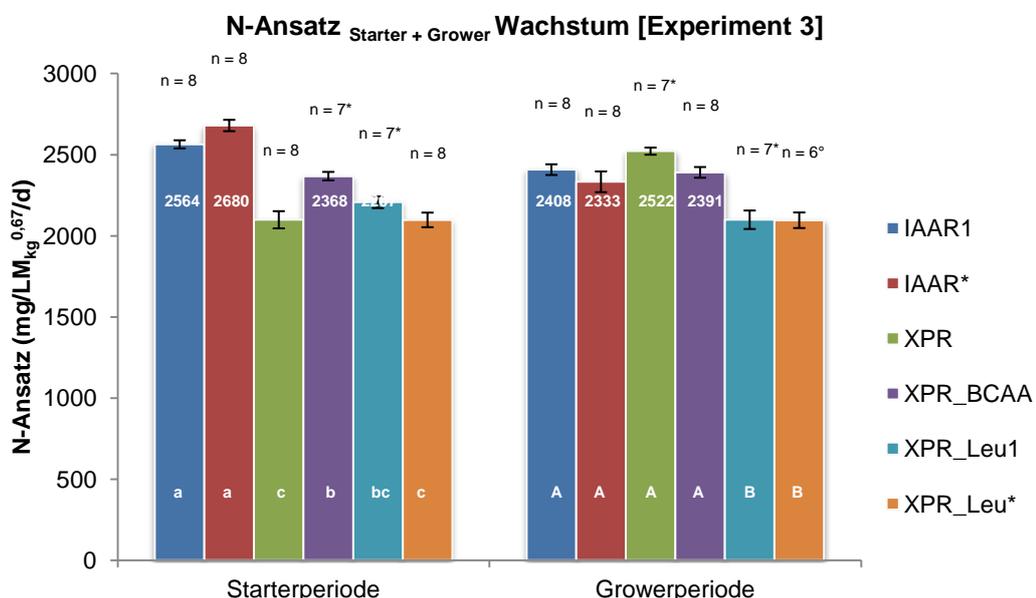
Tabelle 11: Parameter des Wachstumsversuchs in Experiment 3.

Starterperiode (10.-20. Lebenstag)						
Mischung	IAAR ¹ (n = 8)	IAAR* (n=8)	XPR (n=8)	XPR _{BCAA} (n=7*)	XPR _{Leu1} (n=7*)	XPR _{Leu*} (n=8)
Anfangs- Lebend- masse (g)	319 ^a ± 2	314 ^a ± 2	267 ^{bc} ± 6	288 ^b ± 3	284 ^b ± 4	257 ^c ± 5
End- Lebendmasse (g)	1034 ^a ± 12	1038 ^a ± 18	806 ^c ± 31	929 ^b ± 10	891 ^c ± 20	810 ^c ± 22
Trockensubstanz- Aufnahme (g/d)	79 ^a ± 1	80 ^a ± 2	68 ^a ± 3	78 ^a ± 1	76 ^a ± 2	74 ^a ± 3
N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	3957 ^a ± 23	3989 ^a ± 54	3190 ^b ± 99	3416 ^b ± 45	3393 ^b ± 60	3496 ^b ± 85
N-Ansatz (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	2564 ^a ± 25	2680 ^a ± 35	2099 ^c ± 53	2368 ^b ± 26	2207 ^{bc} ± 36	2098 ^c ± 45
Tägliche Zunahme (g/d)	71 ^a ± 1	72 ^a ± 2	54 ^c ± 3	64 ^b ± 1	61 ^{bc} ± 2	55 ^c ± 2
Futterm Aufwand (g/g)	1,2 ^c ± 0,01	1,2 ^c ± 0,01	1,4 ^{ab} ± 0,04	1,3 ^b ± 0,04	1,3 ^{ab} ± 0,06	1,4 ^a ± 0,03
Growerperiode (25.-35. Lebenstag)						
Mischung	IAAR ¹ (n = 8)	IAAR* (n=8)	XPR (n=7*)	XPR _{BCAA} (n=8)	XPR _{Leu1} (n=7*)	XPR _{Leu*} (n=6°)
Anfangs- Lebend- masse (g)	1249 ^a ± 19	1249 ^a ± 12	1223 ^a ± 10	1215 ^a ± 7	1212 ^a ± 14	1206 ^a ± 13
End- Lebendmasse (g)	2451 ^a ± 41	2442 ^a ± 45	2345 ^{ab} ± 20	2314 ^{ab} ± 26	2256 ^b ± 47	2260 ^b ± 46
Trockensubstanz- Aufnahme (g/d)	174 ^a ± 3	167 ^a ± 4	176 ^a ± 2	183 ^a ± 3	177 ^a ± 8	182 ^a ± 5
N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	4027 ^a ± 42	3874 ^a ± 64	3319 ^b ± 32	3478 ^b ± 49	3407 ^b ± 124	3499 ^b ± 80
N-Ansatz (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	2408 ^a ± 33	2333 ^a ± 64	2522 ^a ± 22	2391 ^a ± 33	2099 ^b ± 57	2096 ^b ± 48
Tägliche Zunahme (g/d)	120 ^a ± 3	119 ^a ± 4	112 ^{ab} ± 1	110 ^{ab} ± 2	104 ^b ± 4	105 ^b ± 4
Futterm Aufwand (g/g)	1,6 ^c ± 0,03	1,5 ^c ± 0,03	1,7 ^b ± 0,01	1,8 ^{ab} ± 0,03	1,8 ^a ± 0,02	1,9 ^a ± 0,05

IAAR¹ = IAAR_{Exp.3}; IAAR* = IAAR_{Referenz}; XPR = wie IAAR¹, aber -XP(20%); XPR_{BCAA} = wie XPR, aber +BCAA wie in IAAR¹; XPR_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹; XPR_{Leu*} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*.

* 1 Ausreißer, ° 2 Ausreißer

Aufgrund der Rationsgestaltung nahmen Tiere der Diäten IAAR¹ und IAAR* (IAAR_{BCAA} aus Experiment 3 bzw. Referenz IAAR_{BCAA}) signifikant mehr N auf als Tiere der anderen Versuchsmischungen (XP-reduziert). Dies spiegelte sich in der Starterperiode auch in der End-LM wider: Tiere, die die Mischungen IAAR¹ und IAAR* erhielten, wiesen die signifikant höchste End-LM auf. Die End-LM von Masthähnchen, denen XP-reduziertes Futter verabreicht wurde, welches mit allen BCAA supplementiert wurde (XPR_{BCAA}), war signifikant höher als von Tieren des XP-reduzierten Futters (XPR), oder wenn dieses mit Leu supplementiert wurde (XPR_{Leu1} und XPR_{Leu*}). In der Growerperiode konnte zwischen Tieren der Versuchsmischungen IAAR¹, IAAR*, XPR, XPR_{BCAA} einerseits und XPR, XPR_{BCAA}, XPR_{Leu1} und XPR_{Leu*} kein signifikanter Unterschied beobachtet werden. Die Entwicklung der End-LM ist auch im N-Ansatz wiederzuerkennen: Tiere der untersuchten Diäten IAAR¹ und IAAR* zeigten in der Starterperiode die signifikant höchsten N-Ansätze (Abb. 21), gefolgt von Tieren der Diäten XPR_{BCAA}, welche sich wiederum signifikant von Tieren der Versuchsmischungen XPR und XPR_{Leu*} unterschieden.



IAAR¹ = IAAR_{Exp.3}; IAAR* = IAAR_{Referenz}; XPR = wie IAAR¹, aber -XP(20%); XPR_{BCAA} = wie XPR, aber +BCAA wie in IAAR¹; XPR_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹; XPR_{Leu*} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*.

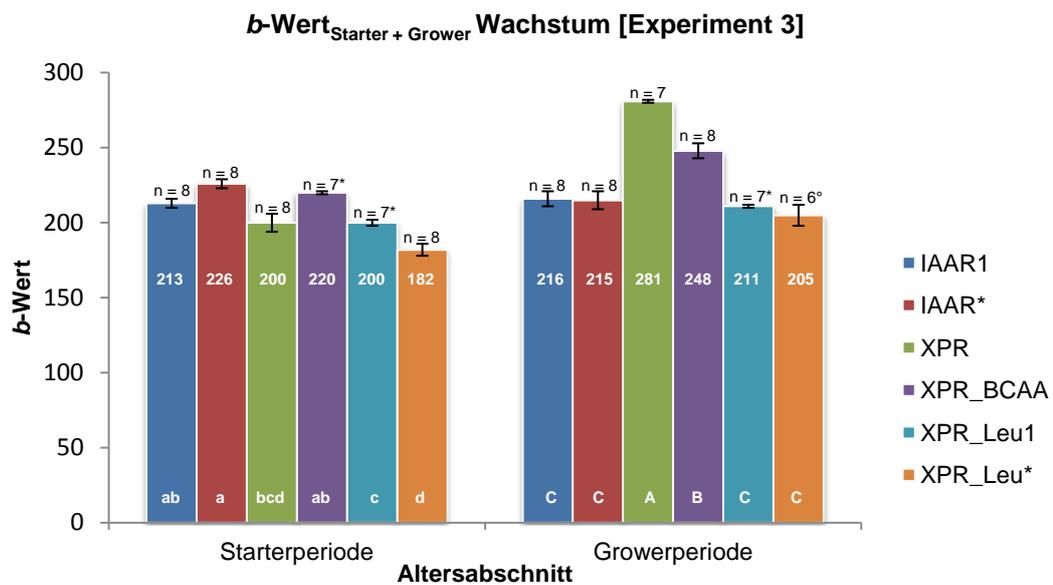
* 1 Ausreißer, ° 2 Ausreißer

Abbildung 21: N-Ansatz im Wachstumsversuch in Experiment 3. a-d und A-B kennzeichnen signifikante Unterschiede in Starter- bzw. Growerperiode.

Zwischen Tieren der Versuchsmischungen XPR_{BCAA} und XPR_{Leu^*} wurde kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf den N-Ansatz festgestellt. In der Growerperiode erzielten Tiere der Futtermischungen $IAAR^1$, $IAAR^*$, XPR , und XPR_{BCAA} signifikant höhere N-Ansätze als Masthähnchen, die die Leu-supplementierten Futtermischungen erhielten (XPR_{Leu1} und XPR_{Leu^*}). Folglich führte auch im Wachstumsversuch, v.a. in der Starterperiode, eine Supplementation aller BCAA zu signifikant höheren Tierleistungen als gar keine Supplementation bzw. mit Leu allein. Die zootechnischen Ergebnisse unterstützten die bereits beschriebenen Ergebnisse: für Hähnchen der Diäten $IAAR^1$ und $IAAR^*$ konnten die signifikant höchsten täglichen Zunahmen und die signifikant niedrigsten Futteraufwandsdaten beobachtet werden. Tiere der XP-reduzierten Diäten rangierten sich dahinter.

Abgeleitet aus den N-Ansatz Daten ergaben sich folgende Proteinqualitäten (Abb. 22): Während der Startperiode wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Diäten mit adäquatem Proteingehalt ($IAAR^1$ und $IAAR^*$) und der Ration XPR_{BCAA} (-XP + BCAA) festgestellt. Die Proteinqualität der Versuchsmischung XPR (-XP) war im Vergleich zu $IAAR^*$ signifikant vermindert, zu $IAAR^1$ war kein signifikanter Unterschied zu ermitteln. Die Rationen $IAAR_{Leu1}$ (-XP + Leu nach $IAAR^1$) und XPR_{Leu^*} (-XP + Leu nach $IAAR^*$) unterschieden sich signifikant voneinander, wobei XPR_{Leu^*} den niedrigsten *b*-Wert aufwies. Das Merkmal der Proteinqualität unterstützte die Vermutung, die bereits für den Parameter N-Ansatz im Tierkörper gezogen wurde: eine Supplementation aller BCAA zu einer im XP-Gehalt reduzierten Versuchsmischung (XPR_{BCAA}) wirkte sich positiver auf die Leistung und auf die Proteinqualität aus als eine im XP-Gehalt reduzierte Diät (XPR) bzw. eine Supplementierung dieser mit Leu (XPR_{Leu1} und XPR_{Leu^*}). Die Überlegenheit der Rationen $IAAR^1$ und $IAAR^*$ konnte in der Growerperiode nicht bestätigt werden: Sie wiesen die signifikant *niedrigsten* *b*-Werte auf (216 bzw. 215). Überraschenderweise zeigte die XP-abgesenkte Versuchsmischung XPR die signi-

fikante *höchste* Proteinqualität (281).



IAAR¹ = IAAR_{Exp.3}; **IAAR*** = IAAR_{Referenz}; **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP(20%); **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber +BCAA wie in IAAR¹; **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹; **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*.

*1 Ausreißer, °2 Ausreißer

Abbildung 22: Proteinqualität (b -Wert) im Wachstumsversuch des Experiments 3. a-d stellen signifikante Unterschiede in der Starterperiode, A-D in der Growerperiode dar.

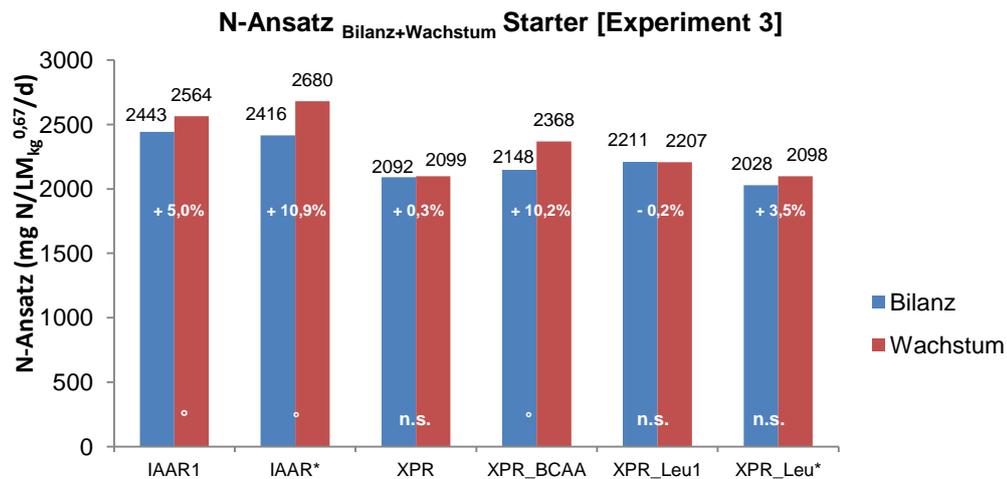
In der Growerperiode führte eine Supplementation der Diät XPR mit allen BCAA (XPR_{BCAA}) bzw. mit Leu nach Höhe der Referenzwerte (XPR_{Leu*}) im Vergleich zu XPR zu signifikant niedrigeren b -Werten. Es ließ sich jedoch wieder erkennen, dass eine Supplementation aller BCAA zu einer signifikant verbesserten Proteinqualität führte im Gegensatz zu einer Supplementation mit Leu allein. Kein signifikanter Unterschied konnte zwischen den Diäten Leu-supplementierten Futtermischungen XPR_{Leu1} und XPR_{Leu*} und den Mischungen IAAR¹ und IAAR* festgestellt werden. Somit führte die hohe Proteinqualität der im XP-Gehalt reduzierten Ration XPR trotz einer signifikant geringeren N-Aufnahme (Tab. 11) dieser Tiere zu einem vergleichbaren N-Ansatz im Tierkörper (Abb. 21) im Gegensatz zu Tieren, die die Versuchsmischungen IAAR¹ und IAAR* mit einem höheren N-Gehalt erhielten.

Die Rangierung der Leistungen im Hinblick auf die N-Bilanz bzw. den N-Ansatz innerhalb eines Altersabschnittes wich zwischen Bilanz- und Wachstumsversuch teilweise voneinander ab: beiden Ansätzen war gemeinsam,

dass während der Starterperiode Tiere der Diäten IAAR¹ und IAAR* (Referenz-IAAR_{BCAA}) die signifikant *höchsten* Leistungen erbrachten und Tiere der Diäten XPR (-XP) und XPR_{Leu*} (-XP + Leu nach IAAR*) die *niedrigsten*. Während der Growerperiode ergab sich jedoch ein abweichendes Bild: im Bilanzversuch wiesen Tiere der Diäten IAAR¹ und IAAR* die signifikant höchsten N-Bilanzen auf und Tiere der Diäten XPR (-XP), XPR_{Leu1} und XPR_{Leu*} (-XP + Leu) die signifikant niedrigsten. Eine Supplementation aller BCAA (XPR_{BCAA}) führte zu einer signifikanten Leistungssteigerung, die jedoch nicht an die Leistung der Tiere der Futtermischungen IAAR¹ und IAAR* heranreichte. Im Wachstumsversuch waren jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Diäten IAAR¹, IAAR*, XPR und XPR_{BCAA} zu erkennen. Tiere der Diät XPR (-XP), die im Bilanzversuch die *niedrigste* N-Bilanz aufwiesen, zeigten nun den *höchsten* N-Ansatz. Insgesamt waren die N-Ansätze der Tiere im Wachstumsversuch höher als die von Tieren im Bilanzversuch (Abb. 23 und 25). Ausgehend von den N-Bilanz bzw. N-Ansatz-Daten war es somit nicht verwunderlich, dass sich auch für die Proteinqualität Unterschiede zwischen Bilanz- und Wachstumsversuch ergaben:

Die im XP-Gehalt abgesenkten Futtermischung (XPR) bzw. eine Supplementation dieser mit Leu (XPR_{Leu1} und XPR_{Leu*}) führte im Wachstumsversuch während der Starterperiode zu signifikant geringeren Proteinqualitäten im Vergleich zu den Kontrolldiäten IAAR¹ und IAAR*. Dieser Unterschied konnte im Bilanzversuch nicht beobachtet werden. Hier gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungen. Ein überraschendes Bild ergab sich auch für den Modellparameter *b* während der Growerperiode: während im Bilanzversuch kein signifikanter Unterschied zwischen allen Versuchsmischungen erkannt werden konnte, waren im Wachstumsversuch deutliche Unterschiede zu erkennen. Im Bilanzversuch lag die im XP-Gehalt reduzierte Diät XPR *unterhalb* der Kontrolldiäten IAAR¹ und IAAR*, auch wenn der Unterschied nicht signifikant war. Im Wachstumsversuch jedoch wies Diät XPR die signifikant *höchste* Proteinqualität aus (+24,9% im Vergleich zum Bilanzversuch, s. Abb.26). Eine vergleichende Darstellung der beobachteten *b*-Werte und N-Ansätze im Bilanz- bzw. Wachstumsversuch für

die Starter- bzw. Growerperiode ist den Abbildungen 23-26 zu entnehmen.

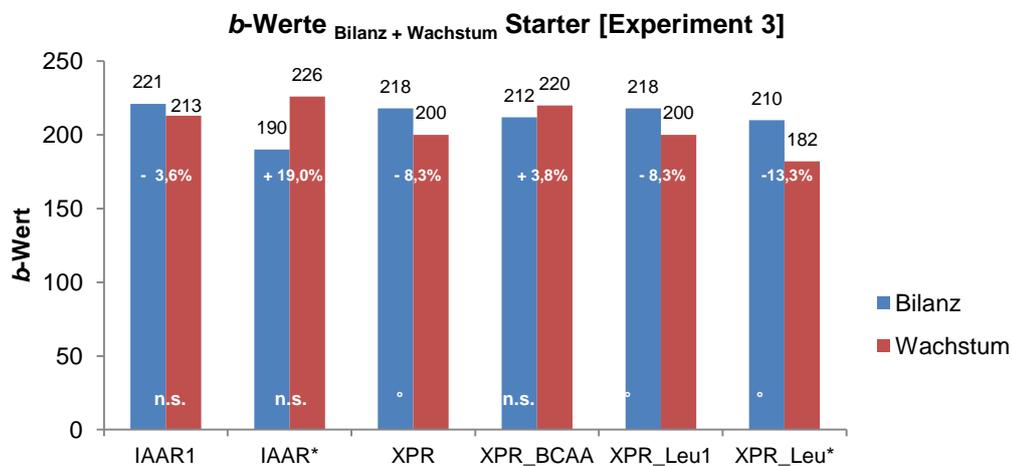


IAAR¹ = IAAR_{Exp.3}; IAAR* = IAAR_{Referenz}; XPR = wie IAAR¹, aber -XP(20%); XPR_{BCAA} = wie XPR, aber +BCAA wie in IAAR¹; XPR_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹; XPR_{Leu*} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*.

n.s. = nicht signifikant

° signifikanter Unterschied zwischen Bilanz und Wachstum innerhalb einer Versuchsmischung

Abbildung 23: Vergleichende Darstellung des N-Ansatzes (mg N/LM_{kg}^{0,67}/d) im Bilanz- bzw. Wachstumsversuch während der Starterperiode unter Angabe der prozentualen Zu- bzw. Abnahme zwischen Bilanz- und Wachstumsversuch.



IAAR¹ = IAAR_{Exp.3}; IAAR* = IAAR_{Referenz}; XPR = wie IAAR¹, aber -XP(20%); XPR_{BCAA} = wie XPR, aber +BCAA wie in IAAR¹; XPR_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹; XPR_{Leu*} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*.

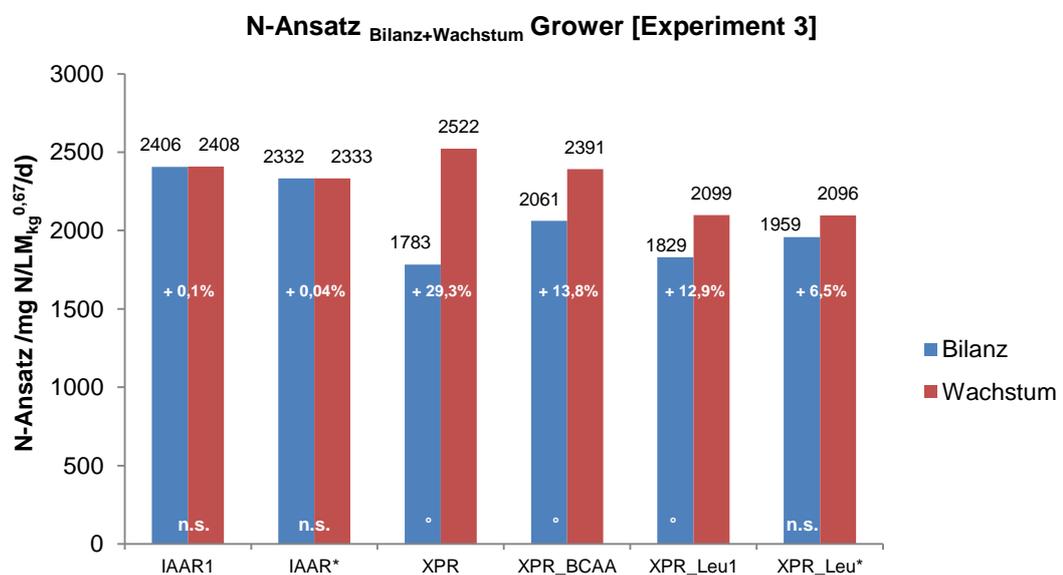
n.s. = nicht signifikant

° signifikanter Unterschied zwischen Bilanz und Wachstum innerhalb einer Versuchsmischung

Abbildung 24: Vergleichende Darstellung der Proteinqualität (b-Wert) im Bilanz- bzw. Wachstumsversuch während der Starterperiode unter Angabe der prozentualen Zu-/Abnahme zwischen Bilanz- und Wachstumsversuch.

In der Starterperiode war für die Kennzahl N-Ansatz *kein* Unterschied zwischen den Methoden N-Bilanz- und Wachstumsversuch zu beobachten (XPR, XPR_{Leu1} und XPR_{Leu*}). Da der N-Ansatz jedoch von der NI abhängt, ist

die Betrachtung der Proteinqualität (b -Wert, unabhängig von NI) eindeutiger. Der b -Wert der genannten Versuchsmischungen wies wiederum signifikante Unterschiede zwischen den Methoden für die genannten Futtermischungen auf. Für die Mischungen IAAR¹, IAAR* und XPR_{BCAA} galt die gegensätzliche Beobachtung: gab es signifikante Unterschiede zwischen den Methoden für den Parameter N-Ansatz, waren diese für die Proteinqualität nicht mehr gegeben. In der Growerperiode waren zwischen den Methoden *keine* signifikanten Unterschiede für die Kennzahlen N-Ansatz und b -Wert für die Versuchsmischungen IAAR¹ und XPR_{Leu}* festzustellen.



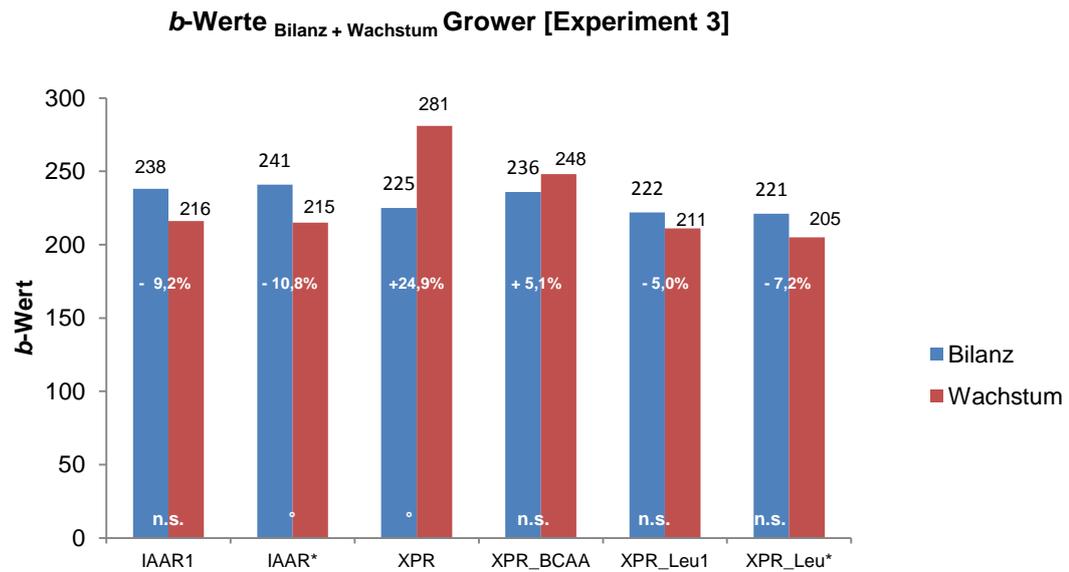
IAAR¹ = IAAR_{Exp.3}; IAAR* = IAAR_{Referenz}; XPR = wie IAAR¹, aber -XP(20%); XPR_{BCAA} = wie XPR, aber +BCAA wie in IAAR¹; XPR_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹; XPR_{Leu}* = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*.

n.s. = nicht signifikant

° signifikanter Unterschied zwischen Bilanz und Wachstum innerhalb einer Versuchsmischung

Abbildung 25: Vergleichende Darstellung des N-Ansatzes (mg N/LM_{kg}^{0,67}/d) im Bilanz- bzw. Wachstumsversuch während der Growerperiode unter Angabe der prozentualen Zu- bzw. Abnahme zwischen Bilanz- und Wachstumsversuch.

Für die Tiere, die die Protein-abgesenkte Futtermischung (XPR) verabreicht bekamen, wurden signifikante Methodenunterschiede für den N-Ansatz und die Proteinqualität beobachtet. Wie in der Starterperiode führten nicht signifikante Methodenunterschiede im N-Ansatz zu signifikant unterschiedlichen Proteinqualitäten (IAAR*).



IAAR¹ = IAAR_{Exp.3}; **IAAR*** = IAAR_{Referenz}; **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP(20%); **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber +BCAA wie in IAAR¹; **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹; **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*.

n.s. = nicht signifikant

° signifikanter Unterschied zwischen Bilanz und Wachstum innerhalb einer Versuchsmischung

Abbildung 26: Vergleichende Darstellung der Proteinqualität (b-Wert) im Bilanz- bzw. Wachstumsversuch während der Growerperiode unter Angabe der prozentualen Zu-/Abnahme zwischen Bilanz- und Wachstumsversuch.

5.3.3 Gehalte an verzweigt-kettigen α -Ketosäuren und unentbehrlicher Aminosäuren im Blutplasma (Experiment 3)

Die Gehalte der verzweigt-kettigen α -Keto- und unentbehrlichen AA im Blutplasma von Masthähnchen sind im Anhang (A-Tab. 85 und 86) dargestellt, werden jedoch nicht weiter diskutiert.

6 Diskussion

Die erzielten Ergebnisse zur Ableitung des $IAAR_{BCAA}$ sowie zum Lys-Bedarf werden in **Publikation II** bzw. **III** diskutiert. Im Folgenden wird der Schwerpunkt auf eine Betrachtung der angewandten Methoden gelegt, sowie auf eine tiefergehende Beurteilung der in Experiment 3 beobachteten Ergebnisse.

6.1 Bewertung des ermittelten idealen Verhältnisses zwischen den verzweigtkettigen Aminosäuren und Lysin (Experiment 3)

Wie Tabelle 9 zu entnehmen ist, wurden in Experiment 3 von Experiment 2 abweichende IAARs für Starter- und Growerperiode verwendet. Die Abweichungen für Ile und Val zwischen dem ermittelten IAAR sind jedoch gering. Größere Abweichungen waren für Leu zu beobachten. Somit wird im Folgenden nicht erläutert, ob das in Experiment 2 ermittelte IAAR ($IAAR^2$, Tab. 4) positive Effekte im Vergleich zum Referenz-IAAR ($IAAR^*$) erbrachte, sondern ob ein IAAR ($IAAR^1$), das deutlich niedriger ist als das in der Literatur angegebene, positiven Einfluss auf das Wachstum von Broilern nehmen kann.

6.1.1 Bilanzversuche

In der Literatur wird beschrieben, dass unter Beachtung des Idealprotein-Konzepts im Rohprotein abgesenkte Diäten verwendet werden können, ohne Leistungseinbußen zu beobachten (Mack *et al.*, 1999). Im Hinblick auf die mittlere LM gab es weder in der Starter- noch in der Growerperiode signifikante Unterschiede. Betrachtet man jedoch die N-Bilanz, so kann die in der Literatur getroffene Aussage nicht bestätigt werden. Masthähnchen, die die Protein-reduzierten Versuchsmischungen erhielten, wiesen in beiden Altersstufen die signifikant niedrigeren N-Bilanzen auf als Tiere der Mischung $IAAR^1$ (im Vergleich zum Referenz-IAAR abgesenkte BCAA:Lys-Relationen). Die niedrigsten N-Bilanzen waren für Tiere der Leu-supplementierten Diäten zu beobachten (XPR_{Leu1} und XPR_{Leu^*}). Vermutlich führte ein Leu-Exzess in den Futtermischungen dazu, dass antagonistische Wirkungen zwischen den BCAA zum Tragen kamen. Betrachtet man die BCAA-Relationen untereinander (Leu=100), wird ersichtlich, dass durch die Leu-Supplementation die Ile- und Val-Relationen deutlich abgesenkt wurden (Tab. 5).

Des Weiteren wurde in der Literatur beschrieben, dass bei Schweinen neben den Gehalten an Ile und Val auch die Lys- und Arg-Verfügbarkeit eingeschränkt sein kann, da diese denselben AA-Transporter $b^{0,+}$ benötigen (Moraes *et al.*, 2012). Somit kann es sein, dass die Proteinnutzungseffizienz bei Tieren der Diät XPR_{Leu^*} gesenkt wurde. Diese Aussage ließ sich jedoch nicht auf die Growerperiode übertragen. Hier zeigte sich genau das gegensätzliche Bild: Eine höhere Leu-Zulage (XPR_{Leu^*}) führte zu einer höheren N-Bilanz im Vergleich zu Tieren, die die niedrigere Leu-Supplementation erhielten (XPR_{Leu1}). Die Einzigartigkeit von Leu, die Proteinsynthese zu stimulieren, ist für diverse Tierarten beschrieben (Anthony *et al.*, 2000a,b; Lynch *et al.*, 2002a,b; Rieu *et al.*, 2003, Escobar *et al.*, 2006, 2007; Davis *et al.*, 2010; Torazza *et al.*, 2010; Yin *et al.*, 2010, Wilson *et al.*, 2011) (**Publikation I**). Doch auch Effekte einer Proteolyse-Hemmung sind für Leu beschrieben worden (Combaret *et al.*, 2005). Somit besteht die Möglichkeit, dass in der Growerperiode Leu die Proteinsynthese bei Tieren der Versuchsmischung XPR_{Leu1} stimuliert hat, jedoch nicht im Exzess vorlag, so dass keine Antagonismen ausgelöst worden sind.

Die Rangierung der N-Bilanz zwischen den einzelnen Behandlungen entspricht der Rangierung der Proteinqualität (*b*-Wert), auch wenn für letztere keine signifikanten Unterschiede in Starter- und Growerperiode beobachtet werden konnten. Gegebenenfalls war die gewählte Proteinabsenkung um 20% zu stark, so dass in allen XP-Gehalt reduzierten Versuchsmischungen nicht ausreichend N für einen N-Ansatz im Tierkörper zur Verfügung stand.

Es ist nicht auszuschließen, dass die Versorgung mit *entbehrlichen AA* (**NEAA**) nicht ausreichend war. In der vorliegenden Arbeit wurde L-Glutaminsäure (**Glu**) verwendet, um die Versuchsmischungen (IAAR¹ und IAAR* einerseits und die XPR-Mischungen andererseits) isonitrogen zu gestalten. Ein IAAR für die NEAA wurde jedoch aufgrund fehlender Informationen hierüber nicht angewandt. Dabei wurden positive Effekte einer Supplementation mit NEAA zu im Rohprotein-Gehalt abgesenkten Diäten im Hinblick auf Wachstum, Futteraufnahme und –verwertung beschrieben (Aletor *et al.*, 2000; Corzo *et al.*, 2005; Berres *et al.*, 2010; Ospina-Rojas, 2012). So können Glycin (**Gly**) und Serin (**Ser**) in Protein abgesenkten Diäten, die Mais-Soja basiert sind, limitierend wirken (Baker, 2009). Vor allem für eine

Supplementation mit Gly sind positive Effekte beschrieben. Dean *et al.* (2006) supplementierten im XP-Gehalt reduzierte Diäten (16,18; 17,68; 19,18, oder 20,68% XP) so mit einzelnen NEAA (Gly, Glu, Alanin (**Ala**), Asparaginsäure (**Asp**), Prolin (**Pro**)), dass der Gehalt dieser dem Gehalt an EAA in der Kontrollration entsprach (22,18% XP). Einzig durch die Supplementierung mit Gly konnten die Leistungen der Kontrollgruppe erreicht werden. Da Gly beim Geflügel als eine EAA zu betrachten ist, sollten 40% des Bedarfs über das Nahrungsprotein zugeführt werden (Graber und Baker, 1973). Dies liegt unter anderem darin begründet, dass Gly Vorläufer zahlreicher organischer Verbindungen ist, wie z.B. Purinen, Kreatin, Phospholipiden und beim Menschen unter Bedingungen einer erniedrigten Proteinaufnahme der Bedarf an Gly die *de novo* Synthese übersteigt (Gibson *et al.*, 2002). Des Weiteren liefert der Thr-Abbau Gly. Somit ist es denkbar, dass bei Protein reduzierten Futtermischungen Thr zur Gly-Synthese katabolisiert wird. In der Folge sinkt der Thr-Gehalt im Blutplasma, andere unentbehrliche AA (**EAA**) befinden sich nun im Exzess und müssen abgebaut werden. Die Energie, die hierfür aufgebracht werden muss, steht dem Tier nicht mehr für optimales Wachstum zur Verfügung (Neto, 2010). Desweiteren kostet die Synthese von Gly aus Thr zusätzliche Energie. Für ein Molekül Gly werden neun ATP-Moleküle benötigt. Würde ein höherer Anteil Gly über das Futter bereitgestellt, könnte diese Energie für optimales Wachstum oder eine andere Leistung genutzt werden. Legt man den von Rostagno *et al.* (2005) beschriebenen Gly-Bedarf von 2,027% bzw. 1,613% für die Starter- bzw. Growerperiode zu Grunde und vergleicht diese mit dem Gly-Gehalt in den Protein-reduzierten Diäten (0,624% bzw. 0,563%) wird ersichtlich, dass unter der o.g. Prämisse (Zufuhr von 40% des Gly-Bedarfs über das Nahrungsprotein), keine ausreichende Versorgung mit Gly gegeben war. Dies könnte ein Grund dafür sein, dass die XP-reduzierten Versuchsmischungen signifikant niedrigere N-Bilanzen erzielten.

Hiergegen spricht jedoch die gleichbleibende Proteinqualität zwischen allen Versuchsmischungen.

Es wird ersichtlich, dass zukünftige Untersuchungen die NEAA stärker in Betracht ziehen sollten und die Etablierung eines IAAR für die NEAA wünschenswert wäre. Rostagno *et al.* (2005) empfehlen ein IAAR für Gly+Ser:

Lys für die Starter- und Growerperiode von 150 bzw. 140, während andere Autoren ein Verhältnis von >147 bzw. 198 für die Starterphase postulieren (Ospina-Rojas *et al.*, 2012; Dean *et al.*, 2006). Die auf einer Metaanalyse basierenden Daten von Siegert *et al.* (2013) deuten ebenfalls darauf hin, dass ein Gly-Gehalt von 1,25% in der Mischung, wie es die offiziellen Versorgungsempfehlungen des NRC (1994) vorgeben, den Bedarf von Masthähnchen in der Starterperiode nicht ausreichend decken würde. Sie empfehlen einen Gly_{equi}¹-Gehalt in der Futtermischung zwischen 2,06-2,08%. Dieses Ergebnis lässt eine Überprüfung aktueller Empfehlungen sinnvoll erscheinen. Auch Wu *et al.* (2013) wiesen auf die Notwendigkeit der Aufnahme aller NEAA in das angewandte IAAR hin.

6.1.2 Wachstumsversuche

In beiden Altersabschnitten erreichten Masthähnchen der XP-reduzierten Versuchsmischungen nicht die LM der Vergleichsdiäten IAAR¹ und IAAR*. Dies ist in Übereinstimmung mit Untersuchungen von Kerr und Kidd (1999). Die im Vergleich zum Bilanzversuch höheren TS- und damit N-Aufnahmen erklären sich aus der *ad libitum* Fütterung im Wachstumsversuch. Hatten die Tiere freien Zugang zum Futter, nahmen sie in der Starter- bzw. Growerperiode 15-20 g bzw. 40-50 g mehr TS/d als im Bilanzversuch auf.

Zahlreiche Studien zeigten, dass Tiere in der Lage sind, AA-Imbalancen im Futter zu detektieren und ggf. ihre Futteraufnahme zu adaptieren (Leshner, 1972; Di Battista, 1987; Etle und Roth, 2004; Hao *et al.*, 2005; Cota *et al.*, 2006; Gietzen und Rogers, 2006; Roth *et al.*, 2006; Gietzen *et al.*, 2007). Bei den Masthähnchen hatte eine Absenkung des BCAA-Gehalts jedoch keinen negativen Einfluss auf die Futteraufnahme.

Der größte Unterschied zwischen Bilanz- und Wachstumsversuchen lag in der Growerperiode vor: Während Tiere der Diät XPR (Minus XP) im Bilanzversuch die niedrigsten N-Bilanzen aufwiesen, zeigten Tiere derselben Diät im Wachstumsversuch die höchsten N-Ansätze. In Kombination mit einer niedrigen N-Aufnahme resultierte dies in der signifikant höchsten Proteinqua-

¹ Gly_{equi} = Summe aus Gly und dem molaren Äquivalent von Ser

lität im Wachstumsversuch. Eine schlüssige Erklärung für diese Beobachtung gibt es nicht. Die Ganzkörperanalysen der Tiere in der Growerperiode des Wachstumsversuchs zeigten keinen Unterschied im Hinblick auf den XP-Gehalt (IAAR¹/ IAAR*/ XPR/ XPR_{BCAA}/ XPR_{Leu1}/ XPR_{Leu*}: 53,82/ 53,20/ 53,40/ 53,50/ 50,72/ 52,57% XP in TS).

Es bleibt jedoch zu beachten, dass zu Beginn der Adaptationsperiode für die Growerperiode im Bilanz- und Wachstumsversuch Tiere mit unterschiedlicher LM verwendet wurden: lag im Durchschnitt die mittlere LM im Bilanzversuch bei 672 g ± 22, wogen Tiere im Wachstumsversuch deutlich mehr: 817 g ± 59. Dies lag darin begründet, dass zu Beginn der Growerperiode nicht ausreichend Tiere vorhanden waren, um für beide Methoden (N-Bilanz- und Wachstumsversuch) Masthähnchen mit einer gleichmäßig verteilten LM auszuwählen. Es ist spekulativ zu mutmaßen, warum sich die Masthähnchen bis zum Tag des Verbringens in die Versuchsanlagen (20. Lebenstag) so unterschiedlich entwickelt haben. Multifaktorielle Einflüsse, wie Genetik (geringeres Wachstum) oder soziale Strukturen (Hackordnung) könnten hier zum Tragen gekommen sein. Gegebenenfalls konnten die leichteren Tiere im Bilanzversuch das Futterpotenzial nicht voll ausschöpfen und eine XP-Reduzierung wirkte sich hier besonders drastisch aus. Betrachtet man Abbildung 27, wird ersichtlich, dass – unabhängig von der methodischen Herangehensweise - alle Tiere ein niedriges NEX:NI-Verhältnis (24 – 40%) aufwiesen, was auf eine hohe Qualität der Futtermischungen hinweist. Es ist erkennbar, dass die N-Exkretion von Tieren der Versuchsmischung XPR im Wachstumsversuch niedriger war als im Bilanzversuch (24 und 32). Für die anderen Diäten war allerdings *kein* niedrigeres NEX:NI-Verhältnis zu beobachten.

Die Ursachen der unterschiedlichen Ergebnisse zwischen N-Bilanz- und Wachstumsversuch bei Gabe der XPR-Mischung können nicht abschließend geklärt werden.

Abbildung 27 unterstützt jedoch die bereits wiederholte Beobachtung: eine Supplementation aller BCAA zu einer XP-reduzierten Diät (XPR) wirkte sich ebenfalls positiv auf das NEX:NI-Verhältnis aus.

Prinzipiell ist ein niedriges NEX:NI-Verhältnis vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Geflügelproduktion wünschenswert. Dennoch müssen Leistungs-

kennzahlen wie tägliche Zunahme und Futteraufwand für eine Einschätzung miteinbezogen werden. Da die Masthähnchen, die die XP-reduzierten Versuchsmischungen erhielten, signifikant niedrigere tägliche Zunahmen bzw. einen höheren Futteraufwand aufwiesen, kann nicht von einer verbesserten Nachhaltigkeit – trotz niedriger NEX:NI-Verhältnisse ausgegangen werden.

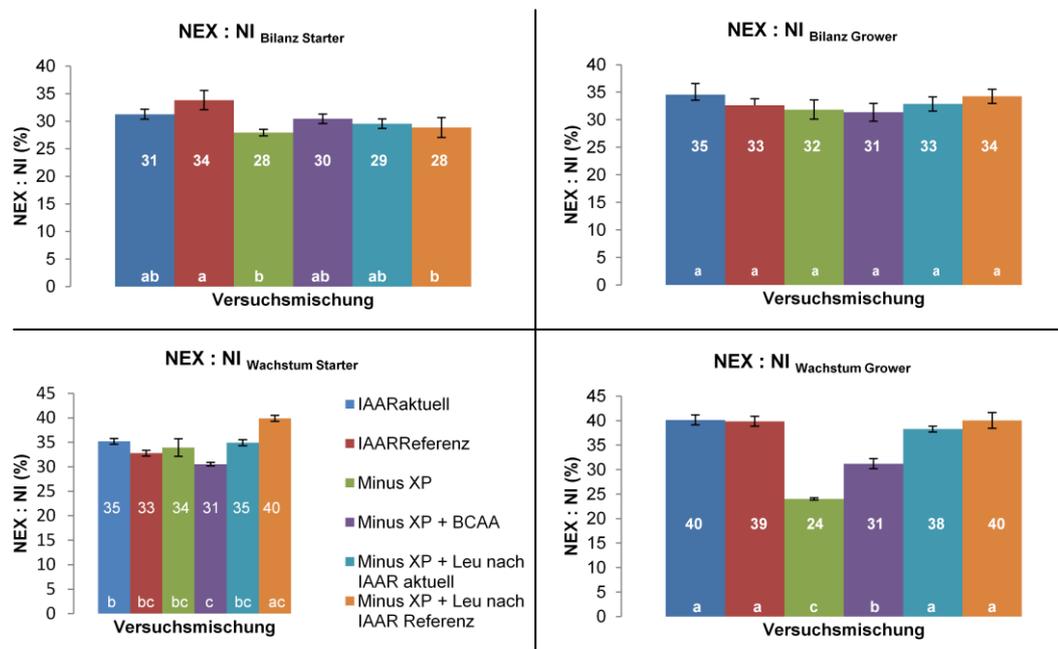


Abbildung 27: NEX:NI – Verhältnis der Starter- und Growerperiode im Bilanz- und Wachstumsversuch.

Alle Versuchsmischungen waren isoenergetisch (12,7 ME MJ bzw. 13,3 ME MJ in der Starter- bzw. Growerperiode). Eine Absenkung im XP-Gehalt von der Starter- zur Growerperiode (22 bzw. 20% XP) bei gleichzeitigem Anheben des Energiegehalts soll hohes Wachstum und eine günstige Futtermittelverwertung bewirken. Es ist davon auszugehen, dass Tiere, die isoenergetische, aber keine isonitrogenen Diäten erhalten, unterschiedlich Fett ansetzen. Aufgrund des Energieüberschusses in den Mischungen mit niedrigerem Proteingehalt kommt es bei diesen Tieren zu einer schlechteren Futtermittelverwertung und erhöhtem Fettansatz (Aletor *et al.*, 2000). Diese Beobachtung galt auch für die Tiere im Wachstumsversuch. In beiden Wachstumsabschnitten setzten alle Masthähnchen, die XP-reduzierte Diäten erhielten, signifikant ($p < 0,05$) mehr Fett an als Tiere mit einem weiteren Protein:Fett-Verhältnis (IAAR¹ und IAAR*) (Abb. 28). Es ist jedoch

anzumerken, dass der Fett-Gehalt nicht explizit bestimmt wurde, sondern eine Differenzrechnung zugrunde gelegt wurde ($100 - (XP + XA)$). Somit ist in der berechneten Fraktion auch eine geringe Kohlenhydratmenge enthalten. Dieser sollte jedoch zu vernachlässigen sein.

Es wird ersichtlich, dass Tiere, die die Futtermischung IAAR¹ (abgesenktes IAAR_{BCAA}) erhielten, im Vergleich zu Masthähnchen der XP-reduzierten Versuchsmischung einen signifikant niedrigeren XL-Ansatz aufwiesen. Somit konnten die Literaturbeobachtungen bestätigt werden: Wird der Energiegehalt nicht an XP-reduzierte Futtermischungen angepasst, kommt es zu einem erhöhten XL-Ansatz dieser Masthähnchen.

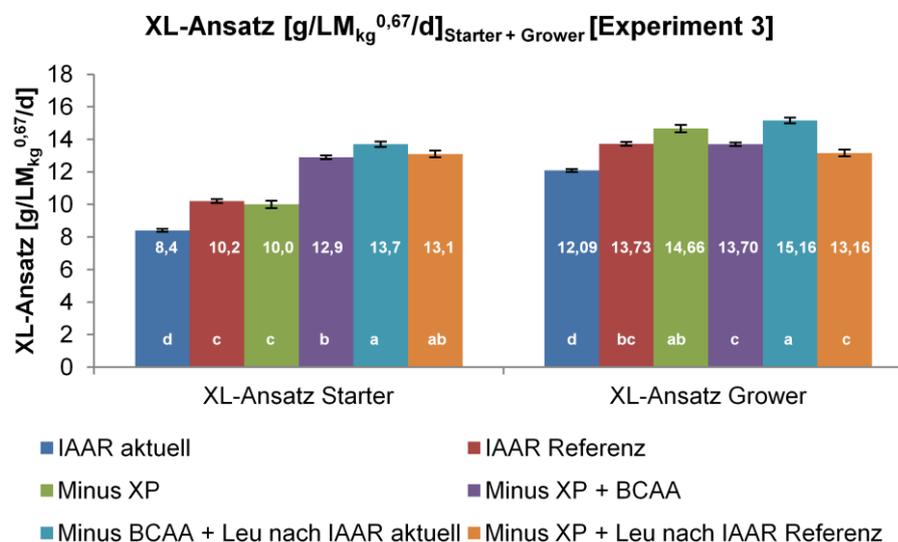


Abbildung 28: XL-Ansatz im Wachstumsversuch während der Starter- und Growerperiode.

Insgesamt schien sich eine Anpassung der Altersabschnitte zwischen Bilanz- und Wachstumsversuch positiv auf die erzielten Ergebnisse auszuwirken. Zwar wurden im Wachstumsversuch höhere N-Ansätze als in der Bilanz beobachtet, doch ist dies auf eine erhöhte Futteraufnahme und damit auf eine erhöhte N-Aufnahme zurückzuführen. In zurückliegenden Versuchen (vergl. Experiment 2) wies prinzipiell die N-Bilanz höhere Ansatzwerte aus. Sammelverluste wurden als Erklärung hierfür gesehen. Bei Betrachtung gleicher Versuchszeiträume konnte jedoch gezeigt werden, dass bei *ad libitum* Aufnahme im Wachstumsversuch in der Regel höhere N-Ansätze realisiert werden.

Weiterhin zeigte die Verwendung eines niedrigeren $IAAR_{BCAA}$ keine negativen Auswirkungen auf die Leistung von Masthähnchen. Dies galt sowohl für die Bilanz- als auch für die Wachstumsversuche. Ausgehend von einer durch das niedrigere $IAAR_{BCAA}$ herbeigeführten geringeren Stoffwechselbelastung der Tiere wären sogar steigende Leistungen zu erwarten gewesen.

6.2 Ableitung der idealen Aminosäurenverhältnisse und des Aminosäurenbedarfs unter Anwendung des nicht-linearen N-Verwertungsmodells

6.2.1 Vergleich des nicht-linearen N-Verwertungsmodells mit der Supplementationsmethode

Das in vorliegender Arbeit verwendete N-Verwertungsmodell bietet einen grundlegend anderen Ansatz zur Ableitung des AA-Bedarfs im Vergleich zu dem allgemein verwendeten *broken-line* Modell. Bei Letzterem wird die zu untersuchende AA in vier, besser sechs, steigenden Dosierungen in Relation zu einem Responsekriterium (tägliche Zunahme, Futtermittelnutzung, *etc.*) gesetzt. Für eine objektive Auswertung erfolgt eine Anpassung der Daten an eine Kurve (*broken-line*) und die Ableitung des Bedarfs mit Hilfe einer linearen Auswertung (Baker, 1986). Es ist essentiell, dass die zu prüfende AA in der Basaldiät im Limitierungsbereich vorliegt, während die Versorgung mit allen anderen Nährstoffen (einschließlich Vitaminen und Mineralstoffen) und mit Energie adäquat erfolgt. Die weiteren Futtermischungen werden mit der AA, für die der Bedarf ermittelt werden soll, supplementiert. Es ergibt sich ein gradueller Versorgungsanstieg der zu untersuchenden AA, der sowohl eine Unter- als auch Überversorgung mit einschließt. Durch die zunehmende Zufuhr der zu untersuchenden LAA ist ein deutlich positiver Effekt auf den/die gewählten Leistungsparameter, und damit ein Anstieg der Kurve, zu beobachten. Schließlich wird ein Plateau erreicht, ab dem eine weitere AA-Supplementation keinen weiteren positiven Effekt auf die Leistung ausübt. Bei dennoch fortschreitender AA-Steigerung und damit einer deutlichen Überversorgung ist ein Abfall der Kurve zu verzeichnen. Je mehr Supplementationsstufen gewählt werden, desto höher ist die Sicherheit des abgeleiteten Bedarfs. Allerdings ist dies mit einem hohen experimentellen Aufwand verbunden, da dementsprechend mehr Tiere zur Verfügung stehen müssen

um die Wirkung der zusätzlichen Supplementationsstufen zu prüfen. Zur Ableitung des AA-Bedarfs nach dem broken-line Modell sollten mindestens zwei Supplementationsstufen im Anstieg des Kurvenverlaufs liegen und mindestens zwei im Plateaubereich (Abb. 29) (Wiltafsky, 2009). Der Bedarf ergibt sich schließlich aus der Abszisse des Schnittpunktes von ansteigender und horizontaler Regressionsgraden unter Anwendung der mathematischen Methode der „kleinsten Quadrate“.

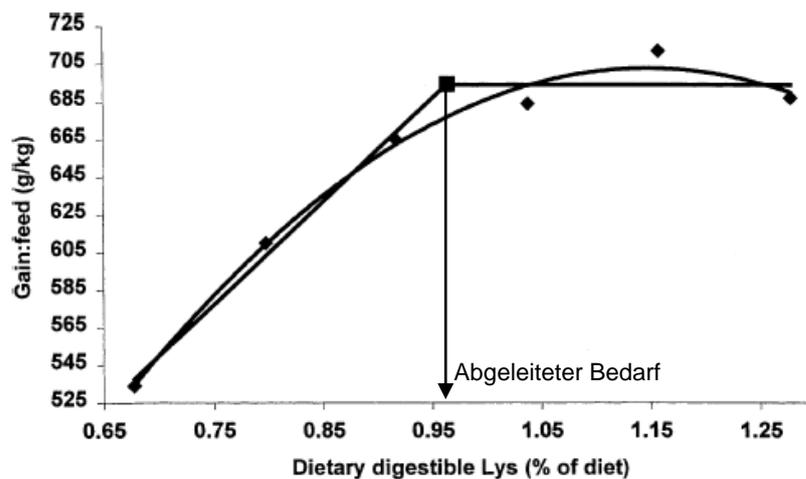


Abbildung 29: Ableitung des optimalen Gehalts in der Diät an verdaulichem Lysin in Abhängigkeit der Futterverwertung beim Broiler vom 8.-21. Lebenstag (modifiziert nach Baker *et al.*, 2002).

Die Diätgestaltung bei Anwendung der Supplementationsmethode und des broken-line Modells hat zum Nachteil, dass sich von einer Supplementationsstufe zur nächsten das Verhältnis zwischen nativen und supplementierten AA ändert. Desweiteren ergeben sich aufgrund der gestaffelten AA-Zulagen wechselnde AA-Relationen von einer Supplementationsstufe zur nächsten. Imbalancen können hierbei nicht ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit die Verdünnungsmethode nach Gous und Morris (1985) angewandt. Hierbei erfolgt eine Verdünnung einer AA-balancierten Basaldiät mit einer N-freien Komponente (z.B. Weizenquellstärke). Im Anschluss werden alle anderen AA durch Supplementations wieder auf ihren Gehalt in der Basaldiät aufgefüllt. Somit weisen alle experimentellen Diäten dasselbe AA-Muster auf, bis auf die zu untersuchende AA, die limitierend wirkt.

In der Regel untersucht die Supplementationsmethode den Einfluss des Ge-

halts einer AA in der Futtermischung auf ein Responsekriterium (Baker *et al.*, 2002; Corzo *et al.*, 2004; Garcia *et al.*, 2006). Es wäre jedoch wünschenswert, auf der Abszisse nicht den Gehalt der AA in der Futtermischung anzugeben, sondern die tägliche AA-Aufnahme des Tieres. Andernfalls ist ein Effekt der Futteraufnahme auf die abgeleiteten Bedarfswerte nicht auszuschließen, es sei denn, die Tiere wurden nach dem Prinzip des pair-feedings (gleiche N-Aufnahme) versorgt.

Die mit der Supplementationsmethode ermittelten AA-Bedarfsgehalte können auf Ebene der Brutto-AA, der *praecaecal* verdaulichen (**pcv**), oder der standardisierten ilealen Verdaulichkeit (**SID**) der AA ausgewiesen werden.

Im Gegensatz dazu erscheint die Angabe der AA-Bedarfswerte auf Bruttoebene, wie sie im N-Verwertungsmodell angewendet wird, zunächst antiquiert. Die Anwendung der *pcv* bzw. SID Verdaulichkeit wird als exakter dargestellt (Hoehler und Lemme, 2005), da mikrobielle Umsetzungen im Dickdarm nicht mit berücksichtigt werden und somit die Verschwindensrate der Nährstoffe bis zum Ende des Dünndarms, dem Hauptort der Absorption, beschrieben wird. Wu (1998) zeigte jedoch, dass ein Großteil der absorbierten AA in den Enterozyten des Dünndarms abgebaut werden und somit im Intermediärstoffwechsel dem Tier nicht zur Verfügung stehen. Demnach können 30-50% des absorbierten Arg, Pro, Leu, Ile und Val für extraintestinale Gewebe *nicht* genutzt werden. In Untersuchungen an Ratten zeigten Pastor und Liebert (2011, 2012) ebenfalls, dass die Proteinverwertung im Intermediärstoffwechsel trotz einer hohen Verdaulichkeit beeinträchtigt werden kann. Folglich kann eine Betrachtung allein auf der Ebene von *pcv* bzw. SID AA nicht als finale Lösung angesehen werden.

Das in der Arbeit angewandte N-Verwertungsmodell zieht dagegen neben Verdaulichkeit und Absorption der betrachteten AA auch die Verwertung im Intermediärstoffwechsel mit ein. Weiterhin schränkt es den tierexperimentellen Aufwand im Vergleich zur Supplementationsmethode erheblich ein: So wird für die Bedarfsermittlung einer AA lediglich eine Diät benötigt, in der die zu untersuchende AA im Limitierungsbereich vorliegt. Der Nachweis, dass die AA für die eine Bedarfsermittlung vorgenommen wird limitierend wirkt, sollte im Zweifelsfall durch eine Supplementation vorgenommen werden. Es ist essentiell, dass die zu betrachtende AA im Limitierungsbereich vorliegt,

andernfalls kann es zu einer Überschätzung des Bedarfes kommen (s. **Publikation II**). In der Regel wird daher ein AA-Gehalt in der Diät für die zu untersuchende AA gewählt, der etwa 80% des angenommenen Bedarfs entspricht. Im Wachstumsversuch in Experiment 2 zeigte sich jedoch, dass diese Absenkung nicht ausreichend war, da die angenommene Bedarfsrelationen von Val und Ile in Relation zu Lys offensichtlich als zu hoch angesetzt wurden. Der Versuch konnte somit nicht für eine Bedarfsableitung herangezogen werden. Dies unterstreicht die Wichtigkeit, eine ausreichend niedrige AA-Absenkung vorzunehmen. Diese sollte so gewählt sein, dass einerseits eine klare Limitierung erhalten wird, andererseits aber keine zu starken verzehrsdepressiven Effekte auftreten.

Ein direkter Vergleich des mit den beiden vorgestellten Modellen (N-Verwertungsmodell und Supplementationsmethode) ermittelten AA-Bedarfs ist nahezu nicht möglich (s. auch Diskussion **Publikation II** und **III**): während das N-Verwertungsmodell den N-Ansatz in Abhängigkeit von der LAA-Aufnahme als Response-Kriterium verwendet, kommen bei der Supplementationsmethode die tägliche Zunahme, der Futteraufwand, maximaler Brustmuskelausatz oder ökonomische Aspekte zum Tragen. Es konnte gezeigt werden, dass vor allem der Lys-Bedarf stark vom gewählten Response-Kriterium abhängig ist (Leclercq, 1998; Han und Baker, 1991; Corzo *et al.*, 2005). So war in einer Untersuchung von Han und Baker (1991) ein Gehalt von 1,01% verdaulichem Lys in der Diät erforderlich, wenn als Response-Kriterium maximales Wachstum verwendet wurde. Für eine optimale Futterverwertung waren jedoch während der Starterperiode 1,21% verdauliches Lys in der Ration notwendig. Da Lys in der Regel als Referenz-AA beim IAAR verwendet wird, kann die Wahl der verschiedenen Leistungsparameter eine Ursache für abweichende Ergebnisse zwischen den Modellen sein.

Ein weiteres Erschwernis für einen direkten Ergebnisvergleich zwischen den Modellen stellt die (Nicht-)Angabe der AA-Gehalte, und hier v.a. des Leu, dar. Zwar wird z.B. das erreichte $IAAR_{BCAA}$ angegeben, jedoch keine Aussage über die Höhe des Lys-Gehalts getroffen (z.B. Baker *et al.*, 2002). Somit ist eine Einschätzung, ob eine Über- oder Unterversorgung mit Leu vorliegt, nicht gegeben. Dies wäre jedoch von hoher Bedeutung, um die bekannten

Antagonismen zwischen den BCAA zu vermeiden. Sollte Leu übermäßig verabreicht werden, so können Ile und Val, wie in **Publikation I** beschrieben, verstärkt katabolisiert werden. Der abgeleitete Bedarf für diese AA wäre folglich höher als in einer Ration, in der *kein* Leu-Exzess vorliegt. So wird auch in Studien, in denen der Bedarf für Ile und Val ermittelt wird, nicht immer der Leu-Gehalt angegeben (z.B. Corzo *et al.*, 2007; Dozier III *et al.*, 2011). Es kann folglich nicht ausgeschlossen werden, dass in einigen Studien ein über dem Bedarf liegender Leu-Gehalt in der Versuchsdiät enthalten war, was einen erhöhten Bedarf an Ile- und Val nach sich ziehen würde.

Es wäre wünschenswert, wenn in zukünftigen Publikationen bei Angabe des erreichten IAAR der Lys-Gehalt angegeben werden würde, ebenso wie der Gehalt aller drei BCAA.

Unterschiedliche Diätgestaltung mit den verschiedensten Proteinträgern, verschiedene Altersabschnitte und Genetiken erschweren weiterhin einen direkten Ergebnisvergleich.

Es wäre von hohem Interesse, eine Bedarfsermittlung mit *denselben* Tieren unter Anwendung *beider* Verfahren durchzuführen, so dass der Einfluss von unterschiedlichen Diäten, Genetiken, Durchführung der Versuche, *etc.* eliminiert wird und ein direkter Modell-Vergleich durchgeführt werden könnte.

6.2.2 Einfluss der Modellparameter

Maßgeblichen Einfluss auf den abgeleiteten Bedarf haben die verwendeten Modellparameter $NR_{\max T}$, b und bc^{-1} . Gründe für unterschiedlich ermittelte $NR_{\max T}$ - und NMR-Werte wurden bereits in **Publikation II** diskutiert. Ob der im Laufe der Jahre zu beobachtende Trend zu höheren Maximalwerten des theoretischen N-Retentionsvermögens auf züchterischen Fortschritt zurückzuführen ist, soll durch die nachfolgende Betrachtung von Proteinqualitätsparametern näher untersucht werden.

Ausgehend von Gleichung [6] (s. Kapitel 3.5.5), können die Proteinqualitätsparameter Produktiver Eiweißwert (**PEW**) und Physiologischer Nutzwert (**PNu**) mit Hilfe des angewandten N-Verwertungsmodells berechnet werden (Gebhardt, 1966; Müller *et al.*, 1989):

$$PEW (\%) = [NR_{\max T} (1 - e^{-b \cdot NI}) - NMR] \cdot NI^{-1} \cdot 100 \quad [13]$$

$$PNu (\%) = NR_{\max T} \cdot 1 - (e^{-b \cdot NI}) \cdot NI^{-1} \cdot 100 \quad [14]$$

wobei

NR_{\max}^T	=	theoretisches Maximum der NR	$[\text{mg}/\text{LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}]$
e	=	Grundzahl der natürlichen Logarithmen	$[\text{ln}]$
NI	=	N-Aufnahme	$[\text{mg}/\text{LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}]$
NMR	=	N-Erhaltungsbedarf	$[\text{mg}/\text{LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}]$
b	=	Anstieg der N-Retentionskurve, Ausdruck der Futterproteinqualität, unabhängig von der Höhe der NI	

Durch Anwendung der klassischen Parameter PEW und PNu lassen sich Rückschlüsse auf die Gesamtverwertung eines Proteins besser sichtbar machen. Dies bedeutet, dass sowohl Prozesse der Verdauung als auch des Intermediärstoffwechsels berücksichtigt werden. Während der PEW die Effizienz der Proteinverwertung widerspiegelt, bezieht sich der PNu auf die N-Retention, d.h. N-Ansatz zuzüglich des N-Erhaltungsbedarfs.

Abbildung 30 stellt den Verlauf beider Kennzahlen in Abhängigkeit von der N-Aufnahme über verschiedene Zeiträume für die Growerperiode dar. Zwischen den betrachteten Veröffentlichungen liegen reichlich 20 Jahre (Müller *et al.*, 1989; Rimbach, 2002, aktuelle Daten, 2013).

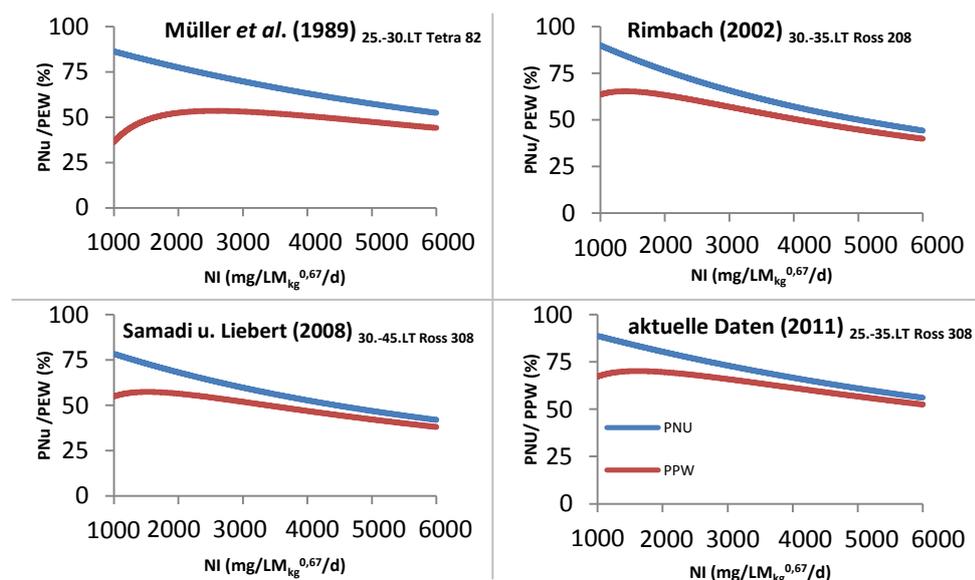


Abbildung 30: Verlauf des Produktiven Eiweißwerts (PEW —) und des Physiologischen Nutzwerts (PNu —) über einen Zeitraum von 20 Jahren für schnell wachsende Broilerlinien (Müller *et al.*, 1989; Rimbach, 2002; Samadi und Liebert, 2008, aktuelle Daten, 2013).

Da Samadi und Liebert (2008) einen deutlich späteren Lebensabschnitt gewählt haben, werden diese Daten der Vollständigkeit halber dargestellt, aber für eine Bewertung nicht mit einbezogen. Die Abbildung 28 lässt erkennen, dass der PNu über die Jahre in etwa konstant geblieben ist, während für den PEW ein Anstieg zu verzeichnen war. Weiterhin war eine Annäherung der PEW-Kurve an die PNu-Kurve zu beobachten.

Des Weiteren ist beachtlich, dass über den betrachteten Zeitraum der NMR geringer geworden ist: Lag er bei Müller *et al.* (1989) noch bei 500 mg N/LM_{kg}^{0,67}, war bereits zum Jahr 2002 (Rimbach) ein Rückgang auf 354 mg N/LM_{kg}^{0,67} zu beobachten, der dann in den aktuellen Untersuchungen weiter auf 215 mg N/LM_{kg}^{0,67} gesunken ist. Es ist anzumerken, dass Müller *et al.* (1989) und Rimbach (2002) eine andere Genetik verwendet haben (Tetra 82 bzw. Ross 208). Da es sich jedoch bei allen Genetiken um intensiv wachsende Typen handelt, sollten keine allzu großen Unterschiede im N-Erhaltungsbedarf zu erwarten sein. Dies wurde ebenfalls von Rimbach (2002) und Samadi *et al.* (2007b; 2008) gezeigt, die NMR und NR_{max}T für Ross 308 und Cobb 500 ermittelten und nur geringe Unterschiede im NMR fanden. Unterschiedliche NMR Werte können auf die Verwendung von differenzierten Futterproteinqualitäten, insbesondere bezüglich der eingestellten LAA und AA-Verhältnisse bzw. der Höhe der antinutritiven Faktoren zurückgeführt werden. Es wäre denkbar, dass sich durch den Einfluss der züchterischen Bearbeitung der NMR verringert hat.

Somit kann für die dargestellten Untersuchungen eine Steigerung der Proteinnutzungseffizienz unterstellt werden, basierend auf züchterischem Fortschritt.

Dies wird von Aussagen von Havenstein *et al.* (2003a, b) unterstützt. Sie verglichen eine Broilerlinie von 1957 (Athens-Canadian Randombred Control), die züchterisch nicht weiter bearbeitet wurde, mit Ross 308 Broilern im Jahr 2001. Die Autoren schlussfolgerten, dass größtenteils züchterischer Fortschritt (85-90% Beitrag), gefolgt von neuen ernährungsphysiologischen Erkenntnissen (10-15% Beitrag), dazu führten, dass die Broiler im Jahre 2001 nur ein Drittel der Zeit benötigten, um eine Ziel-LM von 1815 g zu erreichen. Auch wenn die Studie keinen direkten Rückschluss auf eine erhöhte Proteinnutzungseffizienz erlaubt, zeigt sie doch beachtlich, wie stark züchte-

rischer Fortschritt in den letzten 40 Jahren zu gesteigerten Leistungen bei Masthähnchen beigetragen hat.

Der Anstieg im $NR_{max}T$ über die letzten Jahre (s. Diskussion **Publikation II**) spiegelt die Zunahme im Proteinansatzvermögen wider und macht deutlich, dass der Modellparameter ein geeignetes Kriterium ist, um den züchterischen Fortschritt beschreiben zu können. Der abgeleitete $NR_{max}T$ ist genotyp-, alters- und geschlechtsspezifisch. Mit diesem Modellparameter ist es somit möglich, auch genotypspezifische Unterschiede darzustellen. Dies konnte von Rimbach (2002) gezeigt werden. Er bestimmte für Cobb 500 und Ross 208 das maximal theoretische N-Retentionsvermögen. In der Starterperiode (10.-15.LT) wiesen Tiere der Genetik Cobb mit $4250 \text{ mg N/LM}_{kg}^{0,67}/d$ einen etwa 10% höheren $NR_{max}T$ auf als die Tiere der Ross Genetik ($3886 \text{ mg N/LM}_{kg}^{0,67}/d$). In der Growerperiode I (20.-25.LT) und II (30.-35.LT) lag der $NR_{max}T$ der Tiere der Cobb-Genetik jedoch etwa 5% unterhalb der Beobachtungswerte für die Ross-Genetik (3425 und 3626 bzw. 2870 und 3016 $\text{mg N/LM}_{kg}^{0,67}/d$). Dies stimmt mit Beobachtungen der Praxis überein. Cobb-Broiler wachsen in der Starterphase stark intensiv und das Wachstum in der Growerperiode nimmt ab, während es sich für Tiere der Ross-Genetik genau gegenteilig verhält. Dies verdeutlicht, dass dieser Modellparameter neben der Charakterisierung des züchterischen Fortschritts auch geeignet ist, genotypspezifische Unterschiede sicher darzustellen (Khan *et al.*, 2013).

Die Modellkalkulation zur Ableitung des Lys-Bedarfs (s. Diskussion **Publikation III**) zeigte, dass unterschiedlich hohe $NR_{max}T$ -Werte zu verschiedenen hohen Bedarfswerten führen können, wenn hohe Leistungsziele (11 bzw. 19 g XP-Ansatz/d in der Starter- bzw. Growerperiode) gewählt werden. Die Variation zwischen den abgeleiteten Bedarfswerten betrug etwa 10%. Gute Übereinstimmungen lagen bei Anwendung von niedrigeren bzw. mittleren XP-Ansätzen (9 und 10 bzw. 17 und 18 g/d) vor. Ist die Ableitung von AA-Bedarfswerten für ein stark intensives Wachstum von Interesse, kann eine Aktualisierung des $NR_{max}T$ -Wertes von Interesse sein, um genotypspezifische Entwicklungen und züchterischen Fortschritt besser wider spiegeln zu können. Weiterhin ist zu beachten, dass die Ermittlung von AA-Relationen innerhalb eines Versuchskomplexes nicht von der Höhe des

$NR_{max}T$ beeinflusst wird.

Für weitere Untersuchungen wäre es von hohem Interesse, bisher ermittelte $NR_{max}T$ statistisch auf signifikante Unterschiede zu überprüfen, um eine Empfehlung aussprechen zu können, in welchem zeitlichen Abstand eine Neuermittlung für hohe XP-Ansätze durchgeführt werden sollte. Außerdem wäre es hilfreich, dass zukünftige Experimente immer dieselben Altersabschnitte verwenden, um eine bessere Vergleichbarkeit zu erzielen.

Alternativ dazu wäre die Erhebung der Modellparameter für individuelle LM- und nicht für Altersabschnitte - wünschenswert.

6.3 Ableitung des optimalen Zeitpunktes für eine Blutabnahme zur Bestimmung des Gehalts an verzweigtkettigen α -Ketosauren

Sofern bekannt, bestimmten bisher lediglich Leslie und Saunders (1985) den BCKA-Gehalt im Blutplasma von Masthähnchen. Die Autoren machten jedoch keine Angaben zum Zeitpunkt der Blutabnahme. Für KIC (Ketosaure des Leucins), KIV (Val) und KMW (Ile) ermittelten die Autoren Gehalte von 16,00 - 24,68; 11,62 - 20,34 bzw. 8,13 - 14,44 $\mu\text{mol/l}$ für fünf Wochen alte, männliche, Broiler. Diese Ergebnisse waren ähnlich zu den in Experiment 2 erhobenen Daten (KIC; KIV; KMW: 9,2 - 22,2; 7,2 - 13,7 bzw. 9,2 - 14,4 $\mu\text{mol/l}$), eine komparative Einordnung ist jedoch aufgrund der fehlenden Zeitangabe nicht möglich. Auffallend ist, dass Leslie und Saunders (1985) eine andere Rangierung der BCKA ermittelten (Gehalt KIC > KIV > KMW) als in Experiment 2 beobachtet wurde (KIC > KMW > KIV). Ein Vergleich mit anderen Spezies (Schwein) zeigte jedoch dieselbe Rangierung, wie sie in Experiment 2 erhoben wurde (Langer *et al.*, 2000; Wiltafsky *et al.*, 2010).

Wiltafsky *et al.* (2010) führten die Blutabnahme bereits 2,5h nach Futterentzug am wachsenden Schwein durch. Der Zeitpunkt basierte auf einer Untersuchung von Yen *et al.* (2004). Im Mittelpunkt des Versuchs von Yen *et al.* (2004) stand die Absorptionsrate von AA bei einmaliger Fütterung am Tag. Nach 2,5h konnte postprandial ein Absorptionspeak im Pfortaderblut beobachtet werden, wenn eine Diät *ohne* synthetische AA verwendet wurde. Bei Supplementation von AA trat der Peak bereits 0,5 - 1h nach Fütterung auf.

In der vorliegenden Arbeit sind keine Effekte einer unterschiedlichen Absorption von nativen und synthetischen AA zu erwarten, da die Masthähnchen *ad*

libitum Futter zum Zugang hatten und somit eine gleichmäßige Absorption zu erwarten war.

Weiterhin wurde *nicht* der (kurzzeitige) *maximale* Gehalt der BCKA im Blutplasma verwendet, sondern der Zeitraum, in dem *keine* signifikanten Schwankungen zu erkennen waren. Somit sollte überprüft werden, ob unterschiedliche BCAA-Gehalte *dauerhaft* zu erhöhten BCKA-Gehalten führen können.

Zudem bezogen sich die Angaben von Yen *et al.* (2004) auf den maximalen Gehalt an AA und nicht auf den maximalen Gehalt an BCKA.

Gloaguen *et al.* (2012) untersuchten den Gehalt an BCAA und BCKA im Blutplasma von sechs Wochen alten Schweinen. Die Autoren entnahmen das Blut vier Stunden nach Fütterung, jedoch wurde die Wahl des Zeitpunktes nicht begründet.

Somit ist eine Bewertung der unterschiedlichen Zeitpunkte zur Blutabnahme nicht möglich.

6.4 Kritische Betrachtung der Methoden Wachstumsversuch und N-Bilanz-Versuch

Bilanz- und Wachstumsversuche haben Vor- und Nachteile: Im Bilanzversuch können Individualdaten erhoben werden. Im Wachstumsversuch ist dies nicht möglich. Dafür ist dieser mit einem geringeren experimentellen Aufwand verbunden, da die Haltung der Tiere Praxisbedingungen entspricht und im Gegensatz zum Bilanzversuch ist kein Tierversuchsantrag notwendig. Die parallele Durchführung von Wachstums- und Bilanzversuchen zeigte in allen drei Experimenten, dass beide Versuchsansätze nicht zu kongruenten Ergebnissen führten. Beiden Methoden ist gemeinsam, dass der im Tierkörper angesetzte N zugrunde gelegt wird. Im Wachstumsversuche kann eine *direkte* Messung des N-Gehalts im Tierkörper durch eine GKA erfolgen. Im Bilanzversuch wird der N-Ansatz jedoch *indirekt* durch die Differenz zwischen der gemessenen N-Aufnahme und N-Exkretion bestimmt. Im Folgenden sollen mögliche Fehlerquellen im Wachstums- und N-Bilanz-Versuch näher betrachtet werden.

6.4.1 Mögliche Fehlerquellen - Bilanzversuch

Im N-Bilanz-Versuch ist eine 100%ige Sammlung aller Exkremente nahezu unmöglich. Hinzu kommen eventuelle Verunreinigungen dieser durch Federn, abgestoßene Hautpartikel und Futter mit dem möglichen Effekt einer N-Anreicherung. Hinzu kommt, dass die Masthähnchen vor allem in der Starterperiode eine hohe Umgebungstemperatur benötigen. Durch die gewöhnlich vorgenommene zweimalige Exkremmentsammlung pro Tag können gasförmige N-Verluste (NH_3) entstehen. Walz und Pallauf (1989) wiesen auf mögliche gasförmige Verluste und damit auf eine Überschätzung des N-Ansatzes hin. Prinzipiell gingen sie jedoch von einer guten Vergleichbarkeit der N-Ansatz-Ergebnisse aus N-Bilanz und Wachstumsversuch beim Schwein aus. Es wäre sinnvoll, eine vergleichende Untersuchung durchzuführen, um nachzuweisen, ob eine Erhöhung der Exkrement-Sammlung von zweimal pro Tag auf dreimal pro Tag zu einer signifikanten Reduzierung der N-Verluste führt.

Eine Schwefelsäure-Zulage auf die Sammelbleche wäre ebenfalls denkbar. Jedoch ist neben arbeitsschutztechnischen Bedenken auch zu beachten, dass hiermit die Entfernung von Futterpartikeln zusätzlich erschwert wird. Weiterhin wäre eine N-Analyse nach der Dumas-Methode nicht mehr möglich, sondern das nass-chemische Kjeldhal-Verfahren müsste angewandt werden. Dieses wäre mit einem deutlich höheren Aufwand verbunden.

Die unterhalb der Futtertröge einsetzbaren Bleche (s. Abb. 2) reduzieren verstreute Futterpellets und ermöglichen eine erhöhte Sicherheit der Quantifizierung der täglichen Futteraufnahme. Dennoch fallen geringe Mengen an Futterpellets auf den Fußboden, die keinem Tier zuzuordnen sind. Somit kommt es zu einer erhöhten Unterstellung der Futteraufnahme und folglich zu einer leicht verfälschten N-Bilanz. Diese läge dann durch die eventuell erhöhte N-Aufnahme höher als sie tatsächlich wäre.

Es wird deutlich, dass eine leicht restriktive Fütterung der Tiere zu bevorzugen ist. So wird weitgehend verhindert, dass Futter vermehrt verstreut wird. Im Gegensatz dazu erhalten die Masthähnchen im Wachstumsversuch *ad libitum* Zugang zum Futter. Befürchtungen, dass durch die restriktive Fütterung (zweimal pro Tag) kristalline AA schneller absorbiert werden als proteingebundene sind nicht gerechtfertigt. Batterham

und Bayley (1989) zeigten, dass der beschriebene Effekt nur bei einmaliger Fütterung pro Tag auftritt. Folglich ist von demselben Futterpotenzial in beiden Ansätzen auszugehen.

6.4.2 Mögliche Fehlerquellen – Wachstumsversuch

Wie bereits beschrieben, erlaubt die GKA von Tieren im Wachstumsversuch eine direkte Messung des N-Ansatzes. Im Gegensatz zum N-Bilanz-Versuch sind jedoch keine tierindividuellen Aussagen möglich, da jeweils fünf Masthähnchen zusammen in einer Box gehalten wurden. A-Tab. 47 gibt die LM der Tiere im Experiment 2 zum Ende der Starterperiode (21.LT) wieder. In Bucht A1 lagen die LM zwischen 1170 g und 1312 g. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Tiere dieselbe Futtermenge aufgenommen haben. Somit ergibt sich die Frage, welche Tiere am Ende eines Versuchsabschnittes für die GKA ausgewählt werden sollen. In Experiment 1 und 2 wurde das Tier ausgewählt, dessen LM der mittleren LM der gesamten Box am ehesten entsprach. In Experiment erfolgte die Auswahl der GKA-Tiere nach LM der *gesamten* Fütterungsgruppe. Noch konsequenter wäre es jedoch, wenn *alle* Tiere des Wachstumsversuchs für eine GKA-Analyse verwendet werden würden.

Dies ist zwar mit einem hohen analytischen Aufwand verbunden, würde jedoch zu einer höheren Sicherheit der abgeleiteten Ergebnisse führen. Dann wäre es auch denkbar, nur drei Masthähnchen pro Box zu verwenden an Stelle von fünf Tieren. Dies würde den analytischen Aufwand im Vergleich zu fünf Tieren verringern.

Zwar geht anders als im N-Bilanz-Versuch die N-Aufnahme nicht in die Ermittlung des N-Ansatzes ein, wohl aber in die Ermittlung von N-Verwertungskennzahlen und so auch in Modellparameter b und damit in den abgeleiteten AA-Bedarf. Somit ist auch im Wachstumsversuch eine möglichst genaue Quantifizierung der täglichen Futteraufnahme von immenser Bedeutung. In der Bodenhaltung ist jedoch von höheren Futterverlusten auszugehen als im N-Bilanz-Versuch. Auch mehrmaliges Fegen des vorderen, einstreulos gehaltenen Bereichs der Buchten (s. Abb. 3) konnte nicht verhindern, dass eine Vermischung von verstreuten Pellets mit Holzspänen erfolgte. Somit war eine Quantifizierung der verstreuten Pellets nicht zu 100% gegeben. Es wäre denkbar, dass die Futtertröge vor den Bodenhaltungsbuch-

ten angebracht werden. Wie im N-Bilanz-Versuch müssten die Tiere ihren Kopf durch eine Öffnung stecken, um zu fressen. Somit könnte verhindert werden, dass die Futtertröge von den Tieren umgestoßen werden, bzw. Pellets mit Sägespänen vermischt werden. Die Bestimmung der Futterraufnahme würde exakter werden.

6.4.3 Vorschläge zu einer erhöhten Vergleichbarkeit zwischen den in N-Bilanz- und Wachstumsversuchen erzielten Ergebnissen

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse erfolgte in Experiment 3 eine zeitliche Anpassung von N-Bilanz- und Wachstums-Versuch. In der vorhergehenden Untersuchung begann im N-Bilanz-Versuch die Adaptationsperiode am sechsten LT. Bis dahin erfolgte die Haltung der Tiere in Bodenhaltung und sie erhielten ein Aufzuchtfutter. Die Starterperiode im Wachstumsversuch begann jedoch schon am ersten LT. Durch eine zeitliche Anpassung der Versuchsansätze ergeben sich einerseits eine bessere Vergleichbarkeit der N-Ansätze. Andererseits können Effekte durch unterschiedliche Futtermischungen (Aufzuchtfutter und Versuchsfutter) ausgeschlossen werden. Somit sollte die zeitliche Anpassung der Versuchsansätze beibehalten werden.

Dies hätte jedoch zum Nachteil, dass sich im Wachstumsversuch der zuvor betrachtete Versuchszeitraum vom 1.-21. LT auf den 10.-20. LT reduziert. Es ist nicht möglich, Tiere bereits am ersten LT in die Stoffwechselkäfige zu verbringen. Es wäre denkbar, die Starterperiode im Wachstumsversuch in zwei Abschnitte zu unterteilen: 1.-10. LT und 10.-20. LT. Der zweite Abschnitt könnte dann mit den im Bilanzversuch ermittelten Ergebnissen verglichen werden und es könnten dennoch Daten für die ersten zehn LT erhoben werden.

Im Wachstumsversuch schloss sich an einen Hell-Dunkelrhythmus von 1:23h ein Rhythmus von 4:20h an. Im Bilanzversuch erfolgte eine dauerhafte Beleuchtung. Diese sollte den Tieren die Orientierung im Käfig erleichtern und Verzehrsdepressionen minimieren. Um Einflüsse eines unterschiedlichen Lichtregimes auf das Verhalten und die Futterraufnahme der Tiere auszuschließen, ist es ratsamer, in zukünftigen N-Bilanz-Versuchen ebenfalls eine Dunkelperiode einzuführen.

In Experiment 3 erhielten die für die Ganzkörperanalyse vorgesehen Tiere in

der Growerperiode bis zum Versuchsbeginn (20. LT) eine ausgewogene Standardmischung. Für zukünftige Untersuchungen wäre es sinnvoll, die Reservetiere in Gruppen einzuteilen. Jede Gruppe wird einer Versuchsmischung zugewiesen. Mit Beginn der Adaptationsperiode erhalten die jeweiligen Gruppen dann ebenfalls die Versuchsdiäten. Für die Auswahl der GKA-Tiere aus dem Bestand der Reservetiere werden dann nur Tiere aus der gleichgefütterten Gruppe verwendet. Dies erhöht die Standardisierung und Effekte einer futterbedingten unterschiedlichen Entwicklung werden minimiert.

6.5 Zusammenführung der Ergebnisse

In Tabelle 12 sind die in dieser Arbeit erhobenen Daten zusammengeführt.

Tabelle 12: Optimale Gehalte in einer Futtermischung für Masthähnchen basierend auf den erhobenen Daten.

	Starterperiode (1.-21.Lebenstag)	Growerperiode (21.-35.Lebenstag)
Lebendmasse (g)	500	1500
XP-Ansatz (g/d)	10	19
Futteraufnahme (g/d)	60	140
Gehalt in der Mischung (%)		
Lys	1,30	1,20
Arg	1,38	1,27
His	0,42	0,38
Ile	0,72	0,67
Leu	1,22	1,27
Met	0,49	0,46
Met+Cys	0,96	0,89
Phe	0,86	0,80
Phe+Tyr	1,53	1,41
Thr	0,85	0,78
Trp	0,22	0,20
Val	0,94	0,86
XP	22,00	20,00
Ca	1,00	0,85
Gesamt-P	0,60	0,55
Na	0,20	0,18
Energie (MJ ME/kg)	12,70	13,30

Es wurde von einem Lys-Bedarf für einen XP-Ansatz von 10 bzw. 19 g/d bei einer Futteraufnahme von 60 bzw. 140 g/d während der Starter- und Growerperiode ausgegangen. Weiterhin fanden die auf Literaturdaten basierenden Konzentrationen für Ca, P, Na Anwendung sowie die empfohlenen Gehalte an XP und Energie (Tab. 3).

Für die BCAA wurde das ermittelte IAAR aus Experiment 2 verwendet, alle anderen AA basieren auf den aus der Literatur abgeleiteten IAAR-Referenzwerten (Tab. 2). In Tabelle 13 sind die optimalen Nährstoff- und Energiegehalte aus Tabelle 12 in Futtermischungen für die Growerperiode in einer Beispielmischung umgesetzt worden (Mischung IAAR_{BCAA}). Es wird ersichtlich, dass eine semi-synthetische Futtermischung eingesetzt werden müsste, um die in Tabelle 12 erforderlichen AA-Gehalte zu erlangen. Eine Absenkung im XP-Gehalt war möglich. Im Vergleich dazu wurde in der zweiten Mischung eine praxisnähere Komposition gewählt. Diese basierte auf den Proteinkomponenten Mais, Sojalextraktionsschrot und Weizen. Anders als in der Futtermischung IAAR_{BCAA} kamen hier nur die synthetischen AA zum Einsatz, die im Moment futtermittelrechtlich zugelassen sind. Zwar konnten die optimalen Gehalte an Lys, Met+Cys, Thr und Val eingestellt werden, es wird jedoch ersichtlich, dass die Leu- und Ile-Gehalte deutlich über den in Tab. 12 dargestellten Gehalten liegen. Vor allem überschüssiges Leu kann zu einem erhöhten Abbau von Ile und Val führen (s. **Publikation I**). Hieraus würde ein gesteigerter Bedarf an Ile und Val resultieren. Folglich könnte der Bedarf an Ile und Val in praxisrelevanten Futtermischungen mit exzessivem Leu-Gehalt höher liegen als der in dieser Arbeit vorgestellte.

Tabelle 13: Beispiel einer Futtermischung zur Umsetzung der aus Tabelle 12 optimalen Nährstoffgehalte (IAAR_{BCAA}) sowie einer praxisnahen Futtermischung.

Mischung	IAAR _{BCAA}	Praxisnahe Futtermischung
Rohstoff (%)		
Weizen*	40,000	29,000
Mais*	32,486	28,500
Sojaextraktionsschrot*	7,956	27,226
Erbsen*	5,000	-
Fischmehl*	5,000	-
Sojaöl	4,532	6,500
Vormischung	1,000	1,000
Dicalciumphosphat	0,794	1,170
L-Lys · HCl	0,636	0,306
L-Arg	0,397	-
Calciumcarbonat	0,569	0,690
L-Phe	0,365	-
DL-Met	0,396	0,306
L-Thr	0,263	0,096
L-Val	0,201	-
L-Leu	0,106	-
Natriumchlorid	0,125	0,216
L-Ile	0,115	-
L-Trp	0,037	-
L-His	0,024	-
Maniok*	-	4,990
Inhaltsstoff (% in FS)		
Rohprotein	17,773	19,451
Calcium	0,85	0,85
Phosphor	0,55	0,55
Natrium	0,20	0,20
ME-Geflügel (MJ)	13,30	13,30
Lys	1,200	1,200
Met+Cys	0,888	0,888
Thr	0,780	0,780
Trp	0,204	0,233
Ile	0,672	0,782 (+ 16%)
Leu	1,272	1,489 (+ 17%)
Val	0,864	0,865

*AA-Gehalte entnommen aus AminoDat 4.0 (Evonik, 2010)

7 Schlussfolgerungen

Die Literaturrecherche ließ erkennen, dass bisherige Untersuchungen den Focus verstärkt auf einen Leu-Exzess im Futter und dessen antagonistisch bedingten Auswirkungen auf die Gesundheit und Leistung von Tieren legten. Weiterhin wurden die Auswirkungen von Leu auf die Muskelproteinsynthese in zahlreichen Publikationen nachgewiesen. Aussagen über optimale Gehalte aller BCAA – und vor allem von Leu – in Futtermischungen für Masthähnchen sind jedoch rar und sollten in Zukunft detaillierter untersucht werden.

Es konnte gezeigt werden, dass die Modellparameter $NR_{\max T}$ und NMR züchterischen Fortschritt sicher widerspiegeln.

Eine Quantifizierung des Lys-Bedarfs ermöglicht die Anwendung von Lys als Referenz-AA für ideale AA-Verhältnisse in Futtermischungen für Masthähnchen. Dies gewährleistet eine exakte Bestimmung des AA-Bedarfs für individuelle Anforderungen wie einer definierten Lebendmasse, variierenden Leistungszielen und Futteraufnahmen.

Die Bestimmung eines optimalen Blutnahmezeitpunktes für die Analyse der verzweigt-kettigen α -Ketosäuren kann in zukünftigen Untersuchungen für ein besseres Verständnis der Vorgänge im BCAA-Stoffwechsel beitragen.

Methoden- und Modellvergleiche (Wachstums- und N-Bilanzversuch bzw. Verdünnungs- und Supplementationsmethode) sind wichtig für die Bewertung von AA-Bedarfsableitungen und zur Minimierung von Fehlerquellen.

Es konnte gezeigt werden, dass männliche Masthähnchen der Genetik 308 einen niedrigeren Bedarf an Ile und Val haben, wenn Futtermischungen ohne Leu-Exzess angeboten wurden. Die Untersuchungen unterstreichen die Notwendigkeit von balancierten Verhältnissen zwischen den einzelnen BCAA Leu, Ile und Val im Futter. Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass sich in praxisnahen Futtermischungen, bei denen ein Leu-Exzess nicht ausgeschlossen werden kann, ein höheres Lys:Leu:Ile:Val-Verhältnis ergeben kann als das in dieser Arbeit ermittelte.

Die zukünftige Zulassung weiterer synthetischer AA könnte es ermöglichen, den Rohproteingehalt weiter abzusenken und niedrigere BCAA-Gehalte in den Futtermischungen zu realisieren. Somit könnte zu einer noch effizienteren und verantwortungsbewussten Geflügelproduktion beigetragen werden.

8 Ausblick und weitere Forschungsansätze

1. Da das in Experiment 2 ermittelte IAAR_{BCAA} in abgewandelter Form in Experiment 3 Anwendung fand, ist eine weitere Verifizierung des beobachteten IAAR_{BCAA} zu empfehlen. Hierbei wäre eine stärkere Variation der AA-Verhältnisse denkbar. Vor allem eine Erhöhung/Absenkung der Leu:Lys-Relationen wären von hohem Interesse, so dass konkretere Aussagen über einenen Mindest- bzw. Höchstgehalt der BCAA in der Diät getroffen werden könnten.
2. Der Vergleich des verwendeten N-Verwertungsmodells mit der Supplementationsmethode innerhalb eines Versuchs wäre von hohem Interesse. Die komparative Untersuchung könnte methodische Unterschiede zwischen den beiden Modellen näher ergründen und somit zur Weiterentwicklung von Modellen zur Ableitung des AA-Bedarfs beitragen.
3. Für eine verbesserte Vergleichbarkeit zwischen den Modellen wäre es denkbar, die auf Grundlage des N-Verwertungsmodells ermittelten AA-Bedarfsangaben auf Höhe der *praecaecalen* AA-Verdaulichkeit anzugeben anstelle von Brutto-AA.
4. Es sollte darüber nachgedacht werden, ob die Bewertung des AA-Potenzials in Futtermitteln ausschließlich auf Basis der Verdaulichkeit zukunftsweisend ist. Diskussionen über AA-Verwertungsverluste (sei es in den Enterozyten oder im Intermediärstoffwechsel) und wie diese bei der Evaluierung des Futterpotenzials berücksichtigt werden könnten, wären wünschenswert.
5. Prinzipiell wäre es wünschenswert, ermittelte AA-Bedarfs-Angaben – unabhängig vom verwendeten Modell – unter praxisnahen Bedingungen zu validieren.
6. Für eine Optimierung des Mischfutters bei gleichzeitiger Verringerung von AA-Überschüssen wäre die Etablierung eines AA-Scores denkbar. Dieser könnte auf einem fundierten IAAR basieren, für welches tolerierbare Variationsbreiten (+/-) ermittelt worden wären. Basierend auf der AA-Analyse der einzelnen Proteinträger würde der sich ergebende AA-Gehalt in der Endmischung evaluiert. Der Gehalt der

einzelnen AA würde gewichtet werden. Dabei würden Überversorgungen ebenso geahndet wie Unterversorgungen. Eine stärkere Gewichtung für AA-Gehalte, bei denen aufgrund von starken Imbalancen (z.B. antagonistische Wirkungen der BCAA oder von Lys-Arg) mit sinkenden Tierleistungen zu rechnen ist, wäre ebenfalls denkbar. Es ergäbe sich im Idealfall ein Score von 100 für jede einzelne AA. Das hieße, dass sich die AA-Gehalte der Futtermischung innerhalb der tolerierbaren Grenzen des IAAR befindet. Auf abweichende Werte (<100 / >100) müsste entsprechend reagiert werden (z.B. durch Supplementation einzelner AA, Änderung der Mischungsverhältnisse, Einbeziehung weiterer Proteinträger, etc.).

7. Eine Aktualisierung des Modellparameters $NR_{max}T$ in festgesetzten Zeiträumen ist sinnvoll, wenn hohe Proteinansätze realisiert werden sollen, um Weiterentwicklungen züchterischen und ernährungsphysiologischen Ursprungs sicher widerzuspiegeln. Hierzu ist eine stärkere Einbeziehung früherer Untersuchungen wünschenswert. Eine statistische Untersuchung der Modellparameter würde Auskunft über signifikante Unterschiede geben und die Ableitung eines geeigneten Zeitraums erleichtern.
8. Die Versorgung mit nicht-essentiellen AA sollte in zukünftigen Untersuchungen stärker Beachtung finden. Eine Etablierung eines IAAR für diese Gruppe von AA ist sinnvoll und notwendig.
9. Die zeitliche Anpassung (gleiche/s Alter, LM, Versuchsdauer) der Wachstums- an die N-Bilanz-Versuche sollte auch in zukünftigen Versuchen beibehalten werden. Hierbei ist zu beachten, dass eine höhere Tierzahl benötigt wird, um zu Beginn der Growerperiode ausreichend repräsentative Tiere zur Verfügung zu haben.
10. Für weitere GKA-Untersuchungen wäre anzustreben, alle Tiere des Wachstumsversuchs für die GKA zu verwenden. Somit würde der Fehler, nicht repräsentative Tiere auszuwählen, eliminiert werden. Die Aussagekraft der erzielten Ergebnisse im Wachstumsversuch könnte damit verbessert werden.
11. Eine weitergehende Betrachtung der verzweigt-kettigen α -Ketosäuren im Blutplasma einerseits und aller Aminosäuren andererseits ist

empfehlenswert bei Untersuchungen zu den BCAA. Weiterhin wäre die Analyse von Harnsäure oder 1-/3-Methylhistidin denkbar, um weitere Aussagen über den (Muskelprotein-)Stoffwechsel treffen zu können.

9 Literaturverzeichnis

- Aletor, V. A., I. Hamid, E. Nieß und E. Pfeffer. 2000. Low-protein amino acid-supplemented diets in broiler chickens: effects on performance, carcass characteristics, whole-body composition and efficiencies of nutrient utilisation. *J. Sci. Food Agric.* 80: 574-554.
- Anthony, J., T. Anthony, S. Kimball, T. Vary und L. Jefferson. 2000a. Orally administered leucine stimulates protein synthesis in skeletal muscle of postabsorptive rats in association with increased eIF4F formation. *J. Nutr.* 130: 139–145.
- Anthony, J., F. Yoshizawa, T. Anthony, T. Vary, L. Jefferson und S. Kimball. 2000b. Leucine Stimulates Translation Initiation in Skeletal Muscle of Postabsorptive Rats via a Rapamycin-Sensitive Pathway. *J Nutr* 130: 2413–2419.
- ARC (Agricultural Research Council). 1981. *The Nutrient Requirement of Pigs*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, UK.
- Aviagen. 2009a. Ross Management Manual. <http://en.aviagen.com/ross-308/>.
- Aviagen. 2009b. Ross Nutrition Supplement.
http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross_Nutrition_Supplement.pdf.
- Baker, D. 1986. Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients. *J. Nutr.* 116: 2339-2349.
- Baker, D.H. und Y. Han. 1994. Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks posthatching. *Poult. Sci.* 73: 1441-1447.
- Baker, D. H., A. B. Batal, T. M. Parr, N. R. Augspurger und C. M. Parsons. 2002. Ideal ratio (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine, and valine for chicks during the second and third weeks posthatch. *Poult. Sci.* 81: 485-494.
- Baker, D. H. 2003. Ideal amino acid patterns for broiler chicks. In: D´Mello, J. P. F. (Hrsg.): *Amino Acids in Animal Nutrition*. CABI Publishing, Wallingford, UK.

- Baker, D. H. 2009. Advances in protein-amino acid nutrition of poultry. *Amino Acids*. 37: 2-41.
- Batterham, E. S. und H. S. Bayley. 1989. Effect of frequency of feeding of diets containing free or protein-bound lysine on the oxidation of [14C]lysine of [14C]phenylalanine by growing pigs. *Br. J. Nutr.* 62: 647-655.
- Bender, A. und D. Miller. 1953. A new brief method of estimating net protein value. *Biochem. J.* 53: vii.
- Berres, J., S. L. Vieira, W. A. Dozier III, M. E. M. Cortês, R. de Barros, E. T. Nogueira und M. Kuschenko. 2010. Broiler responses to reduced-protein diets supplemented with valine, isoleucine, glycine and glutamic acid. *J. Appl. Poult. Res.* 19: 68-79.
- Boisen, S., T. Hvelplund und M. R. Weisbjerg. 2000. Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. *Livest. Prod. Sci.* 64: 239-251.
- Chung, T. K. und D. H. Baker. 1992. Ideal amino acid pattern for 10-kilogram pigs. *J. Anim. Sci.* 70: 3102-3111.
- Cobb-Vantress Inc. (2008): Broiler Performance & Nutrition Supplement. Cobb 700™ <http://www.cobb-vantress.com/products/guide-library/cobb700/broiler-performance-and-nutrition-supplement/broiler-nutrition>.
- Cole, D. J. A., H. T. Yen und D. Lewis. 1980. The lysine requirements of growing and finishing pigs – The concept of an ideal protein. In: Oslage, H. J. und K. Rohr (Hrsg.). *Proceedings of the 3rd International Symposium on Protein Metabolism and Nutrition*. Vol. II, EAAP, Braunschweig, Germany, pp. 658-668.
- Combaret, L., D. Dardevet, I. Rieu, M.-N. Pouch, D. Béche und D. Taillandier. 2005. A leucine-supplemented diet restores the defective postprandial inhibition of proteasome-dependent proteolysis in aged rat skeletal muscle. *J. Physiol.* 569: 489-499.
- Coneglian, J. L. B., S. L. Vieira, J. Berres und D. Moreira de Freitas. 2010. Responses of fast and slow growth broilers fed all vegetable diets with variable ideal protein profiles. *R. Bras. Zootec.* 39: 327-334.

- Corzo, A., E. T. Moran Jr. und D. Hoehler. 2004. Valine needs of male broilers from 42 to 56 days of age. *Poult. Sci.* 83: 946-951.
- Corzo, A., M. T. Kidd, M. D. Koter und S. C. Burgess. 2005. Assessment of dietary amino acid scarcity on growth and blood plasma proteome status of broiler chickens. *Poult. Sci.* 84: 419-425.
- Corzo, A., C. A. Fritts, M. T. Kidd und B. J. Kerr. 2005. Response of broiler chicks to essential and non-essential amino acid supplementation of low crude protein diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 118: 319-327.
- Corzo, A., M. T. Kidd, W. A. Dozier III und S. L. Vieira. 2007. Marginality and needs of dietary valine for broilers fed certain all-vegetable diets. *J. Appl. Poult. Res.* 16: 546-554.
- Corzo, A., R.E. Loar II und M. T. Kidd. 2009. Limitations of dietary isoleucine and valine in broiler chick diets. *Poult. Sci.* 88: 1934-1938.
- Corzo, A., W. A. Dozier III, R. E. Loar II, M. T. Kidd und P. B. Tillman. 2010. Dietary limitation of isoleucine and valine in diets based on maize, soybean meal, and meat and bone meal for broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 51: 558-563.
- Cota, D., K. Proulx, K. A. Blake Smith, S. C. Kozna, G. Thomas, S. C. Woods und R. J. Seeley. 2006. Hypothalamic mTOR signaling regulates food intake. *Science* 312: 927-930.
- CVB. 2010. *Tabellenboek Veevoeding 2010*. Productshap Diervoeder, Den Haag, Niederlande, p. 60.
- Davis, T., A. Suryawan, F. Wilson, M. Fiorotto, M. Gazzaneo und R. Orellana. 2010. Prolonged stimulation of protein synthesis by leucine is dependent on amino acid availability. In: G. M. Croveto (Hrsg.): *Energy and protein metabolism and nutrition. 3rd EAAP International Symposium on energy and protein metabolism and nutrition*. 6.-10. September 2010, Parma, Italien, pp.253-254.
- Dean, D. W., Bidner, T. D. und L. L. Southern. 2006. Glycine supplementation to low protein, amino acid-supplemented diets support optimal performance of broiler chicks. *Poult. Sci.* 85: 288-296.

- de Castro Goulart, C., F. G. P. Costa, J. H. V. da Silva, J. G. de Souza, V. P. Rodrigues und C. F. S. de Oliveira. 2011. Requirements of digestible methionine + cystine for broiler chickens at 1 to 42 days of age. *R. Bras. Zootec.* 40: 797-803.
- Di Battista, D. 1987. Control of protein intake in golden hamster. *Physiology & Behavior* 39: 1-10.
- Dixon, W. J. und F. J. Massey, Jr. 1969. *Introduction to Statistical Analysis*. New Dehli: Mc Graw-Hill.
- Dozier III W. A., A. Corzo, M. T. Kidd, P. B. Tillman und S. L. Branton. 2011. Determination of the fourth and fifth limiting amino acids in broilers fed on diets containing maize, soybean meal and poultry by-product meal from 28 to 42 d of age. *Br. Poult. Sci.* 52: 238-244.
- Escobar, J., J. Frank, A. Suryawan, H. Nguyen, S. Kimball und L. Jefferson. 2006. Regulation of cardiac and skeletal muscle protein synthesis by individual branched-chain amino acids in neonatal pigs. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 290: E612-E621.
- Escobar, J., J. Frank, A. Suryawan, H. Nguyen und T. Davis. 2007. Amino acid availability and age affect the leucine stimulation of protein synthesis and eIF4F formation in muscle. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 293: E1615-E1621.
- Ettle, T. und F. X. Roth. 2004. Specific dietary selection for tryptophan by the piglet. *J. Anim. Sci.* 82: 1115-1121.
- Evonik. 2010. AMINO Dat 4.0. Platinum Version. Evonik Degussa Ltd., Health & Nutrition, Hanau-Wolfgang, Germany.
- FAO. 2006. World Agriculture towards 2030/2050. Interim report. Global Perspective Studies Unit. FAO, Rome, Italy.
- FAOSTAT (2013). <http://faostat3.fao.org/home/index.html#HOME>.

- Farran, M. T. und O. P. Thomas. 1992a. Valine deficiency. 1. The effect of feeding a valine-deficient diet during the starter period on performance and feather structure of male broiler chicks. *Poult. Sci.* 71: 1879-1884.
- Farran, M. T. und O. P. Thomas. 1992b. Valine deficiency. 2. The effect of feeding a valine-deficient diet during the starter period on performance and leg abnormality of male broiler chicks. *Poult. Sci.* 71: 1885-1890.
- Fuller, M. F. (Editor). 2004. *The Encyclopedia of Farm Animal Nutrition*. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Garcia, A. R., A. B. Batal und D. H. Baker. 2006. Variations in the digestible lysine requirement of broiler chickens due to sex, performance parameters, rearing environment and processing yield characteristics. *Poult. Sci.* 85: 498-504.
- Gatnau, R., D. N. Zimmerman, M. Wannemuehler und R. Ewan. 1995. Effects of excess dietary leucine and leucine catabolites on growth and immune responses in weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 159-165.
- Gebhardt, G. 1966. Die Bewertung der Eiweißqualität von Nahrungs- und Futtermitteln mit Hilfe des N-BilanzExperimentes. In: Hock, A.: *Vergleichende Ernährungslehre des Menschen und seiner Haustiere*. Gustav Fischer Verlag Jena, Germany, pp. 323-348.
- Gibson, N. R., F. Jahoor, L. Ware und A. A. Jackson. 2002. Endogenous glycine and tyrosine production is maintained in adults consuming a marginal-protein diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 75: 511-518.
- Gietzen, D. W. und Q. R. Rogers. 2006. Nutritional homeostatis and indispensable amino acid sensing: a new solution to an old puzzle. *Trends in Neuroscience* 29: 91-99.
- Gietzen, D. W., S. Hao und T. G. Anthony. 2007. Mechanisms of food intake repression in indispensable amino acid deficiency. *Annu. Rev. Nutr.* 27: 63-78.
- GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie). 1999. *Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler)*. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Germany.

- GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungs-physiologie). 2006. *Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen*. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Germany.
- Gloaguen, M., N. Le Floch, E. Corrent, Y. Primot und J. van Milgen. 2012. Providing a diet deficient in valine but with excess leucine results in a rapid decrease in feed intake and modifies the postprandial plasma amino acid and α -keto acid concentrations in pigs. *J. Anim. Sci.* 90: 3135-3142.
- Gous, R. M. und T. R. Morris. 1985. Evaluation of diet dilution technique for measuring the response of broiler chickens to increasing concentrations of lysine. *Br. Poult. Sci.* 26: 147-161.
- Graber, G. und D. H. Baker. 1973. The essential nature of glycine and proline for growing chickens. *Poult. Sci.* 52: 892-896.
- Han, Y. und D. H. Baker. 1991. Lysine requirements of fast- and slow- growing broiler chicks. *Poult. Sci.* 70: 2108-2114.
- Hao, S., J. W. Sharp, C. M. Ross-Inta, B. J. McDaniel, T. G. Anthony, R. C. Wek, D. R. Cavener, B. C. McGrath, J. B. Rudell, T. J. Koehnle und D. W. Gietzen. 2005. Uncharged tRNA and sensing of amino acid deficiency in mammalian piriform cortex. *Science* 307: 1776-1778.
- Harper, A., D. Benton und C. Elvehjem. 1955. L-Leucine, an isoleucine antagonist in the rat. *Arch. Biochem. Biophys.* 57: 1–12.
- Harper, A., R. Miller und K. Block. 1984. Branched-chain amino acid metabolism. *Ann. Rev. Nutr.* 4: 409–454.
- Havenstein, G. B., P. R. Ferket und M. A. Qureshi. 2003a. Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult. Sci.* 82: 1500-1508.
- Havenstein, G. B., P. R. Ferket und M. A. Qureshi. 2003b. Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult. Sci.* 82: 1509-1518.

- Hoehler, D. und A. Lemme. 2005. Broiler diet formulation: Using SID. Feed International November/December: 14-18.
- Hybrimin, 2003. Fumi für Windows- Futteroptimierung, Vers. 3.9, HYBRIMIN® Computer und Programme für den Agrarbereich. Hessisch Oldendorf, Germany.
- Kand'ár, R., P. Žáková, J. Jirošová und M. Sladké. 2009. Determination of branched-chain amino acids, methionine, phenylalanine, tyrosine and α -keto acids in plasma and dried blood samples using HPLC with fluorescence detection. Clin. Chem. Lab. Med. 47: 565-572.
- Kerr, B. J. und M. T. Kidd. 1999. Amino acid supplementation of low-protein broiler diets: 1. Glutamic acid and indispensable amino acid supplementation. J. Appl. Poult. Res. 8: 298-309.
- Khan, D., C. Wecke und F. Liebert. 2013. Modeling of methionine requirement in naked neck meat type chicken compared to normally feathered counter parts. 19th European Symposium on Poultry Nutrition. August 26-29, 2013. Potsdam, Germany.
- Kidd, M. T., D. J. Burnham und B. J. Kerr. 2004. Dietary isoleucine responses in male broiler chickens. Br. Poult. Sci. 45: 67-75.
- Kirchgessner, M., M. Kreuzer und H. Steinhart. 1987. Wirkungen unterschiedlicher Energie- und Proteingehalte in der Ration auf den Ansatz einzelner Aminosäuren beim Broiler. Landwirtsch. Forschung 40: 181-195.
- Langer, S., P. W. D. Scislowski, D. S. Brown, P. Dewey und M. F. Fuller. 2000. Interactions among the branched-chain amino acids and their effects on methionine utilization in growing pigs: effects on plasma amino- and keto-acid concentrations and branched-chain keto acid dehydrogenase activity. Br. J. Nutr. 83: 49-58.
- Le Bellego, L. und J. Noblet. 2002. Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets. Livest. Prod. Sci. 76: 45-58.
- Leclercq, B. 1998. Specific effects of lysine on broiler production: comparison with threonine and valine. Poult. Sci. 77: 118-123.

- Leshner, A. I. 1972. Dietary self-selection by pregnant and lactating rats. *Physiology & Behavior* 8: 151-154.
- Leslie, S. und L. Saunders. 1985. Measurement of branched chain α -keto acids in blood plasma of domestic fowl. *Comp. Biochem. Physiol.* 80B: 99-102.
- Liebert, F. und Gebhardt, G. 1986. Ergebnisse zur Wirksamkeit und zum Bedarf an ausgewählten Aminosäuren beim wachsenden weiblichen Schwein. 1. Mitteilung: Lysin. *Arch. Anim. Nutr.* 36: 1077-1086.
- Liebert, F. und Gebhardt, G. 1987. Ergebnisse zur Wirksamkeit und zum Bedarf an ausgewählten Aminosäuren beim wachsenden weiblichen Schwein. 2. Mitteilung: Methionin/Cystin. *Arch. Anim. Nutr.* 37: 159-167.
- Liebert, F. und Gebhardt, G. 1988a. Ergebnisse zur Wirksamkeit und zum Bedarf an ausgewählten Aminosäuren beim wachsenden weiblichen Schwein. 5. Mitteilung: Kombination von Proteinträgern zur Ableitung der Lysinwirksamkeit mit Hilfe des Differenzverfahrens. *Arch. Anim. Nutr.* 38: 27-36.
- Liebert, F. und Gebhardt, G. 1988b. Ergebnisse zur Wirksamkeit und zum Bedarf an ausgewählten Aminosäuren beim wachsenden weiblichen Schwein. 6. Mitteilung: Zusammenfassende Diskussion und Wertung sowie Anwendungsempfehlungen zur vorgestellten Methode. *Arch. Anim. Nutr.* 38: 453-462.
- Liebert, F. und K. Benkendorff. 2007. Modelling of threonine and methionine requirements of *Oreochromis niloticus* due to principles of a diet dilution technique. *Aquaculture Nutr.* 13: 397-406.
- Lynch, C., S. Hutson, B. Patson, A. Vaval und T. Vary. 2002a. Tissue-specific effects of chronic dietary and norleucine supplementation on protein synthesis in rats. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 283: E824-E835.
- Lynch, C., B. Patson, J. Anthony, A. Vaval, L. Jefferson und T. Vary. 2002b. Leucine is a direct-acting nutrient signal that regulates protein synthesis in adipose tissue. *Am. J. Physiol. Endocrinol.* 283: E503-E513.
- Mack, S., D. Bercovici, G. de Groote, B. Leclercq, M. Lippens, M. Pack, J. B. Schutte und S. van Cauwenberghe. 1999. Ideal amino acid profile and die-

- tary lysine specifications for broiler chickens of 20 to 40 days of age. Br. Poult. Sci. 40: 257-265.
- Mitchell, H. 1924. A method of determining the biological value of proteins. J. Bio. Chem. 58: 873-903.
- Morales, A., H. Garcia, A. Araiza, J. K. Htoo, M. Cota, N. Arce und M. Cervantes. 2012. Effect of L-valine supplementation to a wheat-based diet with leucine excess on performance, gene expression, and serum concentration of amino acids. J. Anim. Sci. 90: 89-91.
- Müller, R. und D. Hötzel. 1957. Zur Frage des Vergleichs von Ratte und Schwein bei der Proteinbewertung. Arch. Tierernährg. 7: 233-243.
- Müller, A., T. Pahle und G. Gebhardt. 1989: Parameter des N-Umsatzes männlicher Broiler der Herkunft Tetra 82. Arch. Anim. Nutr. 39: 901-910.
- Naumann, K. und R. Bassler. 1976-1997. VDLUFA-Methodenbuch III. *Die chemische Untersuchung von Futtermitteln*. VDLUFA-Verlag. Darmstadt, Germany.
- Neto, R. C. L. 2010. In: Ospina-Rojas, I. C., A. E. Murakami, C. Eyng, R. V. Nunes, C. R. A. Duarte und M. D. Vargas. 2012. Commercially available amino acid supplementation of low-protein diets for broiler chickens with different ratios of digestible glycine+serine:lysine. Poult. Sci. 91: 3148-3155.
- NRC (National Research Council). 1994. *Nutrient Requirements of Poultry. Ninth Revised Edition*. Natl. Acad. Press, Washington, D.C., USA.
- NRC (National Research Council). 2012. *Nutrient Requirements of Swine. Eleventh Revised Edition*. Natl. Acad. Press, Washington, D.C., USA.
- Oser, B. L. 1951. Method for integrating essential amino acid content in the nutritional evaluation of protein. J. Am. Diet. Ass. 27: 396-402.
- Ospina-Rojas, I. C., A. E. Murakami, C. Eyng, R. V. Nunes, C. R. A. Duarte und M. D. Vargas. 2012. Commercially available amino acid supplementation of low-protein diets for broiler chickens with different ratios of digestible glycine+serine:lysine. Poult. Sci. 91: 3148-3155.

- Pastor, A. and F. Liebert. 2011. Inclusion of metabolic availability of amino acids is needed for protein evaluation of processed plant protein sources. Proc. Soc. Nutr. Physio. 20: 29, DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Germany.
- Pastor, A. and F. Liebert. 2012. N-utilization parameters are modulated when semi-synthetic mixtures with new protein sources are blended with a commercial feed for laboratory rats. Proc. Soc. Nutr. Physio. 21: 42, DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Germany.
- Rieu, I., C. Sornet, G. Bayle, J. Prugnaud, C. Pouyet und M. Balage. 2003. Leucine-supplemented meal feeding for ten days beneficially affects postprandial muscle protein synthesis in old rats. J. Nutr. 133: 1198-1205.
- Rimbach, M. G. 2002. Dissertation: Untersuchungen zum leistungsabhängigen Threoninbedarf männlicher Broiler auf der Grundlage von N-Bilanzmessungen und Wachstumstest. Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Germany.
- Rostagno, H. S. (editor) (2005): Brazilian Tables for Poultry and Swine. Composition of Feedstuffs and Nutritional Requirements. 2nd edition. Departamento de Zootecnia, Viçosa, Brazil.
- Roth, F. X., C. Meindl und T. Ettle. 2006. Evidence of dietary selection for methionine by the piglet. J. Anim. Sci. 84: 379-386.
- Samadi und F. Liebert. 2006a. Estimation of nitrogen maintenance requirements and potential for nitrogen deposition in fast-growing chickens depending on age and sex. Poult. Sci. 85: 1421-1429.
- Samadi und F. Liebert. 2006b. Modeling threonine requirement depending on age, protein deposition, dietary threonine efficiency and sex of fast growing chickens. Poult. Sci. 85: 1961-1968.
- Samadi und F. Liebert. 2007a. Lysine requirement of fast growing chickens - effect of age, sex, level of protein deposition and dietary lysine efficiency. J. Poult. Sci. 44: 63-72.

- Samadi und F. Liebert. 2007b. Threonine requirement of slow growing male chickens depends on age and dietary efficiency of threonine utilization. *Poult. Sci.* 86: 1140-1148.
- Samadi und F. Liebert. 2008. Modelling the optimal lysine to threonine ratio in growing chickens depending on age and efficiency of dietary amino acid utilization. *Brit. Poult. Sci.* 49: 45-54.
- Siegert, W., H. Ahmadi, M. Rodehutschord. 2013. A meat-analysis of the influence of glycine and serine on growth and feed conversion of broilers used mixed model methodology. *Proc. Soc. Nutr. Physio.* 22: 108, DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Germany.
- Sklan, D. und Y. Noy. 2005. Direct determination of optimal amino acid intake for maintenance and growth in broilers. *Poult. Sci.* 84: 412-418.
- Spolter, P. und A. Harper. 1961. Leucine-isoleucine antagonism in the rat. *Am. J. Physiol.* 200: 513-518.
- Statistisches Bundesamt. 2012. *Statistisches Jahrbuch. Deutschland und Internationales*. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, Germany.
- Taherkhani, R., M. Shivazad, M. Zaghari und A. Zare Shahneh. 2005. Male and female response to different ideal amino acid ratios during the second and third weeks posthatch. *Int. J. Poult. Sci.* 4: 563-567.
- Taherkhani, R., M. Shivazad, M. Zaghari und A. Zare Shahneh. 2008. Comparison of different ideal amino acid ratios in male and female broiler chickens of 21 to 42 days of age. *J. Poult. Sci.* 45: 15-19.
- Tavernari, F. C., G. R. Lelis, R. A. Vieira, H. S. Rostagno, L. F. T. Albino und A. R. O. Neto. 2013. Valine needs in starting and growing Cobb (500) broilers. *Poult. Sci.* 92: 151-157.
- Thomas, K. 1909. Über die biologische Wertigkeit der Stickstoff-Substanzen in verschiedenen Nahrungsmitteln. *Arch. Physiol.* 219: 219.

- Thong, H. T. und F. Liebert. 2004a. Amino acid requirement of growing pigs depending on amino acid efficiency and level of protein deposition 1st communication: lysine. *Arch. Anim. Nutr.* 58: 69-87.
- Thong, H. T. und F. Liebert. 2004b. Amino acid requirement of growing pigs depending on amino acid efficiency and level of protein deposition. 2nd communication: threonine. *Arch. Anim. Nutr.* 58: 157-168.
- Thong, H. T. und F. Liebert. 2004c. Potential for protein deposition and threonine requirement of modern genotype barrows fed graded levels of protein with threonine as the limiting amino acid. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 88: 196-203.
- Torrazza, R., A. Suryawan, M. Gazzaneo, R. Orellana, J. Frank und H. Nguyen. 2010. Leucine supplementation of a low-protein meal increases skeletal muscle and visceral tissue protein synthesis in neonatal pigs by stimulating mTOR-dependent translation initiation. *J. Nutr.* 140: 2145-2152.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2012a. International egg and poultry review. *USDA* 15: 12.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2012b. EU-27. Poultry and Products Annual. EU-27 Broiler and Turkey Sectors to Grow in 2012 and 2013 (http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDQQFjAA&url=http%3A%2F%2Fgain.fas.usda.gov%2FRecent%2520GAIN%2520Publications%2FPoultry%2520and%2520Products%2520Annual_Paris_EU-27_8-31-2012.pdf&ei=lxUSUomiL8S1tAb3vYHgAQ&usg=AFQjCNFjqXZ0sonRKwD5BQkk_qdfAEoltQ&bvm=bv.50768961,d.Yms).
- Wang, T. C. und M. F. Fuller. 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 1. Experiments by amino acid deletion. *Br. J. Nutr.* 62: 77-89.
- Walz, O. P. und J. Pallauf. 1989. Untersuchungen zum Vergleich des Bilanzverfahrens und der Tierkörperanalyse zur Messung des Protein-, Energie- und Mi-

- neralstoffansatzes von Aufzuchtferkeln. 1. Mitteilung. Methode, Stickstoff- und Energieansatz. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 61: 275-288.
- Wecke, C. und F. Liebert. 2009. Lysine requirement studies in modern genotype barrows dependent on age, protein deposition and dietary lysine efficiency. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 93: 295-304.
- Wecke, C. und F. Liebert, 2010. Optimal dietary lysine to threonine ration in pigs (30-110 kg BW) derived from observed dietary amino acid efficiency. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 94: e277- e285.
- Wecke, C. und F. Liebert. 2013. Improving the reliability of optimal in-feed amino acid ratios based on individual amino acid efficiency data from N balance studies in growing chicken. *Animals* 3: 558-573.
- Wiltafsky, M. K. 2009. Dissertation: Isoleucine and valine requirements of piglets and activity and gene expression of key enzymes of the branched-chain amino acid metabolism in response to dietary leucine excess. Technische Universität München, München, Germany.
- Wiltafsky, M. K., J. Bartelt, C. Relandeau und F. X. Roth. 2009. Estimation of the optimum ratio of standardized ileal digestible isoleucine to lysine for eight- to twenty-five-kilograms pigs in diets containing spray-dried blood cells or corn gluten feed as a protein source. *J. Anim. Sci.* 87: 2554-2564.
- Wiltafsky, M. K., Pfaffl, M. und Roth, F. 2010. The effects of branched-chain amino acids interactions on growth performance, blood metabolites, enzymes kinetics and transcriptomics in weaned pigs. *Br. J. Nutr.* 103: 964-976.
- Wilson, F.A., A. Suryawan, R. A. Orellana, M. C. Gazzaneo, H.V. Nguyen und T. A. Davis. 2011. Differential effects of long-term leucine infusion on tissue protein synthesis in neonatal pigs. *Amino. Acids* 40: 157-165.
- Wu, G. 1998. Intestinal mucosal amino acid catabolism *J. Nutr.* 128: 1249-1252.
- Wu, G., Wu, Z., Dai, Z., Y. Yang, W. Wang, C. Liu, B. Wang, J. Wang und Y. Yin. 2013. Dietary requirements of „nutritionally non-essential amino acids“ by animals and humans. *Amino Acids.* 44: 1107-1113.

- Yen, J. T., B. J. Kerr, R. A. Easter und A. M. Parkhurst. 2004. Difference in rates of net portal absorption between crystalline and protein-bound Lys and Thr in growing pigs fed once daily. *J. Anim. Sci.* 82: 1079-1090.
- Yin, Y., K. Yao, Z. Liu, M. Gong, Z. Ruan und D. Deng. 2010. Supplementing L-leucine to a low-protein diet increases tissue protein synthesis in weanling pigs. *Amino Acids* 39: 1477-1486.

10 Lebenslauf

Anja Pastor
geboren am 24.07.1984 in Münster

seit 11/2010

Doktorandin

Department für Nutztierwissenschaften Tierernährungsphysiologie

Georg-August Universität Göttingen

Arbeitsthema: „Studien zur Aminosäurewirksamkeit beim Mastgeflügel unter spezifischer Betrachtung der verzweigt-kettigen Aminosäuren“

10/2008 – 10/2010

Studium der Agrarwissenschaften

Schwerpunkt Nutztierwissenschaften

Abschluss: M. Sc. Agr. (Note: 1,5)

Georg-August Universität Göttingen

Thema der Masterarbeit: „Rapsproteine – eine vergleichende Bewertung von Proteinqualitätsparametern am Beispiel der Labormaus“, ausgezeichnet durch die H. Wilhelm Schaumann Stiftung zu Hamburg

10/ 2005 - 10/2008

Studium der Agrarwissenschaften

Schwerpunkt Nutztierwissenschaften

Abschluss: B. Sc. Agr. (Note: 1,7)

Georg-August Universität Göttingen

Thema der Bachelorarbeit: „Einflussfaktoren auf die Wasseraufnahme bei Milchkühen“

08/2004 - 07/2005

Freiwilliges Ökologische Jahr

Biologische Station Senne e.V.

Hövelriege

03/2004 - 08/2004

Studium der Lebensmitteltechnologie

FH Lippe und Höxter

Lemgo

1994 - 2003

Abitur (N.C.: 2,3)

Hans-Ehrenberg-Schule

Bielefeld-Sennestadt

1990 – 1994:

Grundschule

Lipperreihe

11 Wissenschaftliche Publikationen und Beiträge zu wissenschaftlichen Tagungen

A. Pastor, C. Wecke und F. Liebert. 2014. Investigations to validate the observed ideal amino acid ratio for the branched-chained amino acids in meat type chickens based on an amino acid efficiency approach. Tagung der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, 18. - 20.03.2014, Göttingen. Eingereicht.

Samadi, A. Pastor und F. Liebert. 2014. Misleading conclusion about lysine requirement of growing chicken by dose-response studies when feed intake is a factor of influence. Tagung der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, 18. - 20.03.2014, Göttingen. Eingereicht.

A.Pastor, C. Wecke und F. Liebert. 2013. Assessing the age dependent optimal dietary Branched-Chain Amino Acid Ratio in growing Chicken by application of a Non-linear Modeling Procedure. *Poult. Sci.* 92: 3184-3195.

A.Pastor, C. Wecke und F. Liebert. 2013. Reevaluation of the lysine requirement for meat type chickens by non-linear modeling of dietary lysine efficiency. 19th European Symposium on Poultry Nutrition. 26. - 29.08.2013, Potsdam, Deutschland.

C. Wecke, A.Pastor und F. Liebert. 2013. Ideal in-feed amino acid ratios for growing broiler chicken based on individual amino acid efficiency data derived from N balance studies. 19th European Symposium on Poultry Nutrition. 26. - 29.08.2013, Potsdam, Deutschland.

A. Pastor, A. Sünder und F. Liebert. 2013. Time course of branched-chain- α -ketoacids in broiler chicken following graded fasting: Which is the sensitive time for blood sampling? In: J. W. Oltjen *et al.* (ed.). Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production. EAAP publication No. 134. Sacramento, U.S.A, 425-426.

A. Pastor, C. Wecke und F. Liebert. 2013. Assessment of ideal dietary amino acids ratios between branched-chain amino acids for growing chicken. In: J. W. Oltjen *et al.* (ed.). Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production. EAAP publication No. 134. Sacramento, U.S.A, 335-336.

A. Pastor und F. Liebert. 2013. Amino acid efficiency based assessment of the quantitative requirement for branched-chain amino acids in meat type chicken. Tagung der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Proc. Soc. Nutr. Physiol. 22:142.

M. Fleddermann, A. Fechner, A. Rößler, M. Bähr, A. Pastor, F. Liebert und G. Jahreis. 2012. Nutritional evaluation of rapeseed protein compared to soy protein for quality, plasma amino acids, and nitrogen balance – A randomized cross-over intervention study in humans. Clin. Nutr. 4: 519-526.

A. Pastor und F. Liebert. 2012. N-utilization parameters are modulated when semi-synthetic mixtures with new protein sources are blended with a commercial feed for laboratory rats. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 21: 42.

A. Pastor und F. Liebert. 2011. Wirkungen verzweigtkettiger Aminosäuren, insbesondere von Leucin, im Proteinstoffwechsel wachsender monogastrischer Labor- und Nutztiere. Übers. Tierernährg. 39: 105-145.

A. Pastor und F. Liebert. 2011. Inclusion of metabolic availability of amino acids is needed for protein evaluation of processed plant protein sources. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 20: 29.

Anhang I – Publikationen

Publikation I

**WIRKUNGEN VERZWEIGTKETTIGER AMINOSÄUREN,
INSBESONDERE VON LEUCIN,
IM PROTEINSTOFFWECHSEL WACHSENDER
MONOGASTRISCHER LABOR- UND NUTZTIERE**

*EFFECTS OF BRANCHED-CHAIN AMINO ACIDS, IN PARTICULAR OF LEUCINE, ON
PROTEIN METABOLISM OF GROWING MONOGASTRIC LABORATORY
AND FOOD PRODUCING ANIMALS*

VON/BY:

A. PASTOR UND F. LIEBERT

2011 Übersichten Tierernährung 39: 105-145

Druck mit freundlicher Genehmigung von Herrn Prof. Dr. J. Kamphues

ÜBERS. TIERERNÄHRG. 39 (2011), 105-145

**WIRKUNGEN VERZWEIGTKETTIGER AMINOSÄUREN,
INSBESONDERE VON LEUCIN,
IM PROTEINSTOFFWECHSEL WACHSENDER
MONOGASTRISCHER LABOR- UND NUTZTIERE**

*EFFECTS OF BRANCHED-CHAIN AMINO ACIDS, IN PARTICULAR OF LEUCINE, ON
PROTEIN METABOLISM OF GROWING MONOGASTRIC LABORATORY
AND FOOD PRODUCING ANIMALS*

von/by:

A. Pastor und F. Liebert

GLIEDERUNG:

- 1 Einleitung
- 2 Zum Metabolismus der verzweigt-kettigen Aminosäuren
 - 2.1 Abbau durch die BCAA-Aminotransferase
 - 2.2 Abbau durch die BCAA-Dehydrogenase
 - 2.3 Katabolisierung der BCAA in Organen und Geweben
 - 2.4 Einfluss der Fütterung auf die Katabolisierung von BCAA
- 3 Auswirkungen einer exzessiven Leucin-Gabe
 - 3.1 BCAA-Antagonismus und Leistung
 - 3.2 Aminosäuren-Gehalte im Blutplasma
- 4 Bedarf an Verzweigt-kettigen Aminosäuren (BCCA)
- 5 Wirkungen von Leucin auf Prozesse der Proteinsynthese
 - 5.1 Vorstellungen über die Wirkungsweise von Leucin
 - 5.2 Studien zu Wirkungen von Leucin auf die Proteinsynthese
 - 5.2.1 Körperliche Belastung
 - 5.2.2 Altersabhängige Effekte
 - 5.2.3 N-defizitäre Versorgung und Futterrestriktion
 - 5.2.4 Gewebespezifische Effekte
 - 5.2.5 Die Bedeutung des Insulins
- 6 Schlussfolgerungen
- 7 Schrifttum

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der modernen Nutztierhaltung ist ein hoher Muskel- und Proteinansatz bei gleichzeitiger Ressourcenschonung durch eine möglichst effiziente Nährstoffnutzung im Rahmen der physiologischen Möglichkeiten. Neben optimierten Ausschöpfungskonzepten rücken auch einzelne Aminosäuren, die über eine Stimulierung der Proteinsynthese bzw. eine Verminderung der Proteolyse einen Einfluss auf die Effizienz des Proteinansatzes nehmen können, stärker in den Focus. Hierzu gehört vor allem das Leucin als eine der drei verzweigtkettigen Aminosäuren (engl.: branched-chain amino acids, BCAA). Die verzweigtkettigen Aminosäuren werden zunächst unter besonderer Beachtung von versorgungsabhängigen Antagonismen zwischen den BCAA und ihrer Stoffwechselbesonderheiten betrachtet. Beteiligte Enzymsysteme, gewebspezifische Umsetzungen, Auswirkungen variierender Versorgungsgrade und Vorstellungen über Wirkmechanismen von Leucin auf einzelne Prozesse der Proteinsynthese finden hauptsächlich Beachtung. Zur Einordnung der Befunde werden auch Kenntnisse zu Bedarfsverhältnissen zusammengefasst. Diverse Studien konnten zeigen, dass eine höhere Leucin-Versorgung einen positiven Einfluss auf die Proteinsynthese nehmen kann. Neben beschleunigter Erholung der Skelettmuskulatur nach physischen Belastungen konnte altersabhängig eine verminderte Proteolyse nach zusätzlichen Leucin-Gaben beobachtet werden. Bei proteinreduzierten Futtermischungen, ebenso wie unter der Bedingung eines Futterentzuges, sind auf Grund vorliegender Kenntnisse besondere Wirkungen zusätzlicher Leucin-Gaben auf bestimmte Prozesse der Proteinsynthese im Muskel gegeben. Synergetische Interaktionen zwischen Leucin-Versorgung und Insulin werden vermutet.

Schlüsselwörter: Verzweigtkettige Aminosäuren, Antagonismus, Leucin, Leistung, Muskelproteinsynthese, Proteolyse

SUMMARY

The aim of modern livestock husbandry is a high deposition of muscle and protein. Simultaneously, enhanced sustainability by improved efficiency of nutrient utilization has to be achieved within the physiological frame. Optimized strategies to make use of genetic growth potential as well as individual amino acids with influence on protein synthesis processes and its efficiency are getting more attention. In this context, Leucine as one of the branched-chain amino acids (BCAA) is of special interest. The BCAA are discussed related to antagonisms and metabolism depending on dietary supply. Enzyme systems, specifics of tissues, effects of different BCAA-supply as well as mode of action on protein synthesis are of special interest. Additionally, optimal dietary ratios of BCAA are reported. Several studies have demonstrated leucine effects on protein synthesis processes under varying conditions. At restricted dietary protein supply and fasting, additional effects of enhanced leucine supply on muscle protein synthesis can be expected. In addition, synergistic interactions between leucine supply and insulin are supposed.

Key words: branched-chain amino acids, antagonism, leucine, performance, muscle protein synthesis, proteolysis

1 EINLEITUNG

Die wachsende Nachfrage nach Lebensmitteln tierischer Herkunft einerseits und der Rückgang von landwirtschaftlicher Nutzfläche andererseits zwingen zur Ressourcenschonung, insbesondere im Hinblick auf den Proteinträgerinsatz (BMBF, 2010). Hierzu muss die Effizienz der Proteinverwertung im Rahmen der physiologischen Möglichkeiten gesteigert werden, um neben der Ressourcenschonung zugleich die Stickstoffausscheidungen zu minimieren. Da Verdaulichkeitssteigerungen bei der Proteinfraktion begrenzt sind, liegt vermutlich die entscheidende Reserve im Prozess der intermediären Verwertung. Futtermischungen mit abgesenkten Proteingehalten gehören seit geraumer Zeit zu den etablierten Maßnahmen für eine Reduzierung von N-Verwertungsverlusten, müssen aber dennoch den quantitativen Bedarf an Aminosäuren von schnell wachsenden Tieren decken. Die konsequente Auslotung der Möglichkeiten des Konzepts „Idealprotein“ wird weiterhin zur Minimierung von Stickstoffverlusten beitragen. Entscheidend hierfür wird sein, alle unentbehrlichen¹ AS bei dieser Optimierung des AS-Angebotes auf Grundlage quantitativer Untersuchungsbefunde zu berücksichtigen. Nach aktueller Einschätzung sind dabei auch die verzweigt-kettigen Aminosäuren (engl.: branched-chain amino acids, BCAA) Isoleucin, Leucin und Valin zu berücksichtigen.

In Tabelle 1 sind Angaben zu BCAA-Gehalten wichtiger Futtermittel sowie zur praecaecalen Verdaulichkeit zusammengefasst. Bezüglich der Verdaulichkeit lassen sich keine gerichteten Unterschiede zwischen den BCAA und weiteren unentbehrlichen AS erkennen. Im Hinblick auf die AS-Gehalte wird deutlich, dass die Leucin-Gehalte sehr hoch liegen, insbesondere im Mais als wichtiger Getreidekomponente in der Geflügel- und Schweinfütterung. Ein Leucin-Defizit ist unter üblichen Ernährungsbedingungen demnach weitgehend auszuschließen. Für die Broilerernährung, in der Mais und Sojaschrot wesentliche Komponenten darstellen, können Val und Ile nach Met, Lys sowie Thr die limitierende Rolle einnehmen (FERNANDEZ et al., 1994; CORZO et al., 2007). Zudem ist unter dem Aspekt zunehmend proteinreduzierter Fütterungssysteme einem potenziellen Versorgungsdefizit vorzubeugen², das durch bestehende Antagonismen zwischen den BCAA verstärkt werden kann. Eine besondere Beachtung von Leucin ist demzufolge weniger unter dem Aspekt einer Unterversorgung, sondern im Zusammenhang mit den Auswirkungen dieser Antagonismen interessant, die bei Nichtbeachtung eine Rolle spielen können. Zudem verdienen spezifische Effekte auf die Regulation von Proteinsyntheseprozessen besondere Bedeutung.

In der vorliegenden Arbeit soll deshalb ein Überblick zu grundlegenden Studien mit der Thematik Branched-Chain Amino Acids gegeben werden. Neben allgemeinen Aspekten wie dem Aufbau der BCAA wird ein Schwerpunkt auf Leucin im Besonderen liegen und dessen Einfluss auf Synthese- und Abbauprozesse der Proteine näher eruiert.

Weiterhin sollen Antagonismen zwischen den BCAA sowie ihre quantitative Bedeutung aufgezeigt werden. Ebenso werden Auswirkungen exzessiver Leucin-Gaben auf den Stoffwechsel und die Aminosäuren-Verfügbarkeit diskutiert.

Insgesamt verfolgen die Darstellungen das Ziel, die Rolle der BCAA und insbesondere des Leucins bei der Einflussnahme auf Proteinsyntheseprozesse zu bewerten und ihre Bedeutung bei der Weiterentwicklung quantitativer Bedarfswerte zu diskutieren. Letztlich sollen auch

¹ Angelehnt an FULLER (2004) wird der alternativen Formulierung und Unterscheidung in unentbehrliche (indispensable) sowie entbehrliche (dispensable) AS nachfolgend der Vorzug gegeben, um Fehldeutungen durch aktuelle Verwendungen des Begriffes „essential“ im englischen Sprachraum (z.B. „Essential oils“) vorzubeugen

² L-Ile und L-Val sind seit 2009 als Futterzusatzstoffe zugelassen

Ansatzpunkte aufgezeigt werden, die zur Quantifizierung optimaler BCAA-Verhältnisse im Konzept des Idealproteins beitragen können.

Tabelle 1: Übersicht zu Gehalt und praecaecaler Verdaulichkeit verzweigtkettiger Aminosäuren in ausgewählten Futtermitteln sowie im Körperprotein von Schwein und Geflügel.

Table 1: Content and praecaecal digestibility of branched-chain amino acids in selected feedstuffs as well as in body protein of pigs and growing chicken.

Futtermittel	Gehalt (g/kg uS)		Aminosäurenmuster (gAS/100g Rohprotein) ³				Standardisierte praecaecale Verdaulichkeit (%) ⁴				
	Rohprotein	Lys	Lys	Leu	Val	Ile	Lys	Leu	Val	Ile	Met
Gerste	108	3,90	3,61 (100) (53)	6,76 (187) (100)	4,81 (133) (71)	3,42 (95) (51)	73	79	78	79	82
Weizen	119	3,30	2,81 (100) (43)	6,59 (235) (100)	4,20 (149) (64)	3,31 (118) (50)	88	91	89	92	88
Mais	80	2,40	3,07 (100) (26)	11,99 (391) (100)	4,65 (151) (39)	3,36 (109) (28)	79	89	87	86	85
Sojaextraktionsschrot	469	28,70	6,12 (100) (81)	7,60 (124) (100)	4,74 (77) (62)	4,54 (74) (60)	87	85	82	86	88
Rapsextraktionsschrot	353	18,10	5,15 (100) (76)	6,81 (132) (100)	4,96 (96) (73)	3,87 (75) (57)	73	76	71	74	82
Fischmehl	592	40,40	6,73 (100) (101)	6,68 (99) (100)	4,56 (68) (68)	3,85 (57) (58)	87	89	86	87	88
Körpermasse											
Schwein (25-60 kg) ⁵	150	10,5	7,0 (100) (99)	7,1 (101) (100)	4,5 (64) (63)	3,5 (50) (49)					
Hähnchen ⁶	165	11,6	7,0 (100) (99)	7,1 (101) (100)	5,5 (79) (77)	4,2 (60) (59)					

³ AminoDat® version 4.0 (Evonik Industries, Hanau, Germany)

⁴ GfE (2005)

⁵ Gehalt in der Leerkörpermasse (GfE, 2006)

⁶ Tierkörper ohne Federn (GfE, 1999)

2 ZUM METABOLISMUS DER VERZWEIGTKETTIGEN AMINOSÄUREN

Die BCAA Leucin, Isoleucin und Valin haben ein verzweigtes Kohlenstoff-Gerüst und werden daher auch als verzweigt-kettige Aminosäuren bezeichnet. Sie zählen zu den unentbehrlichen proteinogenen Aminosäuren, die unbedingt über die Nahrung aufgenommen werden müssen. In Abbildung 1 ist die Struktur von Leucin, Valin und Isoleucin dargestellt.

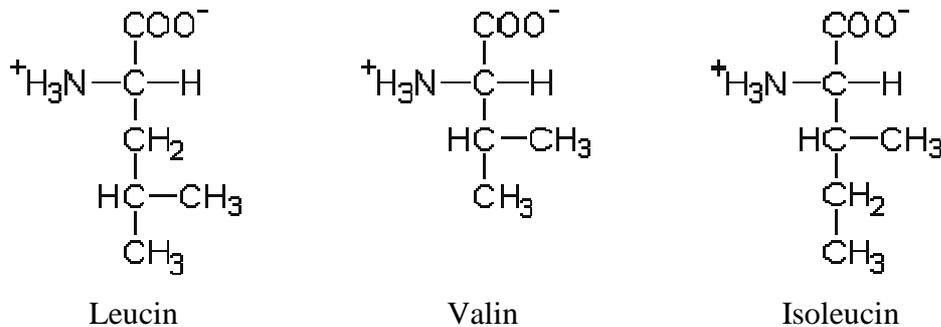


Abbildung 1: Struktur von Leucin, Valin und Isoleucin
 Figure 1: Structure of leucine, valine and isoleucine

Da Leucin unter den BCAA einige Besonderheiten in seiner Wirkung auf die Proteinsynthese aufweist (ANTHONY et al., 2000a, b), wird es im Weiteren einer vertieften Betrachtung unterzogen. Hierfür ist es erforderlich, zunächst auf wesentliche Besonderheiten des Stoffwechsels der BCAA näher einzugehen. Von besonderem Interesse ist dabei die Katabolisierung im Stoffwechsel. Leucin, Isoleucin und Valin haben gemeinsam, dass sie im Prozess ihrer Katabolisierung auf die *verzweigt-kettige-Aminosäuren-Transferase* [BCAT; *branched-chain amino acid transferase* (oder *transaminase*)] angewiesen sind. Der Abbau erfolgt dabei in zwei Schritten: Schritt 1 stellt eine reversible Transaminierung dar, die durch BCAT katalysiert wird. Im Ergebnis entstehen verzweigt-kettige α -Ketosäuren (BCKA, *branched-chain- α -keto-acids*), die im Schritt 2 durch ein mitochondriales Multienzym, die Verzweigt-kettige- α -Ketosäure-Dehydrogenase (BCKDH; *branched-chain- α -keto-dehydrogenase*) oxidativ decarboxyliert werden. Als Decarboxylierungsprodukt entstehen im 1. Schritt die Ketosäuren α -Ketoisocapronat (Ketoleucin, KIC) beim Leucin-Abbau, α -Keto- β -Methyl-Valerat (Ketoisoleucin, KMV) beim Isoleucin-Abbau sowie α -Ketoisovalerat (Ketovalin, KIV) beim Valin-Abbau. Der zweite Katabolisierungsschritt ist irreversibel und wirkt zugleich limitierend für die weitere BCAA-Katabolisierung. Endprodukte nach dem Schritt 2 des Leucin-Abbaus sind Acetoactetat und Acetyl-CoA. Der Isoleucin-Abbau liefert Propionyl-CoA und ebenfalls Acetyl-CoA als Endprodukte. Beim Valin-Abbau entsteht Succinyl-CoA. Somit liefert der Abbau von Isoleucin sowohl gluko- als auch ketoplastische Verbindungen. Demgegenüber wirken die Endprodukte des Abbaus von Leucin ketoplastisch, von Valin rein glukoplastisch (HARPER et al., 1984). Des Weiteren entsteht bei allen Vorgängen NADH. Liegt NADH in hohen Konzentrationen vor, wirkt es regulierend auf den BCAA-Abbau und verlangsamt diesen (PETTIT et al., 1978). Abbildung 2 liefert eine Übersicht zu den Hauptwegen beim Abbau der BCAA.

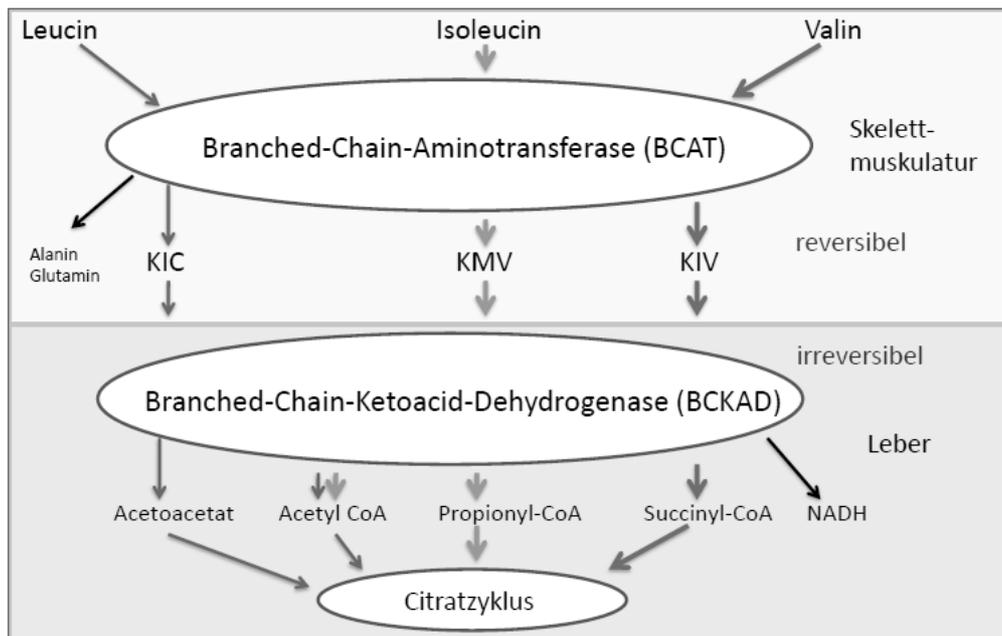


Abbildung 2: Hauptschritte des BCAA-Katabolismus

Figure 2: Main pathways of BCAA catabolism

Hauptlokalisierung des ersten und reversiblen Katabolisierungsschrittes ist demnach die Skelettmuskulatur. Demgegenüber erfolgt der zweite irreversible Schritt der Katabolisierung vorrangig in der Leber.

In der Literatur sind verschiedene Möglichkeiten beschrieben, um die BCAT-Aktivität zu quantifizieren. Neben kolorimetrischen Methoden können fluorimetrische und enzymatische Verfahren Anwendung finden (HINTZ et al., 1985; AKABAYASHI und KATO, 1989; TAYLOR und JENKINS, 1966; SCHADEWALDT et al.; 1995). Zudem wurden radiochemische oder immunologische Methoden verwendet (HUTSON, 1988b; LYNCH et al., 2002 a, b). Für die Bestimmung der BCKDH- Aktivität setzten WILTAFSKY et al. (2010) ein spektrometrisches Verfahren ein, weitere Methoden wurden beispielsweise von PRICE et al. (1998) und NAKAI et al. (2000) beschrieben.

2.1 ABBAU DURCH DIE BCAA-AMINOTRANSFERASE

Die Branched-Chain-Amino-Acid-Aminotransferase (BCAT) kommt in vielen Geweben vor und zwar sowohl in den Mitochondrien als auch im Cytosol und greift beim Abbau auf alle BCAA als Substrat zu (HARPER et al., 1984).

Zunächst wurde angenommen, dass drei verschiedene Typen dieser Transferase (BCAT) vorliegen (HARPER et al., 1984):

Für Enzym I kommen alle BCAA als Substrat in Frage. Enzym I ist sowohl im Cytosol als auch in den Mitochondrien von Körpergewebe weit verbreitet und stellt die vorherrschende Form dar. Enzym II katabolisiert nur Leucin und wurde bislang nur im Cytosol der Rattenleber nachgewiesen. Enzym III konnte aus dem Gehirn von Ratten und Schweinen isoliert werden und stellt hier, ebenso wie in der Plazenta und den Eierstöcken, die vorherrschende Form dar (AKI et al., 1968; HARPER et al., 1984).

IKEDA et al. (1976) konnten eine weitere Aminotransferase aus Mitochondrien der Rattenleber isolieren, für die Leucin oder Methionin als Substrate in Frage kommen. Die Autoren gingen jedoch davon aus, dass die physiologische Bedeutung für den Abbau von Methionin über die Aminotransferase von untergeordneter Rolle ist. Im Gegensatz zur Ratte konnte kein Nachweis über ein Vorkommen von Enzym II in der Leber des Menschen erbracht werden (GOTO et al., 1977). Die Autoren konnten weiterhin zeigen, dass Enzym I und III beim Menschen ubiquitär im Körper verbreitet sind, wobei im Gegensatz zur Ratte Enzym III in Gehirn, Eierstöcken und Plazenta nicht nachgewiesen werden konnte.

HUTSON et al. (1988a) zeigten jedoch, dass nur zwei verzweigtkettige Aminotransferasen vorlagen: Eine mitochondriale (BCAT_m) und eine cytosolische (BCAT_c) Form. Diese beiden katabolisierenden Enzyme sind in den Körpergeweben weit verbreitet (HUTSON, 1988a; HUTSON et al., 1992) und mit Ausnahme des Nervensystems (BCAT_c) erfolgen alle Abbauprozesse der BCAA in den Mitochondrien (BCAT_m; HALL et al., 1993; HUTSON et al., 2005).

Die Aktivität der Enzyme hängt von der Substratkonzentration ab, so dass es durch eine Änderung in der BCAA-Konzentration zu einer veränderten Transaminierungsrate kommt (KREBS, 1972).

Die Verteilung der BCAT_m ist gewebespezifisch (HARPER et al., 1984). So wurden vergleichsweise hohe Expressionsraten der BCAT_m im Herzgewebe und in der Skelettmuskulatur beobachtet (Ratte: SURYAWAN et al., 1998, Schwein: WILTAFSKY et al., 2010), mittlere in Milz und Jejunum und niedrige in Ileum und Leber (WILTAFSKY et al., 2010). Die Expressionsrate der BCAT_m in der Skelettmuskulatur von Schweinen war im Vergleich zur Expression in der Leber 20-fach erhöht (WILTAFSKY et al., 2010).

Die BCAA konkurrieren bei ihrem Abbau um Bindungsstellen an der BCAT, so dass eine Vorhersage über die entstehenden Ketosäuren nicht möglich ist (TAYLOR und JENKINS, 1966). ICHIHARA und KOYAMA (1966) konnten jedoch für Gewebeproben von Ratten zeigen, dass in der Muskulatur Valin langsamer katabolisiert wird als Leucin und Isoleucin.

2.2 ABBAU DURCH DIE BCAA-DEHYDROGENASE

NAIK und HUANG (2004) charakterisieren die Branched-Chain-Keto-Acid-Dehydrogenase (BCKDH) bestehend aus 3 Untereinheiten/Enzymen: einer verzweigtkettigen α -Ketosäuren Decarboxylase (E1), einer Dihydrolipoyl-Transacylase (E2) und einer Dihydrolipoyl Dehydrogenase (E3). Ebenso wie für die BCAT dargestellt, ist die Aktivität der BCKDH von der vorhandenen Substratkonzentration abhängig und akzeptiert alle BCAA als Substrat. Als mitochondrialer Multienzymkomplex katalysiert die BCKDH die oxidative Decarboxylierung von Ketoleucin, Ketoisoleucin und Ketovalin, so dass die oben genannten Endprodukte entstehen (s. Abb. 2). Ebenso wie die BCAT kommt sie in allen Körpergeweben vor, wobei jedoch im Unterschied zur BCAT ihre Aktivität in der Leber am höchsten ist. Demgegenüber wurden niedrige Aktivitäten in Muskel-, Fett- und Hirngewebe sowie mittlere Aktivitäten in Niere und Herz (RANDLE, 1984, zitiert in HARPER et al., 1984) gemessen.

Es wurde bisher nur ein Typ der BCKDH gefunden, allerdings konnten SABOURIN und BIEBER (1981) aus Rattenleber und – niere eine cytosolische Oxygenase isolieren, die Ketoleucin als Substrat präferiert und als Endprodukt β -Hydroxyisovalerat liefert. MAY et al. (1980) schätzen, dass etwa 15% der Ketoleucin Oxidation in der Rattenleber durch dieses Enzym katalysiert werden.

Im Gegensatz zur BCAT ist die Aktivierung der BCKDH über Kurz- und Langzeit-

mechanismen reguliert und erfolgt über einen Phosphorylierungs- (=Inaktivierung)-Dephosphorylierungs (=Aktivierung)-Mechanismus, in den die Kinase *Branched-chain- α -keto-dehydrogenase-kinase* (BCKDK) und Phosphatasen involviert sind. Während die Kinase zur Inaktivierung führt, bewirkt die Phosphatase eine Aktivierung des BCKDH-Komplexes (JOSHI et al., 2006). In Mäusen mit ausgeschaltetem Gen für die BCKDK konnte im Alter von 12 Wochen eine um 15% reduzierte Körpermasse im Vergleich zur Kontrolle beobachtet werden. Weiterhin waren Gehirn-, Muskel- und Fettgewebemasse reduziert, wohingegen Leber- und Nierenmasse erhöhte Werte aufwiesen. Zudem zeigten die Tiere neurologische Anomalitäten und mit zunehmenden Alter epileptische Anfälle (JOSHI et al., 2006). Die Studie unterstreicht die Bedeutung der BCKDK für die Regulation des BCAA-Katabolismus. Die Höhe des Ketoleucin-Levels bestimmt die Regulation der BCKDK. Liegt Ketoleucin im Überfluss vor, so wird die Kinase inaktiviert. Sie löst sich vom BCKDH-Komplex, dieser wird aktiv und die Oxidation der BCKA kann erfolgen (HUTSON et al., 2005, MURAKAMI et al., 2005).

Doch auch Faktoren wie Futterproteingehalt, Nahrungsentzug oder hormonelle Faktoren beeinflussen die Regulation des Enzyms. So bewirkte ein proteinreduziertes Futter eine Aktivierung der Kinase, welche im Anschluss den BCKDH-Komplex inaktiviert (MILLER et al., 1988) und somit als „Sparmechanismus“ zu betrachten ist. Auf diesem Wege wird ein weiterer Abbau der BCAA verhindert und deren metabolische Verfügbarkeit stabilisiert. Bei einem Futterentzug (>24h) kommt es jedoch zu einer Inaktivierung der Kinase und somit zu einer Aktivierung der BCKDK (KOBAYASHI et al., 1999). Denselben Effekt bewirken Glucocorticoide und Thyroidhormone. Übersichtsarbeiten hierzu bieten HARRIS et al. (2001) und SHIMOMURA et al. (2001). Es wird ersichtlich, dass neben dem Gehalt der BCAA im Futter eine Reihe weiterer Faktoren den Abbau dieser Aminosäuren beeinflussen können.

Neben einer Inaktivierung über die Phosphorylierung inhibieren die Produkte der BCKDH-Reaktion eine erneute Aktivierung des Enzyms (PETTIT et al., 1978).

2.3 KATABOLISIERUNG DER BCAA IN ORGANEN UND GEWEBEN

Wie bei allen Aminosäuren erfolgt auch bei den BCAA keine signifikante Akkumulation im Gewebe. Ein Überschuss muss aber oxydiert oder in die Zirkulation abgegeben werden (HARPER et al., 1984). Eine krankheitsbedingte Anreicherung der BCAA und BCKA (maple syrup urine disease) beim Menschen, ausgelöst durch eine verminderte Aktivität der BCKDH, kann neurotoxisch wirken. Folgen sind u.a. Einschränkungen der kognitiven Leistungsfähigkeit und Ketoazidosen. Unbehandelt endet die Krankheit letal (PLATELL et al., 2000).

Sowohl die BCAT als auch die BCKDH werden in der intestinalen Mukosa exprimiert (HARPER et al., 1984). Vor allem in den Mukosazellen des Dünndarms von Ferkeln konnten *in vitro* hohe Aktivitäten der BCAT nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu lag die BCKDH vornehmlich in phosphorylierter (inaktiver) Form vor (CHEN et al., 2009). YU et al. (1990) ermittelten durch Infusion markierter AS, dass bei Hunden 30% des aufgenommenen Leucins im Dünndarm umgesetzt wurden. Auch bei Ferkeln, die eine Milch basierte Diät erhielten, wurden 40% des enteral aufgenommenen Leucins, 30% des Isoleucins und 40% des Valins im Dünndarmgewebe zurückgehalten (STOLL et al., 1998). Die BCAA leisten im Intestinaltrakt einen wesentlichen Beitrag zur Proteinsynthese und damit zur

Aufrechterhaltung von dessen Masse und Integrität (WU, 1998). Weitere Ausführungen zum Abbau von Aminosäuren in der intestinalen Mukosa sind bei WU (1998) zu finden.

Während andere Aminosäuren nach der Absorption aus dem Gastrointestinaltrakt (GIT) über die Leber (first-pass Effekt) in die peripheren Gewebe abgegeben werden, umgehen die BCAA die Leber nahezu vollständig, so dass die Oxidation im peripheren Gewebe erfolgt (MILLER, 1962). In der Literatur werden keine Angaben zu den physiologischen Hintergründen dieses Prozesses gemacht. Wie bereits dargestellt, sind die Aktivitäten der BCAT und der BCKDH in den verschiedenen Geweben sehr unterschiedlich. Während die BCAT_m hauptsächlich in der Skelettmuskulatur zu finden ist, kommt es zur höchsten BCKDH-Expression in der Leber. Dennoch weist die Leber geringe Aktivitäten an BCAT_m auf, ebenso wie in der Skelettmuskulatur im begrenzten Umfang BCKDH exprimiert wird. Während die Skelettmuskulatur somit das wichtigste Gewebe für den Katabolismus der BCAA darstellt, erfolgt der weitere Abbau der entstandenen Ketosäuren ganz offensichtlich in der Leber (HUTSON et al., 2005).

Auf Grund der im Vergleich zu peripheren Geweben geringen spezifischen Aktivität der BCAT in der Leber ist die Kapazität für direkte BCAA-Katabolisierungen in der Leber gering. Demzufolge konnte im Plasma von Hunden nach Hepatektomie ein Anstieg der Konzentration von unentbehrlichen Aminosäuren beobachtet werden, dieser blieb jedoch für die BCAA aus (MCMENAMY et al., 1965). Dennoch finden begrenzt auch in der Leber BCAA-Umsetzungen statt.

Neben der beobachteten Expressierung des jeweiligen Enzyms in den verschiedenen Geweben sollte jedoch auch beachtet werden, wie viel Substrat (BCAA) über den Blutfluss zu den Organen und Geweben gelangt und dort umgesetzt werden kann.

Beim Menschen macht die Niere etwa 0,5% der Körpermasse aus, jedoch gelangen 23% des Herzzeitvolumens in die Niere und somit auch ein Großteil der zirkulierenden Aminosäuren. Die Leber mit ca. 4% der Körpermasse nimmt etwa 28% des Herzzeitvolumens auf. Die Skelettmuskulatur erhält ca. 16% des Herzzeitvolumens bei einem Anteil von 35-40% an der Körpermasse (GANONG, 1981). Damit wird deutlich, dass die Leber trotz geringer Enzymbereitstellung durchaus einen wesentlichen Beitrag zum BCAA-Abbau leisten kann. Herauszustellen ist aber dennoch, dass die Skelettmuskulatur die zentrale Rolle bei der Umsetzung der BCAA einnimmt.

Bei Hunden beobachteten NISSEN und HAYMOND (1981), dass im ersten Schritt des BCAA-Katabolismus, der reversiblen Transaminierung, etwa 66% des gebildeten KIC zu Leucin reaminiert werden. Weiterhin kommt es durch die hohen Konzentrationen der Enzyme im Körper zum Austausch der BCAA Metabolite zwischen und innerhalb der Gewebe. So stellt die Gewebefreisetzung der BCKAs und deren Reaminierung in einem anderen Gewebe einen wichtigen Austauschprozess des BCAA-Stickstoffs zwischen Organen, Geweben und sogar verschiedenen Zelltypen innerhalb eines Gewebes dar (HUTSON et al., 2005). HOLECEK (2002) konnte zeigen, dass es einen Zyklus zwischen der Skelettmuskulatur und der Leber gibt. Die in der Skelettmuskulatur gebildeten Ketosäuren gelangen über die Zirkulation zur Leber. Hier ist eine Resynthese zu Leucin, Isoleucin und Valin möglich. Nach Rückführung in das Muskelgewebe kann der weitere Abbau erfolgen. Grundsätzlich stellt sich damit die Frage nach Sinn und Zweck dieser speziellen Mechanismen im BCAA-Abbau.

Die BCAA sind Vorläufer von Glutamin und Alanin (ODESSEY et al., 1974). Beim Abbau der BCAA in der Skelettmuskulatur entsteht Pyruvat. Dieses wird für die Glutamin- und Alanin-Synthese verwendet, ebenso wie der Stickstoff, der bei der Katabolisierung frei wird (PLATELL et al., 2000, HOLECEK, 2002). HAYMOND und MILES (1982) konnten zeigen, dass

beim Menschen etwa 28% des im Leucin enthaltenen Stickstoffs nach einer postabsorptiven [¹⁵N]Leucin-Infusion im Alanin nachweisbar war. Es wurde gefolgert, dass etwa 60% des für die Alanin-Synthese benötigten Stickstoffs durch die BCAA bereitgestellt werden. GALIM et al. (1980) fanden bei Hunden sogar Anteile zwischen 30-53% im Alanin wieder. Vor allem bei schweren Erkrankungen, wie beispielsweise einer Sepsis oder Krebs, ist der Verbrauch von Glutamin im Gewebe höher als die Bereitstellung durch Syntheseprozesse. Die Möglichkeit der Resynthese der BCKA zu BCAA kann demnach zusätzlich zur Glutamin-Bereitstellung und damit zur Energieversorgung der Gewebe beitragen (HOLECEK, 2002).

2.4 EINFLUSS DER FÜTTERUNG AUF DIE KATABOLISIERUNG VON BCAA

Da die Gruppe der BCAA über dieselben Enzymsysteme katabolisiert werden, beeinflusst die Höhe der BCAA-Aufnahme die Katabolisierungsrate aller drei BCAA. Mit steigender BCAA-Versorgung über die Nahrung steigt auch die Oxidation der BCAA an. Hier sind Speziesunterschiede zu beachten: Während eine in Relation zum Bedarf 2,7-fache Leucin-Verabreichung bei der Ratte im Vergleich zur Kontrollgruppe (=Bedarf) zu einem Anstieg der Oxidationsrate um den Faktor 18 führte, kam es beim Menschen (Leucin-Versorgung 5,5-fach über dem angenommenen Bedarf) lediglich zu einer Erhöhung der Oxidationsrate um den Faktor 3,5 (HARPER et al., 1984).

In der Leber von Ratten wurde eine erhöhte BCAA-Aktivität dann festgestellt, wenn das Futter mehr als 50% Protein enthielt (ICHIHARA et al., 1967; KREBS, 1972; SHIRAI und ICHIHARA, 1971).

Unterschiedliche Beobachtungen liegen bei abgesenktem Proteingehalt im Futter vor. In Untersuchungen von MCFARLANE und VON HOLT (1969) an Ratten nahm die BCAT-Aktivität ab. Demgegenüber zeigten die Studien von MIMURA et al. (1968) eine steigende Aktivität des Enzyms. Analoge Beobachtungen machten auch CHAN und WALSER (1978). In ihren Untersuchungen nahm die BCAT-Aktivität in Skelettmuskulatur, Intestinaltrakt, Gehirn und Leber zu. SKETCHER et al. (1974) beobachteten wiederum bei der Ratte eine unveränderte Aktivität. Nach 3 Wochen proteinfreier Ernährung zeigte sich aber im Vergleich zur Kontrollgruppe (=Proteinversorgung bedarfsgerecht) im Rattenmuskel eine Verminderung der BCKDH-Aktivität um 50%.

3 AUSWIRKUNGEN EINER EXZESSIVEN LEUCIN-GABE

3.1 BCAA-ANTAGONISMUS UND LEISTUNG

In zahlreichen Studien wurde ein Antagonismus zwischen den BCAA bei mehreren Tierarten beschrieben (HARPER et al., 1955; SPOLTER und HARPER, 1961; TUTTLE und BALLOUN, 1976; HUGHES et al., 1984; LANGER und FULLER, 2000; FARRAN et al., 2003; WILTAFSKY et al., 2010). FULLER (2004) definiert diesen Antagonismus wie folgt: "A negative interaction between a nutrient and other nutrients or between nutrients and non-nutrients. The interaction may be related to uptake or to use. An example is branched-chain amino acid antagonism in which three- to fourfold increases in dietary leucine in a low-protein diet result in decreases in food intake and weight gain and the blood and tissue concentrations of the other branched-chain amino acids, valine and isoleucine, and their keto acids". Ein Antagonismus bewirkt demnach eine Beeinträchtigung des Stoffwechsels einzelner Aminosäuren infolge unphysiologischer Angebote an spezifischen Aminosäuren und führt letztlich zur

Verminderung zootechnischer Leistungsparameter. Die Ursache für diesen Antagonismus ist darin zu sehen, dass alle BCAA über dieselben Enzymsysteme katabolisiert werden (s. Kapitel 2). Folglich bewirkt die exzessive Zufuhr einer der BCAA den verstärkten Abbau der zwei weiteren BCAA. Unter realen Bedingungen der Nutztierernährung ist durch eine häufiger zu erwartende exzessive Leucin-Versorgung mit einem verstärkten Abbau von Isoleucin und Valin zu rechnen. Sinkende Gehalte dieser Aminosäuren im Blutplasma sind die Folge (ESOCBAR et al., 2005; 2007; WILSON et al., 2010) und signalisieren ein geringeres metabolisches Angebot an diesen Aminosäuren. Neben der Gefahr eines sekundären Mangels an Isoleucin und Valin kann es zu antagonistischen Effekten auf Leistung und Gesundheit der Tiere kommen. Beispiele hierfür sind in Übersicht 1 dargestellt.

Übersicht 1: Wirkungen exzessiver Leucin-Gehalte im Futter bei verschiedenen Tierarten
Overview 1: Effects of excessive dietary leucine-supply in different animal species

Tierart	Beobachtung	Autoren
Ratte	Verminderte Futtermittelaufnahme	SPOLTER und HARPER, 1961
Schwein (Ferkel)	Verminderte Futtermittelaufnahme	EDMONDS und BAKER, 1987, GATNAU et al., 1955
Amerikanische Seeforelle	Verminderte Futtermittelaufnahme Verminderte Körpermassezunahme Steigender Futtermittelaufwand	HUGHES et al., 1984
Huhn (Broiler)	Beinschäden Veränderungen der Federstruktur	FARRAN und THOMAS, 1992a,b
Ratte	Verminderte Anzahl lebend geborener Nachkommen	COHLAN und STONE, 1961
Schwein (Ferkel)	Immunsuppressive Wirkung	GATNAU et al., 1995
Ratte		CHEVALIER und ASCHKENASY, 1977

Im Folgenden werden einige Auswirkungen des BCAA-Antagonismus auf Parameter wie Wachstum, Futtermittelverzehr oder Immunstatus näher beschrieben.

HARPER et al. (1955) erforschten die Antagonismen zwischen Leucin und Isoleucin im Stoffwechsel der Ratte. In einer Vielzahl von Experimenten mit variierenden Proteingehalten (9 oder 18% Kasein) in Kombination mit abgestuften L-Leucin- (1,5 oder 3%)⁷ und DL-Isoleucin-Gehalten (0,1-2%) konnte gezeigt werden, dass ein hohes Leucin-Angebot in Kombination mit einem niedrigen Proteingehalt das Wachstum minderte. Die Zulage von 1% DL-Isoleucin führte zwar zu günstigeren Werten, jedoch wurde das Niveau der Kontrolle nicht erreicht (Abb. 3). In der Studie wurden die Parameter Futtermittelaufnahme und Futtermittelverwertung nicht erhoben.

Auch SPOLTER und HARPER (1961) untersuchten in einer Modellstudie mögliche Wechselwirkungen von Leucin und Isoleucin bei der juvenilen Ratte. Es konnte einerseits gezeigt werden, dass mit abgestuften exzessiven Leucin-Gehalten im Futter (3; 5; 7% des Futters) bei proteindefizitärer Versorgung (9% Kasein im Futter) die Wachstumsparameter zurückgingen.

⁷ Bedarf Ratte (Wachstum, Gehalt in Diät, %): Leu: 1,07; Val: 0,74; Ile: 0,62 (NRC, 1995)

Andererseits gelang es, das Wachstum der Ratten durch eine Zulage von Isoleucin zu verbessern. Wurde darüber hinaus Valin hinzugegeben, war ein weiterer Anstieg der Körpermasseentwicklung zu erkennen (Abb. 4). Somit war zu schlussfolgern, dass ein Antagonismus zwischen den BCAA vorlag und bei einer erhöhten Leucin-Gabe auch die Versorgung mit Isoleucin und Valin, obgleich nur marginal, angehoben werden muss.

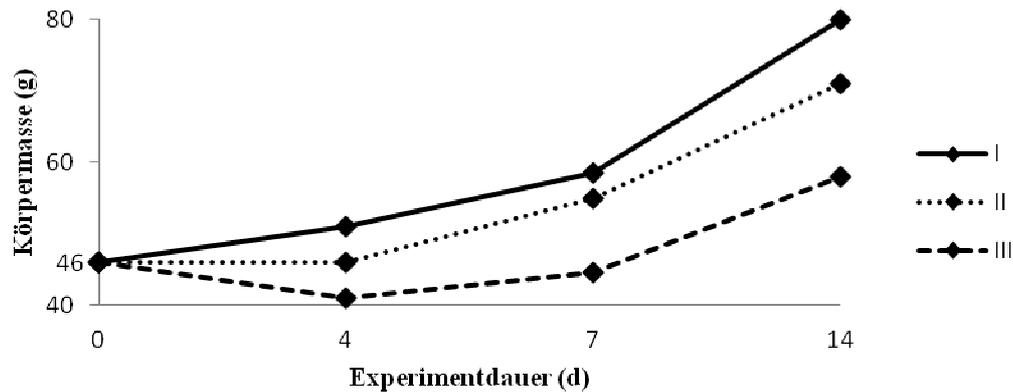


Abbildung 3: Effekt einer exzessiven L-Leucin-Gabe auf das Wachstum von abgesetzten Ratten bei einer Diät mit 9% Kasein. I : 9% Kasein; II : 9% Kasein + 3% L-Leucin + 1% DL-Isoleucin; III: 9% Kasein + 3% L-Leucin (nach HARPER et al., 1955)

Figure 3: Effect of excessive L-leucine on the growth of weanling rats fed 9 % casein diets. I: 9% casein; II: 9% casein + 3% L-leucine + 1% DL-isoleucine; III: 9% casein + 3% L-leucine (according to HARPER et al., 1955)

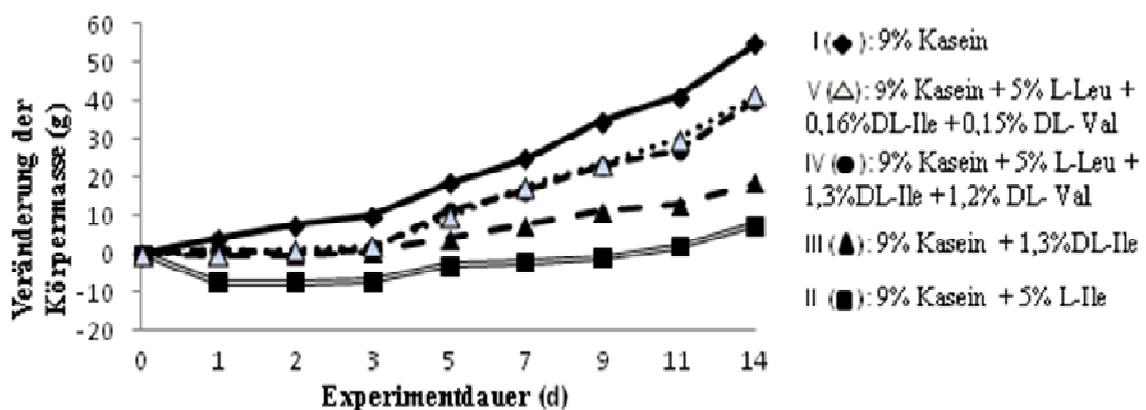


Abbildung 4: Einfluss von Isoleucin und Valin auf das Wachstum von Ratten mit 5% L-Leucin im Futter. Die mittlere Lebendmasse varrierte um 115-116g. (nach SPOLTER und HARPER, 1961)

Figure 4: Effect of isoleucine and valine on growth of rats receiving 5% L-leucine. Average initial weight of each group was 115-116g. (according to SPOLTER und HARPER, 1961)

Es zeigte sich weiterhin, dass die beobachtete Wachstumsretardierung in Zusammenhang mit einem verminderten Futterverzehr stand (Abb. 5). Ein steigender Leucin-Gehalt in der Diät senkte die Futtermittelaufnahme (oberer Teil der Abbildung) und nachfolgend das Wachstum (unterer Teil der Abbildung).

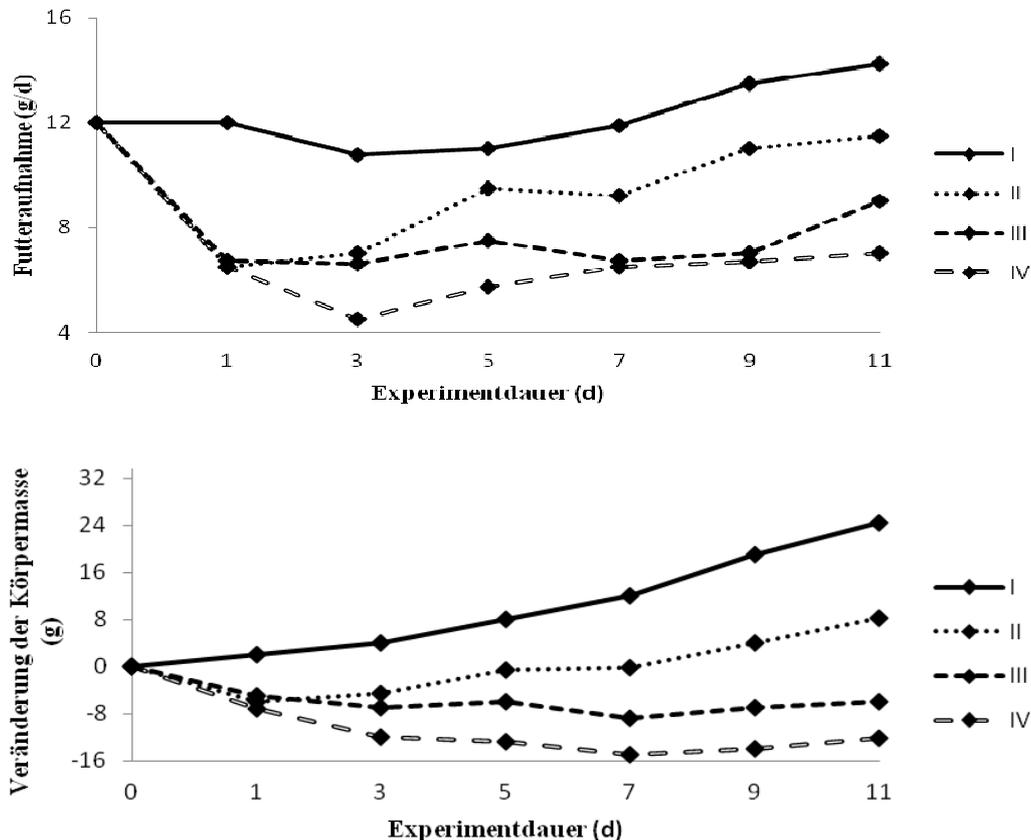


Abbildung 5: Auswirkungen verschiedener L-Leucin-Gehalte im Futter auf Futtermittelaufnahme (oben) und Wachstum (unten) bei Ratten. Die durchschnittliche Körpermasse jeder Versuchsgruppe betrug zu Beginn 111g. I: 9% Kasein; II: 9% Kasein + 3% L-Leucin; III: 9% Kasein + 5% L-Leucin; IV: 9% Kasein + 7% L-Leucin (nach SPOLTER und HARPER, 1961)

Figure 5: Effect of various levels of dietary L-leucine on daily food consumption (upper figure) and growth (lower figure) of rats. Average initial weight of each group was 111g. I: 9% casein; II: 9% casein + 3% L-leucine; III: 9% casein + 5% L-leucine; IV: 9% casein + 7% L-leucine (according to SPOLTER und HARPER, 1961)

Auch EDMONDS und BAKER (1987) konnten beobachten, dass eine Leucin-Zulage (0%; 1%; 2%; 4%; 6%) zum Futter von Absetzferkeln (8kg) zu einer verringerten Futtermittelaufnahme führte, wenn 6,0% Leucin verabreicht wurden (0%: 822g/d; 6%: 638g/d). GATNAU et al. (1995) stellten bereits bei einem Leucin-Gehalt von 3,12% im Futter eine im Vergleich zur Kontrollgruppe (1,12% Leucin) um 19% verminderte Futtermittelaufnahme bei Absetzferkeln (6,5kg) fest.

ROGERS et al. (1967) untersuchten die Futterwahl von Ratten bei einer exzessiven L-Leucin-Gabe (Leucin-Gehalt im Futter 5%). Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Futterwahl von männlichen Ratten bei einer exzessiven L-Leucin-Gabe (ROGERS et al., 1967)

Table 2: Feed selection of male rats related to an excessive L-leucine administration (ROGERS et al., 1967)

Variante	Diät 1	Diät 2	Wahl der Tiere
A	Proteinfrei	Proteinfrei + 5% L-Leu	Diät 1
B	9% Kasein + 5% L-Leu + 0,32% DL-Ile + 0,3% DL-Val	9% Kasein + 5% L-Leu	Diät 1
C	9% Kasein + 5% L-Leu + 0,32% DL-Ile + 0,3% DL-Val + AS- Gemisch ⁸	Proteinfrei	Diät 1
D	30% Kasein + 5% L-Leu	Proteinfrei	Diät 1

Die Studie macht deutlich, dass Ratten einen Leucin-Exzess im Futter wahrnehmen können und dadurch dieses Futter meiden, selbst wenn dieses ein geringes Wachstum ermöglichen würde (Variante A, Diät 2). Weiterhin war in den Untersuchungen zu erkennen, dass durch die Supplementation von Ile und Val (Variante B) eine Steigerung der Körpermasse-entwicklung erfolgte. Diese konnte zusätzlich gesteigert werden, wenn neben allen drei BCAA ein AS-Gemisch gefüttert wurde (Variante C). Das Experiment unterstreicht die Ergebnisse der Studie von SPOLTER und HARPER (1961), d.h. bei exzessiver Leucin-Versorgung müssen mindestens Isoleucin und Valin zusätzlich mit verabreicht werden. Eine angemessene Proteingabe (Variante D) kann durch Bereitstellung weiterer Aminosäuren die negativen Effekte einer exzessiven Leucin-Gabe (teilweise) verhindern.

In den Untersuchungen von SPOLTER und HARPER (1961) wurde neben den bereits dargestellten Parametern auch der Einfluss eines erhöhten Leucin-Angebotes (3% L-Leucin im Futter) auf N-Bilanz-Daten erfasst. Es konnte kein Einfluss auf die Höhe der N-Bilanz (Datenerhebung über 4 Tage, Ratten, Jungtiere, Lebendmasse 50-70g, Futter mit 9% Kasein, 3% L-Leucin) festgestellt werden.

Die negativen Effekte auf das Wachstum, die mit einer Leucin-Übersorgung verbunden sein können, hängen in der Stärke der Ausprägung auch vom Proteingehalt des Futters ab. Bei HARPER et al. (1955) bewirkte eine Zulage von 3% DL-Leucin in einer 9% Kasein-Diät bei Ratten eine deutliche Wachstumsretardierung. Dieser Effekt trat nicht ein, wenn anstelle von

⁸ 0,44% Arg, 0,14% His, 0,47% Lys, 0,27% Met, 0,38% Phe, 0,27% Thr, 0,06% Trp, 0,11% Ala, 0,11% Asp, 1,15% Glu, 0,76% Gly, 0,11% Pro, 0,11% Cys, 0,115 Ser, 0,11% Ser, 0,2% Asp

9% Kasein 18% Kasein im Futter verwendet wurden. Vergleichbare Beobachtungen machte auch SAUBERLICH (1961) an Ratten. Während 5% DL-Leucin in einer 6% Kasein-Diät zu einem Körpermassezuwachs von 1,2g/Woche führten, wurde bei einem Kasein-Gehalt von 40% ein deutlich höherer Wert von 44g/Woche beobachtet.

SAUBERLICH (1961) konnte ferner zeigen, dass neben der Höhe des Proteingehaltes im Futter auch die Art der Proteinquelle einen Einfluss auf die Auswirkungen eines Leucin-Überangebotes haben kann. Eine Zulage von 5% L-Leucin zu Futtermischungen mit unterschiedlichen Proteinquellen (zu jeweils 10% verabreicht) zeigte, dass vor allem Diäten auf der Basis von Mais die negativen Effekte einer hohen Leucin-Gabe verstärkten, da das Maisprotein besonders reich an Leucin ist (vergl. Tab. 1). Eine zusätzliche Versorgung mit 1% DL-Isoleucin und 1% DL-Valin führte zu einer Wachstumssteigerung.

Beim Broiler führte dieser Antagonismus zwischen den BCAA zu einer abnormalen konkaven Federform und Beinschäden, so dass die Tiere eine hockende Haltung einnahmen. Mit fortschreitender Versuchsdauer (2 Wochen) verstärkte sich die Fehlstellung so weit, dass die Tiere nur noch zur Futter- und Wasseraufnahme aufstanden (FARRAN und THOMAS, 1992a, b). Die Autoren verwendeten ein Basalfutter mit suboptimalem Angebot aller BCAA (0,96% Leu; 0,52% Ile; 0,65% Val in der Mischung)⁹. Diese Futtermischung wurde weiter mit 0,5% L-Leu, 0,3% L-Ile bzw. 0,3% L-Val supplementiert. Es ergaben sich insgesamt 8 Diäten (I: Basaldiät (BD); II: BD + Leu; III: BD + Ile; IV: BD + Val; V: BD + Leu + Ile; VI: BD + Leu + Val; VII: BD + Val + Ile; VIII: BD + Leu + Ile + Val). Eine Supplementation der Basaldiät mit L-Leu bzw. L-Ile führte zu vermindertem Wachstum. Nur nach Verabreichung Valin-limitierter Futtermischungen (0,65%), die weiter mit Leu und Ile supplementiert wurden (1,46% bzw. 0,82% im Futter, Behandlung V), zeigten 91,7% der Tiere neben geringerem Wachstum auch Veränderungen in der Federstruktur sowie eine signifikant verminderte Calciumeinlagerung in den Knochen. Die Autoren vermuteten einen Zusammenhang zwischen BCAA-Verhältnis im Futter und dem Calcium-Stoffwechsel, konnten aber physiologisch keinen Wirkungsmechanismus beschreiben. Hiervon abgeleitet resultierte die Empfehlung für ein „angemessenes Verhältnis“ zwischen den BCAA, um ausreichende Knochenkalzifizierung und -entwicklung zu gewährleisten. Die Untersuchungen konnten zeigen, dass die Mischung mit Val als allein limitierende Aminosäure stärker leistungsmindernde Auswirkungen hatte als eine suboptimale Versorgung mit allen BCAA.

Neben den dargestellten Auswirkungen auf Futterverzehr und Wachstum, können erhöhte Leucin-Gaben auch Auswirkungen auf Reproduktionsmerkmale und das Immunsystem haben. Tragende Ratten erhielten Futtermischungen mit 9 bzw. 27% Kasein und differenzierten Leucin-Gehalten (Anteil Leucin an Diät 10 bzw. 25%). Die Anzahl der lebend geborenen Nachkommen nahm bei niedrigem Proteingehalt und steigender Leucin-Konzentration ab. Weiterhin war ein Lebendmasseverlust der Muttertiere während der Gravidität zu beobachten (COHLAN und STONE, 1961). GATNAU et al. (1995) untersuchten die Auswirkung einer erhöhten Leucin-Versorgung (3,12% im Futter) im Hinblick auf immunologische Parameter. Hierzu wurde abgesetzten Ferkeln (24,5d; 6,5kg) Keyhole Limpet Hemocyanin (KLH) verabreicht. KLH ist ein hochmolekularer Proteinkomplex, welcher aus der Hämolymphe der Großen Kalifornischen Schlüssellocknapfschnecke (engl.: keyhole limpet) gewonnen wird und zu den größten Proteinmolekülen gehört. Hämocyanin (engl.: hemocyanin) dient in Gliederfüßern und Weichtieren als Sauerstofftransporter und ruft in Wirbeltieren eine starke Immunantwort hervor. Somit findet KLH in der Medizin als

⁹ Die Autoren geben als bedarfsdeckend an (Gehalt in Diät,%): Leu: 1,37; Ile: 0,82; Val: 0,83

unspezifischer Modulator (Immunstimulator) Anwendung, mit dessen Hilfe die Immunkompetenz eingeschätzt werden kann. Die Ferkel erhielten eine Kontrolldiät (1,56% Leucin aus nativen Proteinquellen) bzw. eine Mischung mit zusätzlich 1,56% L-Leucin (Leucin-Gehalt insgesamt 3,12%). Die Tiere der Kontrollgruppe wiesen eine höhere Immunglobulin G (IgG) Konzentration im Serum auf. Die Autoren führten die immunsuppressive Wirkung auf eine Absenkung des Isoleucin- und Valin-Gehalts im Blutplasma infolge der erhöhten isolierten L-Leucin Gabe zurück (GATNAU et al., 1995). Während in der Kontrolle (1,56% Leu) 3,31mg/dL bzw. 4,37mg/dL für Isoleucin bzw. Valin gemessen wurden, zeigte die Versuchsgruppe (3,12% Leu) Konzentrationen von 1,62mg/dL bzw. 2,25mg/dL. Auch CHEVALIER und ASCHKENASY (1977) beobachteten eine immunsuppressive Wirkung erhöhter Leucin-Gehalte in der Diät wachsender Ratten. ASCHKENASY (1979) konnte zugleich zeigen, dass die durch einen erhöhten Leucin-Gehalt im Futter (7%) verursachten immunsuppressiven Effekte bei der Ratte unterbunden wurden, wenn gleichzeitig 0,2% Isoleucin sowie 0,2% Valin im Futter verabreicht wurden.

Aus den Studien lässt sich ableiten, dass bei Leucin-reichen Futtermischungen Isoleucin und Valin in angepassten Verhältnissen mit verabreicht werden müssen, um Antagonismen und nachfolgend Leistungsminderungen vorbeugen zu können. FARRAN et al. (2003) unterstrichen mit ihren Versuchen diese Folgerung für Masthähnchen (3 Wochen alt), während TUTTLE und BALLOUN (1976) zeigten, dass diese Aussage auch für Puten zutreffend ist. Allerdings zeigte sich, dass die alleinige Ergänzung von Isoleucin zur Leucin-reichen Diät keinen Vorteil erbrachte, sondern offenbar auch die metabolische Verfügbarkeit von Valin verminderte. Diese Beobachtung führte zur Vermutung von Interaktionen nicht nur zwischen Leucin und Valin sowie Leucin und Isoleucin, sondern auch zwischen Isoleucin und Valin.

Dass die alleinige Zugabe von Isoleucin¹⁰ zu einer Diät mit hohem Leucin-Gehalt nicht zur Verbesserung von Leistungs- und Verwertungskennzahlen bei der Amerikanischen Seeforelle führt, konnten Untersuchungen von HUGHES et al. (1984) zeigen. Bei einem Leucin-Gehalt im Futter von 5% (11,24% Sardellenmehl) sanken Futteraufnahme, Körpermassezunahme und Futtermittelverwertung. Eine alleinige Zulage von Valin (1,3%) oder die Verabreichung von Valin und Isoleucin (1,2%) zur Diät verbesserte die Leistungsparameter, eine alleinige Isoleucin-Gabe verstärkte hingegen die Leistungsdepression. Wurde Isoleucin allein über die Bedarfskonzentration hinausgehend verabreicht (3%), so kam es auch hier in den Leistungsparametern zu nachteiligen Effekten, die durch die Zulage von Valin (1,3%) und Leucin (2%) aufgehoben werden konnte. Basierend auf diesen Beobachtungen schlossen die Autoren, dass sich bedingt durch einen hohen Leucin-Gehalt in der Diät bei der Seeforelle der Valin-Bedarf erhöhte, während er für Isoleucin gleich blieb. Bei einer erhöhten Isoleucin-Gabe stieg der Bedarf sowohl an Valin als auch an Leucin. Eine exzessive Valin-Gabe veränderte den Bedarf an Isoleucin und Leucin jedoch nicht. Weiterhin wurden in dieser Untersuchung Ganzkörperanalysen nach der Schlachtung vorgenommen. Fische, welche die 5% Leucin-Diät erhielten, zeigten einen signifikant höheren Trockenmassegehalt (31,4%) als nach Verabreichung der bedarfsgerechten (NRC, 1981) Basaldiät (27,7%). Die Leucin-Diät, mit Isoleucin und Valin supplementiert, ergab einen mittleren Körpertrockenmassegehalt (28,4%). Die Ursachen dieser Beobachtung konnten nicht eindeutig geklärt werden, die Werte sprechen aber für einen erhöhten Körperfettansatz der imbalant ernährten Fische.

Auch beim Schwein wurden Wechselwirkungen zwischen den BCAA untersucht. Bei einer den Bedarf übersteigender Leucin-Versorgung (150%) und Verabreichung von Isoleucin und

¹⁰ Keine Angabe der Autoren über die verwendete Isomerenform.

Valin unterhalb des Bedarfs (80%, Annahme der Bedarfsdeckung bei 2,03g Leu, 0,98g Ile sowie 1,22g Val/kg), wurde eine verminderte N-Verwertung beobachtet (LANGER und FULLER, 2000). Futtermischungen mit einer Limitierung durch Isoleucin waren stärker betroffen als Diäten mit Valin-Limitierung. Die Autoren folgerten, dass bei erhöhter Leucin-Gabe an Schweine (10 Wochen alt) eine stärkere Beeinträchtigung der Verwertbarkeit von Isoleucin als von Valin vorlag.

Andere Ergebnisse fanden WILTAFSKY et al. (2010) nach Diäten mit Staffelung von L-Leucin (13,3g Leu/kg=100% Bedarf; 150%; 175%; 200%) beim Schwein (8-25kg). Hier führte eine Zulage von L-Isoleucin und L-Valin nicht zu einer Aufhebung der durch exzessive Leucin-Gaben ausgelösten Leistungsdepression. Ein optimales Verhältnis von 2,33:1 zwischen Leucin und Isoleucin bzw. von 1,79:1 zwischen Leucin und Valin auf der Ebene standardisiert praecaecal verdaulicher Aminosäuren wurde empfohlen.

Die beobachteten Effekte exzessiver Leucin-Gaben auf die Futteraufnahme könnten zunächst auf Ebene von Imbalanz-Effekten erklärt werden. Zum anderen wirkte bei Ratten ein hoher Leucin-Gehalt in der Diät ebenso depressiv auf den Verzehr wie eine proteinreiche Diät (ROPELLE et al., 2008). Hiervon abgeleitet wurde dem Leucin-Angebot eine Signalwirkung als "nutrient-signal" zugeordnet. Durch die Injektion von L-Leucin in den Hypothalamus von Ratten konnte diese Annahme grundsätzlich bestätigt werden (COTA et al., 2006) und es wird vermutet, dass Leucin über mTOR Einfluss auf die Höhe der Futteraufnahme nimmt. Für diese Annahme sprach, dass die Tiere dann eine normale Futteraufnahme zeigten, wenn mTOR durch Rapamycin gehemmt wurde. Durch eine exzessive Leucin-Gabe kam es zugleich zu einer verstärkten Expression von POMC (Pro-opiomelanocortin), begleitet von einer verminderten Ausschüttung von Neuropeptid Y. Während POMC eine Sättigung hervorruft, kommt es durch erhöht Ausschüttung von Neuropeptid Y zur Stimulation der Futteraufnahme. Der Leu-Effekt auf POMC könnte demnach die beobachteten Verzehrseffekte erklären (COTA et al., 2006; GAO und HORVATH, 2007; ROPELLE et al., 2008).

Ein weiterer Erklärungsansatz könnte in der Fähigkeit einiger Tierarten (z.B. Schwein und Ratte) gesehen werden, Futtermischungen mit einem unausgewogenen AS-Muster zu detektieren und zu meiden (KYRIAZAKIS et al., 1990; LESHNER et al., 1972). Der Chemosensor für diese Fähigkeit liegt im vorderen Bereich des Riechhirns (GIETZEN und ROGERS, 2007). Wurde eine Diät mit einem unausgeglichenen Aminosäuren-Muster aufgenommen, so sank der Gehalt der limitierenden AS im Hirngewebe und Blutplasma drastisch ab. Über diverse biochemische Signalprozesse "lernte" das Tier die Diät zu meiden und, wenn vorhanden, andere Proteinquellen zu wählen. Erfolgte weiterhin ein Angebot des Futters mit unausgeglichenem AS-Muster, mieden die Tiere diese Mischung verstärkt. Dies konnte beim Schwein in mehreren Versuchen nachgewiesen werden (ETTLER und ROTH, 2005; ROTH et al., 2006).

SASHIHARA et al. (2001) konnten zeigen, dass Ketonkörper, die letztlich auch im Leucin-Abbau entstehen können, zu einer verminderten Futteraufnahme beim Geflügel führen. FARRAN et al. (2003) beobachteten jedoch kein signifikanten Effekt einer Leucin-reichen Diät auf den β -Hydroxybutyrat-Gehalt im Blutplasma der Broiler, so dass dieser Erklärungsansatz vermutlich nicht relevant für die Verzehrdepression ist.

FARRAN und THOMAS (1992a, b) konnten zeigen, dass zwischen den BCAA auch Antagonismen vorliegen können, die unterhalb der Bedarfsdeckung bei Verabreichung in suboptimalen Verhältnissen zueinander auftraten. Dies unterstreicht noch einmal die grundsätzliche Notwendigkeit der Einstellung eines optimalen Verhältnisses zwischen den BCAA, und zwar unabhängig vom Versorgungsniveau.

Eine Ableitung von Obergrenzen für die Versorgung mit BCAA ist anhand der vorliegenden Studien schwierig, da nur für Ratten NOAEL (no-observed-adverse-effect-level)-Effekte untersucht wurden (TSUBUKU et al.; 2004). Folgende Parameter wurden sowohl an männlichen als auch an weiblichen Tieren erhoben: Futteraufnahme, Lebendmasse, Untersuchung der Augen, Urinanalyse, Hämatologie, Untersuchung der Blutwerte, Pathologie, Histopathologie. Aus der Studie ist ableitbar, dass Leucin-Gehalte, die das 4-fache des Bedarfs überschreiten, gut toleriert wurden und keine nachteiligen Effekte auftraten, während bei Isoleucin und Valin maximal eine 2,5-fach höhere Zulage toleriert wurde. Es konnten unter diesen Bedingungen keine negativen Effekte auf die Futteraufnahme und das Wachstum festgestellt werden.

Die bereits unter 3.1 beschriebene Studien von EDMONDS und BAKER (1987) und GATNAU et al. (1995) zeigten, dass auch Ferkel eine erhöhte Leucin-Zulage ohne nachteilige Wirkungen tolerieren. Erst eine Leucin-Gabe von 6,0% (EDMONDS und BAKER, 1987) bzw. 3,12% des Futters (GATNAU et al., 1995) führte zu einer verminderten Futteraufnahme. Laut NRC (1998) liegen die Leucin-Versorgungsempfehlungen für Ferkel mit einer Körpermasse von 8 kg bei 1,2% des Futters (auf Basis der wahren ilealen Verdaulichkeit). Somit scheint unter der Voraussetzung einer optimalen Proteinversorgung eine Verdopplung des Leucin-Gehalts im Futter über den Bedarf hinaus unproblematisch zu sein, genaue Grenzen können jedoch bislang nicht aufgezeigt werden.

3.2 AS - GEHALTE IM BLUTPLASMA

Es liegen zahlreiche Messungen zum AS-Gehalt im Blutplasma nach exzessiven Leucin-Gaben vor. Die Verabreichung erfolgte entweder enteral (EDMONDS und BAKER, 1987; HENRY et al., 1976; OWENS et al., 1994; WU, 1998; LYNCH et al., 2002a; WILTAFSKY et al., 2010) oder parenteral (MCNURLAN et al., 1982; NAIR et al., 1992; ELANGO et al., 2004; ESCOBAR et al., 2005; 2006; 2007; RIEU et al., 2006; WILSON et al., 2010).

Allen Untersuchungen ist gemeinsam, dass der Leucin-Gehalt im Plasma nach Applikation/Verfütterung zunahm. Weiterhin konnte ein Rückgang der Valin- und Isoleucin-Gehalte beobachtet werden. Insbesondere bei parenteraler Leucin-Gabe verstärkte sich der Effekt, je länger die Leucin-Infusion andauerte (ESCOBAR et al., 2007; keine Angabe der Autoren über die verwendeten Isomere). HENRY et al. (1976) konnten jedoch keine Auswirkungen einer forcierten L-Leucin-Verabreichung auf den Isoleucin- und Valin-Gehalt beobachten. In einer Untersuchung von OWENS et al. (1994) war mit steigendem L-Leucin-Gehalt des Futters eine Erhöhung der Konzentration unentbehrlicher Aminosäuren im Plasma zu erkennen (s. Tab. 3). Allerdings steht diese Beobachtung im Widerspruch zu WILSON et al. (2010), die nach Leucin-Gabe signifikant reduzierte Gehalte an unentbehrlichen Aminosäuren im Plasma feststellten. Dieser Effekt konnte jedoch verhindert werden, wenn zusätzlich weitere Aminosäuren mit verabreicht wurden (Abb. 6). Auch ESCOBAR et al. (2005; 2007) und NAIR et al. (1992) konnten einen Rückgang der unentbehrlichen Aminosäuren im Plasma beobachten.

Insgesamt führte eine erhöhte L-Leucin-Gabe zu höheren Leucin-Gehalten im Plasma, einhergehend mit sinkenden Isoleucin- und Valin-Gehalten und wechselnden Wirkungen auf unentbehrliche und entbehrliche Aminosäuren, wobei eine Verringerung des Gehalts an unentbehrlichen Aminosäuren häufiger beobachtet wurde als ein Anstieg ihrer Gehalte im Plasma. Der generell hohe Gehalt an Leucin im Blutplasma war darauf zurückzuführen, dass Leucin den first-pass-Effekt umging und somit überwiegend extrahepatisch katabolisiert wurde (LYNCH et al., 2003).

Tabelle 3: AS-Gehalte im Blutplasma von Ratten, die ein Futter mit steigenden L-Leucin-Gehalten erhielten. Ziffern innerhalb einer Reihe mit unterschiedlichen Hochbuchstaben unterscheiden sich signifikant ($p < 0,1$; modifiziert nach OWENS et al., 1994)

Table 3: Blood plasma amino acid concentrations of rats fed graded levels of L-leucine. Figures within a row bearing different superscript letters differ significantly ($p < 0.1$; adapted from OWENS et al., 1994)

Aminosäure (mM im Plasma)	L-Leucin-Gehalt in der Diät (%) / angenommene Bedarfsdeckung (%)					
	0,15 / 19	0,30 / 39	0,45 / 58	0,60 / 78	0,75 / 97	0,90 / 117
Arginin ¹	0,012 ^b	0,073 ^{ab}	0,076 ^{ab}	0,092 ^{ab}	0,82 ^{ab}	0,149 ^a
Histidin	0,033 ^b	0,146 ^a	0,028 ^b	0,049 ^b	0,045 ^b	0,43 ^b
Isoleucin	0,079	0,097	0,115	0,129	0,080	0,063
Leucin²	0,031^b	0,006^b	0,012^b	0,020^b	0,055^{ab}	0,112^a
Lysin	0,231	0,234	0,469	0,428	0,498	0,550
Methionin ¹	0,040	0,031	0,060	0,059	0,083	0,086
Phenylalanin ¹	0,028	0,017	0,032	0,045	0,069	0,062
Threonin	0,237	0,462	0,656	0,677	0,656	0,793
Valin	0,137	0,169	0,208	0,224	0,147	0,113
Gesamt UAS³	0,828^c	1,235^b	1,656^a	1,723^a	1,715^a	1,971^a
Gesamt EAS ⁴	5,538	1,963	2,178	3,212	3,707	3,673
Gesamt AS	6,366	2,928	3,834	4,935	5,422	5,644

¹: Lineare Beziehung zwischen den Behandlungen ($p < 0,05$)

²: Quadratische Beziehung zwischen den Behandlungen ($p < 0,05$)

³: UAS = unentbehrliche Aminosäuren

⁴: EAS = entbehrliche Aminosäuren

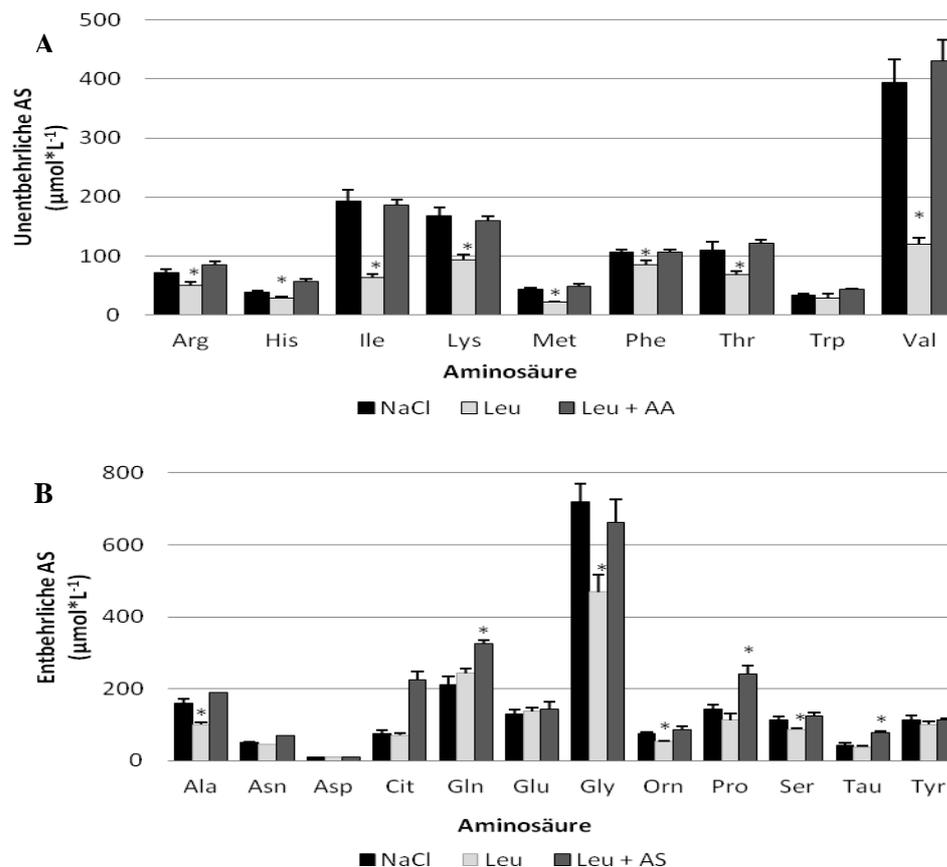


Abbildung 6: Gehalt an unentbehrlichen (A) und entbehrlichen (B) Aminosäuren (AS)¹¹ im Blutplasma von Ferkeln nach 24-stündiger Infusion von NaCl (Kontrolle), Leucin, oder Leucin + zusätzlichen Aminosäuren. * Mittelwerte weichen signifikant von Kontroll-gruppe ab ($p < 0,05$; nach WILSON et al. 2010)

Figure 6: Plasma indispensable (A) and dispensable (B) amino acids (AA)³ in piglets after 24 hours of infusion with saline (control) or leucine, with and without added amino acids. * Means differ from control saline group ($p < 0.0$; according to WILSON et al, 2010)

4 BEDARF AN BCAA

Der quantitativen Bedarfsableitung für einzelne Aminosäuren können unterschiedliche methodische Ansätze zugrunde liegen (MOUGHAN und FULLER, 2003; LIEBERT und LEBZIEN, 2008; LIEBERT, 2008). Neben faktoriellen Ableitungen stehen Dosis-Wirkungs-Studien zur Verfügung, die den Prinzipien der Supplementations- oder Verdünnungstechnik folgen können. Als Wirkungsparemeter sind neben zootechnischen Kennzahlen des Wachstums bzw. der Produktbildung vor allem Proteinansatzmessungen durch Körperanalytik oder

¹¹ AA (in mmol*L⁻¹): L-Alanin: 27,3; L-Arginin: 20,1; L-Asparagin: 12,0; L-Cystein: 6,2; L- Glutamat: 23,8; Glutamin: 17,1; Glycin: 54,3; L-Histidin: 12,9; L-Isoleucin: 28,6; L-Lysin: 27,4; L- Methionin: 10,1; L-Taurin: 2,0; L-Threonin: 21,0; L-Tyrosin: 7,2; L-Trpytophan: 4,4; L-Valin: 34,1; L-Phenylalanin: 12,1; L-Prolin: 34,8; L-Serin: 23,8

Bilanzmessungen im Fokus. Daneben sind stoffwechelorientierte Parameter, wie bei der IAAO-Methodik (Indicator Amino Acid Oxidation), anwendbar. Für die Ermittlung des BCAA-Bedarfs bei verschiedenen Tierarten überwiegen im Schrifttum bisher Dosis-Wirkungs-Studien (z.B. BAKER et al., 1979; TSUBUKU et al., 1994; COON, 2004). Aber auch metaanalytische Ansätze (NRC, 1998; GfE, 2006), faktorielle Ableitungen (GfE, 1999) sowie die IAAO-Technik (ELANGO et al., 2004) wurden angewandt.

Die Tabelle 4 gibt hierzu eine Übersicht unter Beachtung verschiedener Tierarten und Berücksichtigung des Alters. Hierbei werden Daten, die aus originären Bedarfsstudien stammen, als Bedarfswerte eingeordnet, Angaben der GfE bzw. des NRC als Versorgungsempfehlungen.

Tabelle 4: Ideale AS-Relationen zwischen den BCAA im Futter, abgeleitet von Literaturbefunden für unterschiedliche Tierarten (Leucin = 100)

Table 4: Ideal dietary ratios between BCAA as derived from references for selected animal species (Leucine =100)

Tierart	Methode	Betrachtungsebene	Leu	Ile	Val	Autoren
Schwein	Metaanalyse	Brutto				GfE (2006)
<30kg			100	49	62	
>30kg			100	47	62	
Schwein	Metaanalyse	Wahre ileale Verdaulichkeit				NRC (1998)
3-5kg			100	54	67	
5-10kg			100	54	68	
10-20kg			100	54	68	
20-50kg			100	54	67	
50-80kg			100	55	67	
80-120kg			100	57	67	
Schwein orale Verabreichung	Indicator amino acid oxidation (IAAO) technique		100	56	67	ELANGO et al. (2004)
Geflügel	Metaanalyse	Brutto				NRC (1994)
Broiler, 0.-3. LW ¹²			100	67	74	
4.-6. LW			100	67	75	
Geflügel Broiler, 7. LW	Faktorielle Basis; Metaanalyse	Brutto	100	63	87	GfE (1999)
Geflügel Broiler, 1. LW	Ableitung des AS- Ansatzes in	Brutto	100	96	64	SKLAN und NOY (2005)
2. LW	Abhängigkeit von der LM ¹⁴ aus AS-		100	87	84	
3. LW	Zusammensetzung des Schlachtkörpers		100	74	81	
Geflügel Broiler, 2. – 3. LW ¹³	Dosis-Wirkungs- Studie	Brutto	100	53	64	D'MELLO (1974)

¹² LW = Lebenswoche

¹³ d = Lebenstag

¹⁴ LM = Lebendmasse

Tierart	Methode	Betrachtungsebene	Leu	Ile	Val	Autoren
Geflügel Broiler, 2. – 3. LW	Dosis-Wirkungs- Studie (broken-line)	scheinbare Verdaulichkeit	100	68	71	COON (2004)
Geflügel Broiler, 3.LW	Polynomiale Regressions- analyse	Brutto	100	69	78	FARRAN und THOMAS (1990)
Geflügel Broiler, (ohne Alters- angabe)	Dosis-Wirkungs- Studie (Diät mit kristallinen AS)	wahre Verdaulichkeit	100	60	69	BAKER et al. (1979)
Ratte	Metaanalyse; Nicht-lineares Modell	Brutto	100	58	69	NRC (1995)
Fisch Karpfen	Dosis-Wirkungs- Studie	Brutto	100	82	99	AHMED und KHAN (2007)

Aus Tabelle 4 wird ersichtlich, dass insbesondere für Schwein und Geflügel bereits eine gewisse Datengrundlage vorhanden ist. Für die Ratte und speziell für Fische liegen jedoch kaum belastbare Daten vor. Weiterhin ist zu beachten, dass sich zumindest beim Schwein je nach Art der Verabreichung (parenteral oder enteral) das abgeleitete Verhältnis zwischen den BCAA ändern kann. So wurde in einer Toleranzstudie von ELANGO et al. (2004) bei parenteraler Verabreichung das extreme Verhältnis der BCAA von 1:1:1 ermittelt. Auffällig sind zudem deutliche Abweichungen zwischen Empfehlungen von NRC (1998) und GfE (2006) für Schweine.

Zu berücksichtigen ist auch, dass beim Geflügel nur ältere Empfehlungen verfügbar sind (NRC, 1994; GfE, 1999), deren Relevanz für aktuelle Genotypen auf der Ebene der Relativwerte ggf. noch akzeptabel ist, nicht aber auf Ebene der quantitativen Bedarfswerte. Aktuelle Untersuchungen sind demnach dringend erforderlich.

5 WIRKUNGEN VON LEUCIN AUF PROTEINSYNTHESEPROZESSE

5.1 VORSTELLUNGEN ÜBER DIE WIRKUNGSWEISE VON LEUCIN

In zahlreichen neueren Studien konnte gezeigt werden, dass Leucin die Proteinsynthese fördert (ANTHONY et al., 2000a, b; LYNCH et al., 2002a, b; RIEU et al., 2003; ESCOBAR et al., 2006, 2007; DAVIS et al., 2010; TORAZZA et al., 2010; YIN et al., 2010; WILSON et al., 2011). Nachfolgend geht es um die Frage, über welche Mechanismen Leucin die Körperproteinsynthese direkt stimulieren könnte.

Auf die allgemeine Regulation von Proteinsynthese- und Abbauprozessen wird dabei nicht vertiefend eingegangen, eine ausführliche Übersicht hierzu liegt bereits vor (STANGL, 2010). Die Proteinsynthese erfolgt in zwei Schritten: der Transkription und der Translation. Leucin wirkt auf Translationsebene und stimuliert die Initiation. ANTHONY et al. (2000a, b) zeigten, dass Leucin über mTOR auf die Proteinsynthese Einfluss nimmt. Beim System mTOR

handelt es sich um eine Serin/Threonin-Proteinkinase, die auch Proteine der mRNA-Translation aktivieren kann. Dabei liegt mTOR in zwei Formen vor: mTOR-Komplex 1 (mTORC1) und mTOR-Komplex 2 (mTORC2). Der Komplex mTORC1 kann durch Rapamycin gehemmt werden. Leucin aktiviert den Rapamycin sensitiven mTOR-Komplex, der zusammen mit weiteren Proteinen die Proteinkinase mTORC1 bildet. Proteinkinasen katalysieren den Transfer einer Phosphatgruppe von einem Donor auf die Seitenketten-Hydroxyl-Gruppe einer Aminosäure (in diesem Fall: Serin bzw. Threonin). Es kommt zur Proteinphosphorylierung, welche einen posttranslationalen Kontrollmechanismus in der Signalübertragung der Zelle darstellt und zur Aktivierung bzw. Inaktivierung eines Zielproteins führt.

Die Proteine 4EBP1 (4E binding protein 1) und S6K1 (ribosomale protein S6 kinase 1) stellen die Regulatoren der Protein-Translation dar. Bindet unphosphoryliertes 4EBP1 an eIF-4E (eucaryotic initiation factor), wird die Kopplung an die mRNA und somit an den Translations-Initiations-Komplex gehemmt. Die Phosphorylierung von 4EBP1 erfolgt durch mTORC1 und führt zur Freisetzung von eIF-4E, das nun mit eIF-4G einen aktiven Komplex bilden kann. Dieser fördert die Bildung des 48S-Präinitiationskomplexes am Ribosom und die Translation kann starten (KIM et al., 2002; SHAH et al., 2000). Gleichzeitig wird S6K1 von mTOR phosphoryliert. Auch über diesen Weg kommt es zu einer Initiierung der Protein-Biosynthese durch Aktivierung des ribosomalen Proteins S6.

ANTHONY et al. (2000a, b) konnten unter den BCAA die Einzigartigkeit von Leucin herausstellen, über mTOR auf die Proteinsynthese Einfluss nehmen zu können. Während die Kaskade nach Aktivierung von mTOR bekannt ist, kann der genaue Weg zur Aktivierung von mTOR über Leucin bisher nicht beschrieben werden (YANG et al., 2008).

Insgesamt aber wirkt Leucin als „nutrient-signal“ für eine ausreichend hohe Bereitstellung an Proteinbausteinen und stimuliert postprandial eine verstärkte Proteinsynthese (LYNCH et al., 2003; COMBARET et al., 2005).

5.2 STUDIEN ZU WIRKUNGEN VON LEUCIN AUF DIE PROTEINSYNTHESE

BUSE und REID (1975) konnten erstmals *in vitro* nachweisen, dass Leucin die Proteinsynthese fördert. Sie testeten die Zugabe aller drei BCAA in isoliert inkubierten Ratten-Zwerchfellhälften und ermittelten die Proteinsyntheserate mittels Lysin [^{14}C]. Eine Zugabe aller drei BCAA (0,3mM/BCAA) führte zu einer Steigerung der Proteinsynthese um 20,4% im Vergleich zur Kontrollgruppe (Salzlösung anstelle von Leucin; $p < 0,05$). Eine Inkubation mit 0,5mM Leucin führte zu einer um 25,3% erhöhten Einbaurate von ^{14}C des Lysins. Die alleinige Zugabe von Isoleucin (0,5mM) bewirkte einen Rückgang der Einbaurate um -12,5% ($p < 0,01$), Valin (0,5mM) beeinflusste die Proteinsynthese nicht signifikant (+2,5%). Auch *in vivo* steigerte Leucin die Proteinsynthese (ANTHONY et al., 2000a; CROZIER et al., 2005; ESCOBAR et al., 2005, 2006). Nachfolgend werden einige Studien, die unter ganz spezifischen Bedingungen möglichen Wirkungen einer Leu-Ergänzung nachgingen, näher vorgestellt.

5.2.1 KÖRPERLICHE BELASTUNG

ANTHONY et al. (1999) untersuchten die Erholung der Skelettmuskulatur (*M. gastrocnemius*, *M. plantaris*) von Ratten nach einem 7-stündigen Futterentzug und einer anschließend definierten physischen Belastung (2h Laufband, 36m/min; 1% Anstieg). Prämortal erfolgte eine einmalige Gabe von 270mg Leucin (gelöst in *aqua dest.*) per Zwangsfütterung. Durch die Leucin-Gabe kam es zu einer raschen Erholung der Skelettmuskulatur, die bei zusätzlicher Kohlenhydratverabreichung tendenziell ausgeprägter war (Abb. 7).

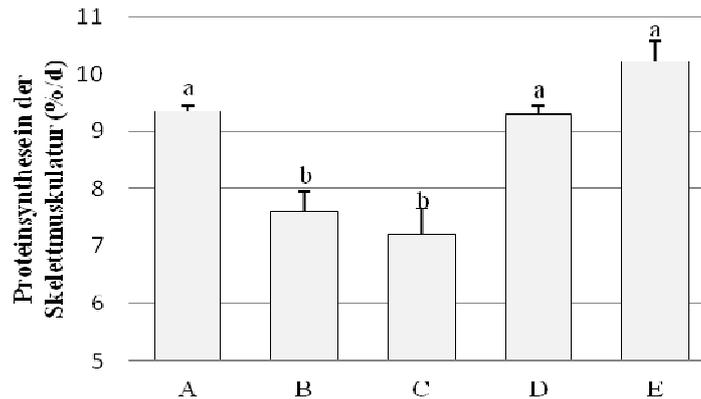


Abbildung 7: Fraktionelle Proteinsyntheserate im Skelettmuskel (%/d) in männlichen Ratten, in Abhängigkeit von Ernährung und körperlicher Belastung. A: sitzend, Futterentzug; B: trainiert, Futterentzug; C: trainiert; 100% Kohlenhydrate; D: trainiert, 100% Leucin; E: trainiert, Leucin + Kohlenhydrate. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$; nach ANTHONY et al., 1999)

Figure 7: Fractional rate of skeletal muscle protein synthesis (%/d) in male rats fed diets that differed in carbohydrate and leucine levels and physical effort. A: sedentary, food-deprived; B: exercised, food-deprived; C: exercised, 100% carbohydrates; D: exercised, 100% leucine; E: exercised, leucine + carbohydrates. Means not sharing a superscript are different ($p < 0.05$; according to ANTHONY et al., 1999)

Auch beim Menschen sind positive Effekte einer Leucin-Gabe auf die Muskelproteinsynthese nach körperlicher Belastung belegt (PASIAKOS et al., 2011).

5.2.2 ALTERSABHÄNGIGE EFFEKTE

Hypertrophie und Hyperplasie sind bei Neugeborenen und Jungtieren stark ausgeprägt. Aus diesem Grund wurden häufig Jungtiere für Leucin-Studien verwendet, da hier die größten Effekte zu erwarten sind.

So verabreichten ESCOBAR et al. (2007) 7d und 26d alten Ferkeln nach 12-14h Futterentzug unterschiedliche Infusionslösungen, die entweder nur Leucin ($400\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$), Leucin+AS (Konzentrationen s. ESCOBAR et al., 2007), oder eine Kochsalzlösung (=Kontrolle) enthielten. Eine Förderung der Proteinsynthese konnte nur dann erzielt werden, wenn Leu mit anderen AS verabreicht wurde. Während im Vergleich zur Kontrollgruppe die Proteinsynthese der

Skelettmuskulatur bei 7d alten Ferkeln um 60% höher lag, war bei den 26d alten Ferkeln nur ein Anstieg von 40% zu verzeichnen. Die alleinige Gabe von Leucin führte zu reduzierten Gehalten an unentbehrlichen Aminosäuren im Blutplasma, so dass die Autoren keine Proteinsynthese detektieren konnten, obwohl es bei 7d alten Ferkeln zu einer vermehrten Bildung des aktiven eIF4G-eIF4E-Komplexes kam. Doch trotz der Bildung dieses Komplexes blieb die Entstehung des 48S-Präinitiationskomplexes, nach welchem die Translation beginnt, aus (s.5.1). Bei 26d alten Ferkeln hingegen führte eine Leucin-Supplementation zu keiner signifikant gesteigerten Bildung des eIF4G-eIF4E-Komplexes (s. Abb.8).

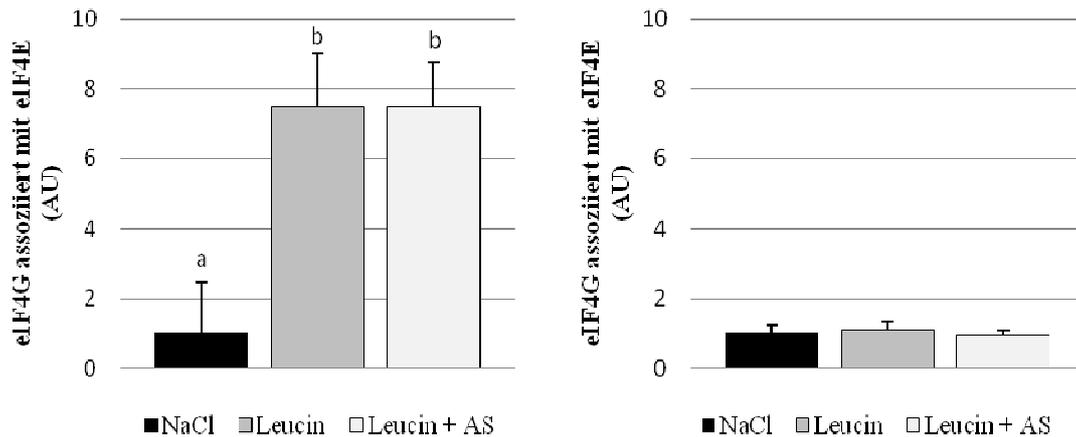


Abbildung 8: Bildung des eIF4G-eIF4E-Komplexes im *Musculus longissimus dorsi* von 7 (links) - und 26-d (rechts) alten Ferkeln nach einer 120 minütigen Infusion von Kochsalzlösung oder $400\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ Leucin mit oder ohne zusätzlichen Aminosäuren. Unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) zwischen den Gruppen (nach ESCOBAR et al., 2007)

Figure 8: Association of eIF4G with eIF4E in *Musculus longissimus dorsi* of 7(left) - and 26- (right) day-old pigs after 120 min of infusion with saline or $400\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ of leucine with and without replacement amino acids. Means with different letters differ significantly ($p < 0.001$) (according to ESCOBAR et al., 2007)

Auch DARDEVET et al. (2000) konnten zeigen, dass mit zunehmendem Alter die Sensitivität gegenüber dem Leucinangebot im Futter zurückgeht. Sie untersuchten *in vitro* den Effekt einer Leucin-Gabe auf den *Musculus epitrochlearis* in jungen, gerade adulten und alten Ratten. Während in jungen und adulten Tieren zur maximalen Stimulierung der Proteinsynthese $200\mu\text{mol Leu/l}$ einer Pufferlösung ausreichten, war bei den alten Tieren eine Dosierung von $400\mu\text{mol Leu/l}$ für eine maximale Proteinsynthese notwendig. Eine Stimulierung der Proteinsynthese in alten Tieren setzte somit supraphysiologische Konzentrationen voraus.

Ähnliche Schlüsse konnten auch aus weiteren Studien (Tab. 5) an der Ratte abgeleitet werden (DARDEVET et al., 2002, RIEU et al., 2003).

Tabelle 5: Fraktionelle Proteinsyntheseraten (FSR, %/d) von gerade adulten und alten Ratten. PA: Postabsorptiv (17h Futterentzug); PP: Postprandial (1h Futterzugang); PP + Leu: Postprandial (1h) + Leucin (modifiziert nach DARDEVET et al., 2002)

Table 5: Fractional protein synthesis rate (FSR, %/d) of adult and old rats. PA: postabsorptive (food deprived for 17h); PP: postprandial (fed for 1h); PP + Leu: Postprandial (fed for 1h) + leucine (adapted from DARDEVET et al., 2002)

FSR, %/d	Adulte Ratten			Alte Ratten		
	PA	PP	PP+Leu	PA	PP	PP+Leu
<i>M. gastrocnemius</i>	3,80 ± 0,14	4,53 ± 0,15*	4,54 ± 0,18*	4,15 ± 0,11	4,51 ± 0,18	4,94 ± 0,22*§
<i>M. soleus</i>	6,63 ± 0,28	7,59 ± 0,21*	7,72 ± 0,22*	7,75 ± 0,23	7,46 ± 0,25	8,89 ± 0,21*§

*p<0,05 vs. PA in derselben Altersgruppe; § p<0,05 vs. PP in derselben Altersgruppe

Zugleich konnte gezeigt werden, dass eine signifikante Interaktion zwischen Alter, Supplementations- und Ernährungsstatus bestand. Postprandial waren die Gehalte der BCAA im Plasma deutlich höher als in der postabsorptiven Phase (RIEU et al., 2003). Da, wie bereits beschrieben, Leucin als „nutrient-signal“ wirkt, ist durch den höheren Plasma-Leucin-Gehalt in der postprandialen Phase ein höherer Effekt auf die Proteinsynthese zu erwarten als in der postabsorptiven Phase. COMBARET et al. (2005) konnten zeigen, dass es bei älteren Tieren (22 Monate versus 8 Monate) zu einer Störung der postprandialen Proteasom-abhängigen Proteolyse kam (Abbildung 9). Die Höhe der Proteolyse blieb im postabsorptiven und postprandialen Zustand bei den älteren Tieren weitgehend unverändert. Durch die Verabreichung von Leucin (Standarddiät + 5% Leucin) konnte aber auch bei diesen Tieren über einen Zeitraum von 10d die Proteolyse signifikant reduziert werden (Abb. 9 und 10). Somit wirkte Leucin nicht nur positiv im Sinne einer Stimulierung der Proteinsynthese, sondern hemmte zugleich die Proteolyse und trug damit zum Erhalt der Muskelmasse bei.

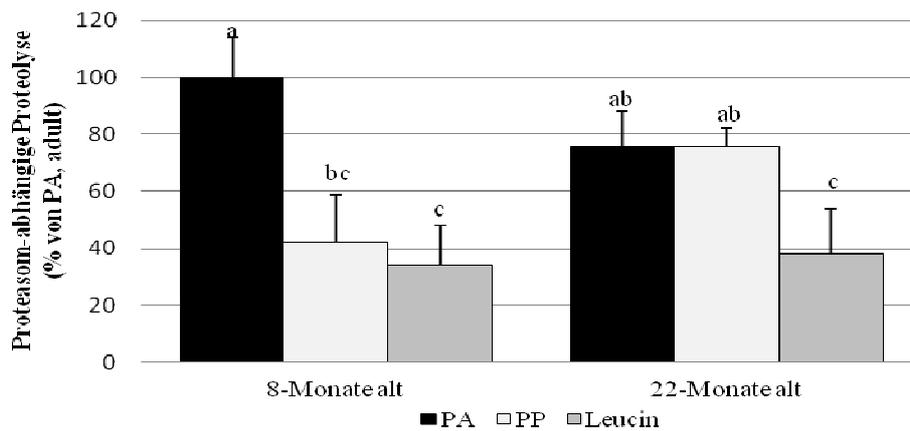


Abbildung 9: Proteasom abhängige Proteolyse in der Skelettmuskulatur nach der Fütterung von 8- und 22- Monate alten Ratten. PA: Postabsorptiv (über Nacht genüchert); PP: Postprandial (1h zuvor gefüttert) bzw. eine mit Leucin supplementierte Diät. Unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ($p < 0,05$, nach COMBARET et al., 2005)

Figure 9: Skeletal muscle proteasome-dependent proteolysis after feeding 8- and 22-month-old animals. PA: postabsorptive (over night starved); PP: postprandial (fed for 1h) or a leucine-supplemented meal. Columns with different letters are significantly different from each other ($p < 0.05$, according to COMBARET et al., 2005)

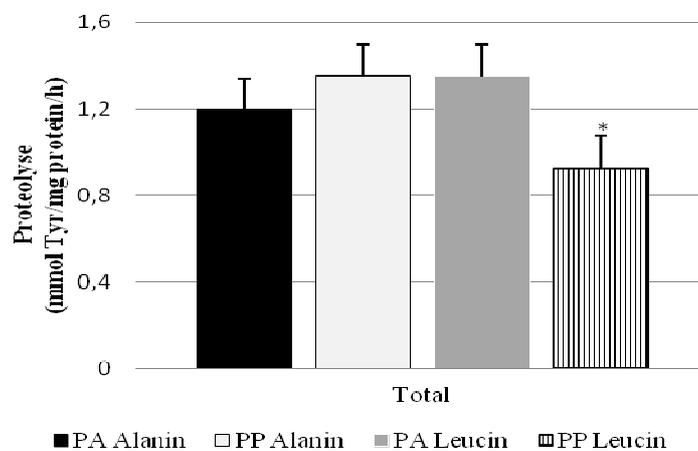


Abbildung 10: Gesamte Proteolyse in 22 Monate alten Ratten, denen eine Alanin- (5%) oder Leucin-Diät (5%) über 10d verabreicht wurde. PA: Postabsorptiv (über Nacht genüchert); PP: Postprandial (1h gefüttert). * $p < 0,05$ vs. PA Leu (nach COMBARET et al., 2005)

Figure 10: Total proteolysis in 22-month-old rats chronically fed an alanine- (5%) or leucine (5%)-supplemented diet for 10 days. PA: postabsorptive (overnight starved); PP: postprandial (fed for 1 h). * $p < 0.05$ vs. PA Leu (according to COMBARET et al., 2005)

5.2.3 N-DEFIZITÄRE VERSORGUNG UND FUTTERRESTRIKTIONEN

Untersuchungen zur Wirkung von zusätzlichen Leucin-Gaben bei gleichzeitig abgesenkten Proteingehalten im Futter und Auswirkungen auf den tierischen Organismus sind rar.

YIN et al. (2010) untersuchten an 21 Tage alten abgesetzten Ferkeln diverse Futtermischungen mit 16,9% Rohprotein, also 29% unterhalb der Versorgungsempfehlungen (NRC, 1998). Weiterhin entsprach das AS-Muster nicht dem Idealprotein. Mit 1,34% Leucin im Futter wurden die Versorgungsempfehlungen (NRC, 1998) erfüllt. Zusätzliche Gaben zu dieser proteinabgesenkten Kontrolldiät von 0,27% bzw. 0,55% L-Leucin führten zu Gesamtgehalten an 1,61% und 1,88% Leucin. Nach 14 Tagen Applikationsdauer mit Supplementation von 0,55% L-Leucin konnte eine vermehrte Phosphorylierung von 4EBP1 in der Skelettmuskulatur und der Leber festgestellt werden. Ebenso war eine höhere Proteinsynthese (gemessen über fraktionelle Proteinsyntheseraten) in Herz, Leber, Niere, Skelettmuskulatur, Pankreas, Milz und Magen nachweisbar. Die Werte lagen signifikant höher als bei einer Verabreichung von 0% oder 0,27% L-Leucin. Die Ergänzung von 0,55% L-Leucin bewirkte im Vergleich zur 0% oder 0,27% Diät um 61% bzw. 41% höhere tägliche Zunahmen. Im Gegensatz zu negativen Auswirkungen auf die Futteraufnahme, wie sie bei erhöhter Leucin-Zufuhr beobachtet wurden (s. 2.1), zeigte Leucin hier keinen signifikanten Einfluss auf die Futteraufnahme. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Die Ergebnisse der Studie sind umso erstaunlicher, wenn berücksichtigt wird, dass die Isoleucin- und Valin-Gehalte konstant gehalten und somit nicht an die erhöhten Leucin-Werte angepasst wurden. Trotz abgesenkter Plasma-Valin- und Isoleucin-Gehalte, einhergehend mit einer tendenziell geringeren Futteraufnahme, konnten *erhöhte Proteinsyntheseraten* und daraus resultierend ein gesteigertes Wachstum beobachtet werden. Als Ursache hierfür wurden die gleichbleibenden Gehalte der verbleibenden Aminosäuren im Blutplasma gesehen, so dass ausreichend Substrat für die durch Leucin induzierte und forcierte Proteinsynthese vorhanden war.

Auch TORAZZA et al. (2010) untersuchten die Zulage von Leucin¹⁵ zu einer proteindefizitären Diät (8,3% Rohprotein). Sie verwendeten fünf Tage alte Ferkel, welche über Zwangsfütterung die jeweilige Diät in Form von Milchaustauscher verabreicht bekamen. Als Versuchsdiät wurde eine proteindefizitäre Mischung (0,7% Leucin) verwendet und zusätzlich mit Leucin so angereichert, dass der Leucin-Gehalt einer Diät mit hohem Proteingehalt erreicht wurde (4,0% Leucin, 41,6% Rohprotein). Es zeigte sich, dass eine proteinreiche Diät nicht benötigt wurde, um die Proteinsynthese zu stimulieren. Leucin erhöhte die translationale Effizienz über seine Wirkung auf mTOR. Ob der beobachtete Effekt auch langfristig auf das Muskelwachstum wirkt, bleibt spekulativ, da die vorgenommene Messung nur über einen extrem kurzen Zeitraum erfolgte (90 Minuten). ESCOBAR et al. (2005) nahmen die Messung der durch Leucin ausgelösten Proteinsynthesestimulierung über einen Zeitraum von zwei Stunden vor. Während nach einer Stunde eine erhöhte Muskelproteinsynthese zu beobachten war, konnte nach 120 Minuten keine weitere forcierte Proteinsynthese detektiert werden, obwohl mTOR weiterhin aktiv war. Eine Proteinsynthesesteigerung erschien aufgrund des unzureichenden Aminosäureangebotes im Plasma-Pool nicht möglich. Somit bleibt festzuhalten, dass Leucin bei proteindefizitären Diäten die Proteinsynthese fördert (TORAZZA et al., 2010; YIN et al., 2010), jedoch keine Garantie für den Ansatz von Muskelprotein ist, wenn keine Zulage von

¹⁵ Keine Angaben der Autoren über die verwendete Isomerenform.

weiteren unentbehrlichen Aminosäuren erfolgt. Eine alleinige Aktivierung von mTOR ist verständlicherweise nicht ausreichend, um positive Effekte zu erzielen.

Tabelle 6: Auswirkungen einer L-Leucin Supplementation auf Leistungsparameter bei einer proteindefizitären Diät. Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ($p < 0,05$; modifiziert nach YIN et al., 2010)

Table 6: Influence of L-leucine supplementation in a protein-deficient diet on performance parameters. Superscripts represent significant differences among the groups ($p < 0.05$; adapted from YIN et al., 2010)

Parameter	Leucin-Gehalt im Futter (%)			p-Wert
	1,34	1,61	1,88	
Körpermasse (kg)				
- am Anfang	8,39	8,42	8,28	0,990
- am Ende	11,3	11,7	12,9	0,040
Körpermassenzunahme, g/d	206 ^b	236 ^b	332 ^b	0,048
Tägliche Futtermenge, g	455	442	432	0,120
Fraktionelle Proteinsynthese (%)				
Caecum	43,1	44,5	47,6	0,251
Colon	51,4	49,7	45,0	0,443
Herz	30,8 ^b	27,7 ^b	36,6 ^a	0,018
Dünndarm, distal	59,1 ^b	70,5 ^{ab}	73,2 ^a	0,082
Dünndarm, proximal	60,9 ^b	74,2 ^a	66,0 ^b	0,006
Niere	45,1 ^c	57,0 ^b	66,2 ^a	0,001
Leber	75,5 ^b	74,4 ^b	86,5 ^a	0,031
Skelettmuskulatur	9,0 ^b	9,5 ^b	11,9 ^a	<0,001
Milz	57,0 ^b	56,8 ^b	73,3 ^a	0,039
Magen	57,7 ^b	53,8 ^b	72,7 ^a	0,002

Während die bisher genannten Studien auf die Frage einer möglichen Stimulierung der Proteinsynthese ausgerichtet waren, wird nachfolgend die Beeinflussbarkeit der Proteolyse bei suboptimalen Diäten näher behandelt. SUGAWARA et al. (2007) zeigten, dass die Zugabe von L-Leucin zu einem protein-freien Futter über einen verminderten myofibrillären Muskelabbau positiv auf den Erhalt der Muskelmasse wirkte. Auch NAGASAWA et al. (2002) wiesen eine Wirkung von Leucin auf den Erhalt der Muskelmasse durch eine reduzierte Proteolyse nach. SUGAWARA et al. (2009) verwendeten 4 Wochen alte Ratten und untersuchten die Auswirkung einer proteinfreien Diät sowie einer proteinfreien Nahrung mit 1,5% L-Leucin (Leucin-Gehalt eines Futters mit 20% Kasein), auf die

Muskelmasse. Während bei einer Langzeitgabe (1 Woche) der proteinfreien Diät ein erhöhter Proteinabbau zu beobachten war, der zu einem Rückgang in der Muskelmasse führte, wirkte die mit 1,5% L-Leucin supplementierte Diät dem lysosomalen Abbau von Muskelprotein entgegen. Im Gegensatz zur Studie von YIN et al. (2010) kam es jedoch nicht zu einer signifikanten Steigerung der Proteinsynthese. Es war naheliegend, diese Beobachtung mit der proteinfreien Ernährung in Verbindung zu bringen. Dennoch führte die Leucin-Diät in ausgewählten Muskelgeweben (*M. extensor digitorum longus* (EDL), *M. soleus*, *M. plantaris*, *M. gastrocnemius*) zu höheren Muskelmassen im Vergleich zur proteinfreien Diät (Abb.11). Dabei wirkte Leucin primär über eine Verminderung der Proteolyse (Abb.12). Weiterhin ist anzumerken, dass die Höhe der Leucin-Gabe von SUGAWARA et al. (2009) im physiologischen Bereich lag (1,5% Leucin im Futter) und nicht im supraphysiologischen Bereich, wie bei YIN et al. (2010).

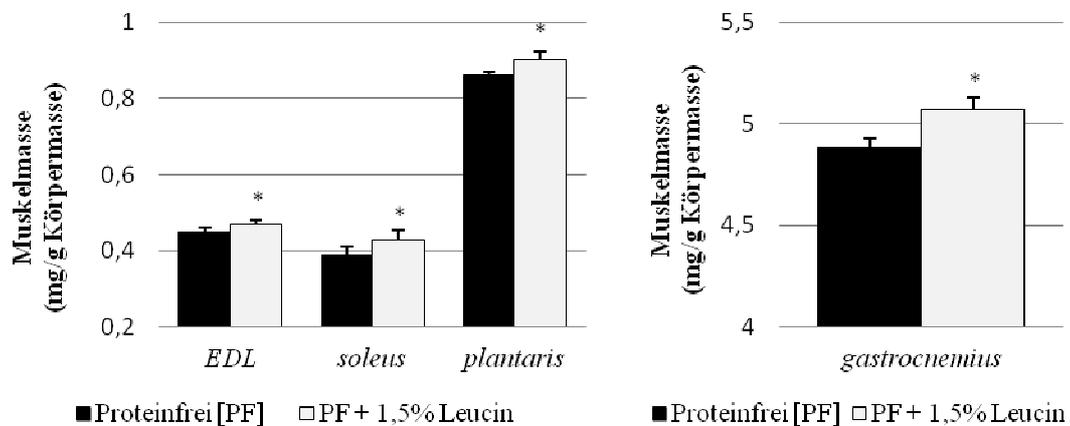


Abbildung 11: Effekt der Fütterung einer proteinfreien Diät (schwarze Balken) oder einer proteinfreien Diät mit 1,5% Leucin (weiße Balken) auf die Masse von *M. extensor digitorum longus* (EDL), *M. soleus*, *M. plantaris* und *M. gastrocnemius*. * $p < 0,05$ vs. proteinfreie Diät (nach SUGAWARA et al., 2009)

Figure 11: Effect of feeding a protein-free diet (PF) or a PF diet supplemented with 1.5% leucine on weight of *M. extensor digitorum longus* (EDL), *M. soleus*, *M. plantaris* and *M. gastrocnemius*. * $p < 0.05$ vs. protein-free diet (according to SUGAWARA et al., 2009)

Zu abweichenden Ergebnissen kamen PEDROSA et al. (2010) mit adulten Wistar-Ratten nach einer einwöchigen Futterrestriktion (-50% = 12g). In dieser Zeit war das Futter der Versuchsgruppe zusätzlich mit L-Leucin supplementiert (17,7g Leucin/kg; Kontrolldiät: 11,8g Leucin/kg). In beiden Gruppen wurde ein Verlust an Körpermasse beobachtet, ohne signifikante Unterschiede zwischen den Leucin-Versorgungsgraden. Lediglich die Lebern der Versuchsgruppe wiesen eine höhere Masse und einen höheren Proteingehalt auf. Als Ursache wurde die Möglichkeit diskutiert, dass Leucin die Proteolyse in der Leber vermindert haben könnte. Andererseits wurden keine Hinweise auf eine erhöhte IGF-1-Sekretion gefunden, die einen anabolen Zustand indiziert hätte.

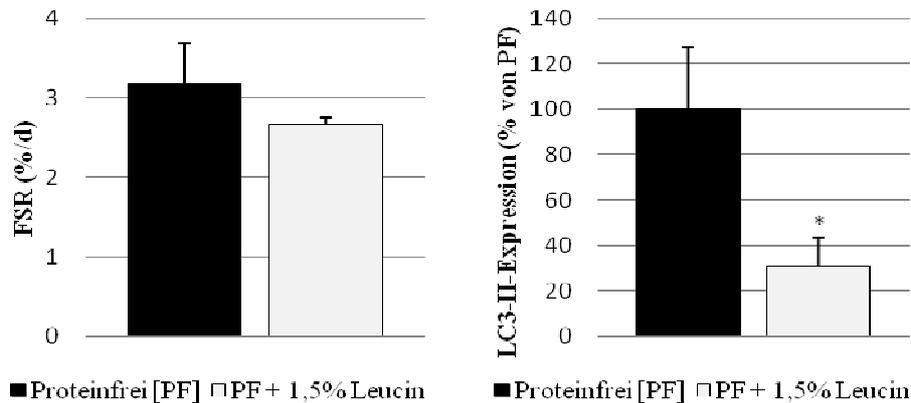


Abbildung 12: Auswirkung einer proteinfreien (PF) und einer proteinfreien Diät mit 1,5% Leucin (PF + 1,5% Leu) auf die fraktionelle Proteinsyntheserate (FSR [%/d], links) und die LC3-II-Expression (% von PF, rechts). * $p < 0,05$ vs. PF (nach SUGAWARA et al., 2009)

Figure 12: Impact of a protein-free (PF) and a protein-free + 1.5% leucine-supplemented diet (PF + 1.5% Leu) on fractional synthesis rate (FSR [%/d], left) and LC3-II-expression (% of PF, right). * $p < 0.05$ vs. PF (according to SUGAWARA et al., 2009)

5.2.4 GEWEBESPEZIFISCHE EFFEKTE

In einer Reihe von Studien wurde der Frage nachgegangen, ob gewebespezifische Besonderheiten des Einflusses der Leucin-Versorgung auf die Proteinsyntheseprozesse vorliegen könnten. Übersicht 2 fasst eine Auswahl wichtiger Untersuchungsergebnisse zusammen.

Aus diesem Zusammenhang geht hervor, dass Leucin in den meisten Geweben eine Steigerung der Proteinsyntheserate bewirkte. Häufig konnte infolge des kurzen Untersuchungszeitraums (z.B. 1h bei ESCOBAR et al., 2006; 24h bei DAVIS et al., 2010) aber kein quantitativer Befund zum Muskelzuwachs dokumentiert werden. Insgesamt aber erscheinen Skelettmuskulatur und Fettgewebe empfänglicher für Leucin-Stimuli zu sein als das Lebergewebe. Einige Autoren (z.B. TORRAZZA et al., 2010) betonten die Notwendigkeit des gleichzeitigen Angebotes weiterer unentbehrlicher Aminosäuren neben Leucin für eine Stimulation der Proteinsynthese. Negative Effekte auf die Proteinsynthese wurden bislang nicht beschrieben.

Übersicht 2: Effekt von Leucin auf die Aktivierung der Proteinsynthese in verschiedenen Muskeln und visceralen Geweben ("+" = Förderung der Proteinsynthese; "-" = kein Effekt)

Overview 2: *Effect of leucine on the activation of protein synthesis in different muscles and visceral tissues* ("+" = support of protein synthesis; "-" = no effect)

Untersuchtes Gewebe	Förderung	Kein Effekt	Autoren
<i>M. longissimus dorsi</i>	+		TORRAZZA et al., 2010
	+		DAVIS et al., 2010
	+		ESCOBAR et al., 2006
		-	ESCOBAR et al., 2007
<i>M. gastrocnemius</i>	+		TORRAZZA et al., 2010
	+		LYNCH et al., 2002b
	+		WILSON et al., 2011
Herz	+		YIN et al., 2010
Jejunum	+		TORRAZZA et al., 2010
Niere	+		TORRAZZA et al., 2010
	+		LYNCH et al., 2002b
	+		YIN et al., 2010
Pankreas	+		TORRAZZA et al., 2010
Leber	+		WILSON et al., 2011
		-	ESCOBAR et al., 2005
		-	TORRAZZA et al., 2010
Fettgewebe	+		LYNCH et al., 2002a
	+		LYNCH et al., 2002b

5.2.5 DIE BEDEUTUNG DES INSULINS

Neben Leucin wirkt auch Insulin auf mTOR und lässt über eine Beeinflussung der Phosphorylierung von S6K1 und 4EBP1 (GINGRAS et al., 2001) eine Stimulierung der Proteinsynthese bzw. eine Initiation der Translation erwarten (s. Abb.13).

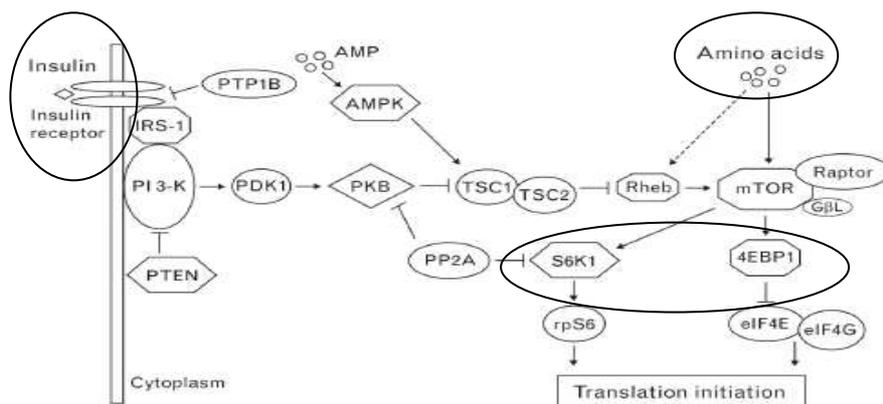


Abbildung 13: Wirkungswege von Insulin und Aminosäuren auf eine Initiation der Translation (modifiziert nach DAVIS und FIOROTTO, 2009)

Figure 13: Pathways of insulin and amino acids leading to a translation initiation (adapted from DAVIS and FIOROTTO, 2009)

Da postprandial ein Anstieg des Insulinspiegels zu beobachten ist, könnte der postprandiale Effekt auf eine gesteigerte Proteinsynthese neben Leucin auch auf eine Beteiligung von Insulin zurückzuführen sein. CROZIER et al. (2005) konnten zeigen, dass mit steigendem Leucin-Angebot über das Futter auch der Insulin-Spiegel im Plasma erhöht war. Ein direkter Effekt des Insulins auf die Proteinsynthese war aber nicht nachweisbar. Ebenso war in einer Reihe von weiteren Studien kein Einfluss des Insulins auf die Proteinsynthese festzustellen (ANTHONY et al. 1999, 2000; BAPTISTA et al. 2010; ESCOBAR et al. 2005, 2006, 2007; RIEU et al. 2006; YIN et al. 2010). Im Gegensatz zu den Beobachtungen von CROZIER et al. (2005) blieben in den genannten Untersuchungen die Plasma-Insulin-Werte unverändert. Zu anderen Ergebnissen kamen DAVIS et al. (1998), sie stellten einen Effekt des Insulins auf die Proteinsynthese fest. Jedoch wurde vermutet, dass dieser Insulineffekt mit zunehmendem Alter eine untergeordnete Rolle spielt. Bei älteren Ferkeln (26d) zeigte sich eine geringere Abhängigkeit der Proteinsyntheserate in der Muskulatur von der Insulinkonzentration als bei jüngeren (7d). Diese Feststellung wurde als Hinweis auf eine verminderte Sensitivität gegenüber Insulin mit zunehmendem Alter gewertet (s. Abb. 14).

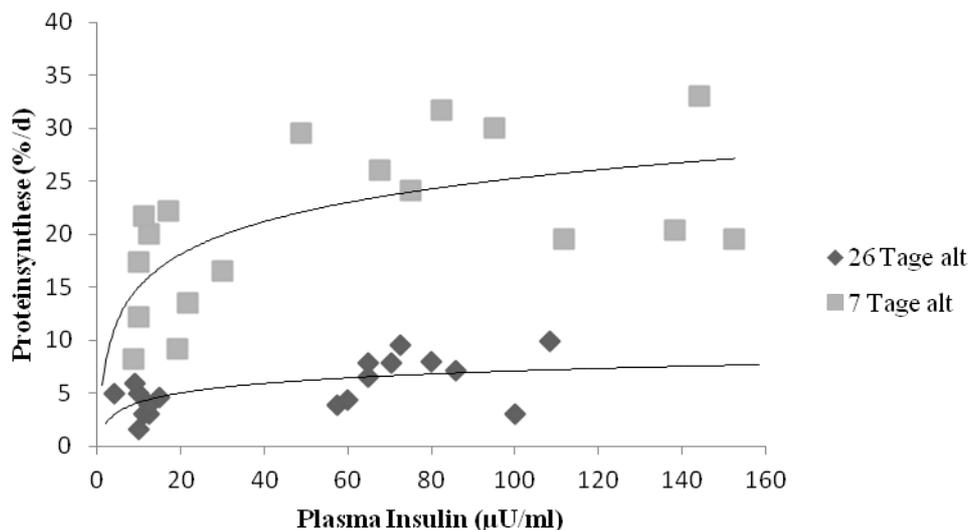


Abbildung 14: Proteinsyntheserate (%/d) in der Skelettmuskulatur in Abhängigkeit von der Insulin-Konzentration im Plasma bei 7d alten und 26d alten Ferkeln (nach DAVIS et al., 1998)

Figure 14: Rate of protein synthesis (%/d) in skeletal muscle depending on insulin in blood plasma of 7- and 26-day-old piglets (according to DAVIS et al., 1998)

Eine Untersuchung von O'CONNOR et al. (2003) erbrachte Hinweise für einen möglichen Synergieeffekt zwischen Aminosäuren und Insulin. Die beobachtete Proteinsyntheserate war umso höher, je mehr Insulin bzw. Aminosäuren dem Körper zur Verfügung standen. Sowohl Insulin als auch Leucin stimulierten die Proteinsynthese unabhängig voneinander, zusammen bewirkten sie jedoch einen stärkeren (supraadditiven) Effekt (s. Abb. 15). Mit steigender Insulin-Konzentration war die Proteinsynthese signifikant erhöht ($p < 0,005$). Eine Hyperaminoazidämie führte bei Insulin-Konzentrationen von 0 bzw. 2 und 6 µU/ml ebenfalls zu einer erhöhten Proteinsynthese ($p < 0,05$). Ebenso wie Leucin eine Verminderung der Proteolyse bewirkte, wurde über Insulin auch die Proteolyse beeinflusst.

NAGASAWA et al. (2002) konnten zeigen, dass Leucin allein, d. h. unabhängig vom Insulin zu einem geringeren Proteinabbau in den Myofibrillen führte. Dieser Effekt wurde verstärkt, wenn Leucin gleichzeitig mit Insulin wirkte.

Somit ist der Effekt des Insulins auf die Proteinsynthese nicht vom Leucineinfluss zu trennen. Vermutlich ist Insulin aber notwendig, damit Leucin eine Stimulierung der Proteinsynthese bewirken kann (RIEU et al., 2003). Zudem findet sich kein Hinweis darauf, dass Leucin zu einer erhöhten Ausschüttung von Wachstumshormon bzw. IGF I führt. WILTAFSKY et al. (2010) untersuchten den möglichen Einfluss eines erhöhten Leucin-Gehaltes im Futter von Schweinen auf die mRNA-Expression der Gene für GH und IGF I in Skelettmuskulatur und Leber, fanden aber diesbezüglich keine signifikanten Veränderungen.

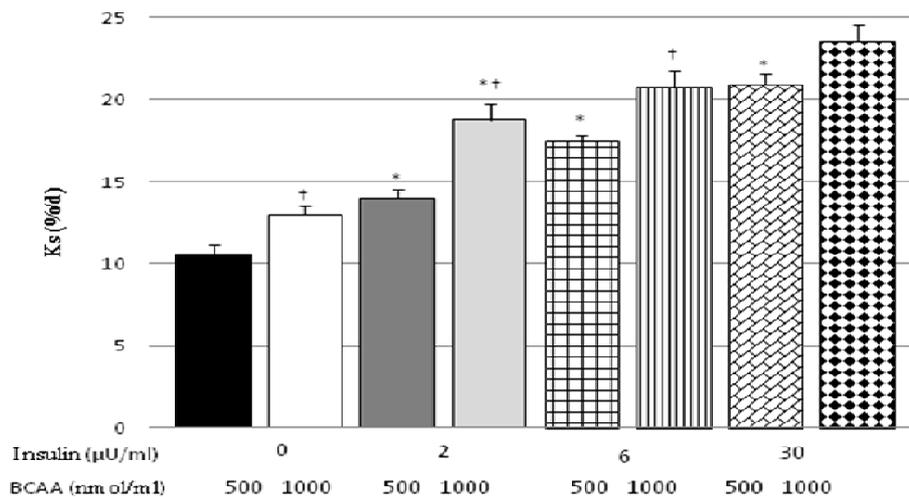


Abbildung 15: Fraktionelle Syntheseraten (K_s , %/Tag) im *M. longissimus dorsi* von 7 Tage alten Ferkeln, bei einem Plasma-Insulin-Level von 0, 2, 6 und 30 μ U/ml während des Zustands einer Euaminoazidämie (500nmol BCAA/ml) oder einer Hyperamino-azidämie (1000nmol BCAA/ml). *Signifikant unterschiedlich vom vorherigen Insulin-Level mit derselben Aminosäuren-Konzentration. † Signifikant unterschiedlich von der euaminoazidämischen Gruppe innerhalb derselben Insulin-Gruppe ($p < 0,05$; nach O'CONNOR et al., 2003)

Figure 15: Fractional protein synthesis rates (K_s , %/day) in *longissimus dorsi* muscle of 7-day-old pigs at 0, 2, 6 and 30 μ U/ml plasma insulin levels during euaminoacidemia (500nmol BCAA/ml) and hyperaminoacidemia (1,000nmol BCAA/ml). * Significantly different from previous insulin level within the same amino acid level ($p < 0.05$). † Significantly different from euaminoacidemic group within same insulin group ($p < 0.05$; according to O'CONNOR et al., 2003)

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das Leucin-Angebot im Futter einen Einfluss auf die Muskelproteinsynthese nehmen kann. Als Mechanismen werden sowohl eine verstärkte Initiation der Proteinsynthese als auch eine verminderte Proteolyse diskutiert. Zahlreiche Untersuchungen konnten zeigen, dass Leucin einen positiven Einfluss auf den Erhalt bzw. die Synthese der Muskelmasse aufwies, insbesondere wenn der Körper physischen Belastungen ausgesetzt war bzw. wenn eine suboptimale Versorgung vorlag. Vor allem in proteinreduzierten Diäten konnte eine Leucin-Ergänzung zu Leistungen führen, die mit normalen Proteingehalten vergleichbar waren. Im Gegensatz zu anderen Aminosäuren umgehen die BCAA nach Absorption die Leber; der erste Katabolisierungsschritt erfolgt in der Skelettmuskulatur. Die besondere Empfindlichkeit der Skelettmuskulatur gegenüber der Leucin-Versorgung lässt weitere Forschungen zur Wirkung auf die Muskelproteinsynthese interessant erscheinen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Vermeidung von antagonistischen Wirkungen zwischen den BCAA eine besondere Herausforderung darstellt, die allerdings genauere Kenntnisse zu den optimalen Verhältnissen zwischen den BCAA erfordert. Eine besondere Relevanz für diese Problematik besteht für proteinreduzierte Mischfutterkonzepte, die unter Nachhaltigkeitsaspekten auch in Zukunft einen besonderen Stellenwert in der Nutztierernährung haben. Ein entsprechendes Spektrum an Futteramino­säuren ist für die erforderlichen Optimierungsschritte auf Seiten der Mischfutterrezeptur vorhanden.

Im Hinblick auf die gezielte Einstellung idealer Verhältnisse von Leucin, Isoleucin und Valin zu Lysin im Futterprotein bedarf es jedoch weiterer wissenschaftlicher Vorleistungen zum physiologischen Bedarf an BCAA bei wichtigen Nutztierarten sowie den entscheidenden Einflussfaktoren auf die Bedarfshöhe. Hierfür sind Betrachtungen auf der Ebene praecaecaler AS-Verdaulichkeiten unbedingt zu ergänzen um Aspekte der Gesamtwirkung, gemessen an den Auswirkungen auf die Aminosäureeffizienz insgesamt. Unter dem Aspekt möglicher regulatorischer Effekte von Leucin muss die Rolle des Leucin-Angebotes insbesondere bei deutlich proteinreduzierten Futtermischungen beantwortet werden. Aber auch bei praxisüblichen Versorgungslagen mit Leucin muss unbedingt der Frage nachgegangen werden, ob eine Optimierung des Verhältnisses zu Isoleucin und Valin validierbare ernährungsphysiologische Vorteile bieten kann.

7 SCHRIFTTUM

- AHMED, I., KHAN, M. (2006): Dietary branched-chain amino acid valine, isoleucine and leucine requirements of fingerling Indian major carp, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton). *Br. J. Nutr.* 96, 450 - 460
- AKABAYASHI, A., KATO, T. (1989): One-step and two-step fluorometric assay methods for general aminotransferases using glutamate dehydrogenase. *Anal. Biochem.* 182, 129 - 135
- AKI, K., OGAWA, K., ICHIHARA, A. (1968): Transaminases of branched-chain amino acids. IV. Purification and properties of two enzymes from rat liver. *Biochem. Biophys. Acta* 159, 276 - 284
- ANTHONY, J., ANTHONY, T., LAYMAN, D. (1999): Leucine supplementation enhances skeletal muscle recovery in rats following exercise. *J. Nutr.* 129, 1102 - 1106
- ANTHONY, J., ANTHONY, T., KIMBALL, S., VARY, T., JEFFERSON, L. (2000a): Orally administered leucine stimulates protein synthesis in skeletal muscle of postabsorptive rats in association with increased eIF4F formation. *J. Nutr.* 130, 139 - 145
- ANTHONY, J., YOSHIZAWA, F., ANTHONY, T., VARY, T., JEFFERSON, L., KIMBALL, S. (2000b): Leucine Stimulates Translation Initiation in Skeletal Muscle of Postabsorptive Rats via a Rapamycin-Sensitive Pathway. *J. Nutr.* 130, 2413 - 2419
- ASCHKENASY, A. (1979): Prevention of the immunodepressive effects of excess dietary leucine by isoleucine and valine in the rat. *J. Nutr.* 109, 1214 - 1222
- BAKER, D.H., ROBBINS, K.R., BUCK, J.S. (1979): Modification of the level of histidine and sodium bicarbonat in the Illinois crystalline amino acid diet. *Poult. Sci.* 58, 749 - 750
- BAPTISTA, I., LEAL, M., ARTIOLI, G., AOI, M., FIAMONCINI, J., TURRI, A., (2010): Leucine attenuates skeletal muscle wasting via inhibition of ubiquitin ligases. *Muscle Nerve* 41, 800 - 808
- BMBF (2010): Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. Hrsg: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin
- BUSE, M., REID, S. (1975): Leucine - a possible regulator of protein turnover in muscle. *Journal of Clinical Investigation* 56, 1250 - 1261
- CHAN, W., WALSER, M. (1978): Effect of branched-chain ketoacids and dietary protein content on the activity of branched-chain amino acid transferase in rat tissues. *J. Nutr.* 108, 40 - 45
- CHEN, L., LI, P., WANG, J., LI, X., GAO, H., YIN, Y., HOU, Y., WU, G. (2009): Catabolism of nutritionally essential amino acids in developing porcine enterocytes. *Amino Acids* 37, 143 - 152
- CHEVALIER, P., ASCHKENASY, A. (1977): Hematological and immunological effects of excess dietary leucine in the young rat. *Am. J. Clin. Nutr.* 30, 1645 - 1654
- COHLAN, S., STONE, S. (1961): Effects of eietary and intraperitoneal excess of L-lysine and L-leucine on rat pregnancy and offspring. *J. Nutr.* 74, 93 - 95
- COMBARET, L., DARDEVET, D., RIEU, I., POUCH, M.-N., BECHET, D., TAILLANDIER, D. (2005): A leucine-supplemented diet restores the defective postprandial inhibition of proteasome-dependent proteolysis in aged rat skeletal muscle. *J. Physiol.* 569, 489 - 499
- COON, C. (2004): The ideal amino acid requirements and profile for broilers, layers, and broiler breeders. American Soybean Association, St. Louis, USA
- COTA, D., PROULX, K., BLAKE SMITH, K. A., KOZMA, S. C., THOMAS, G., WOODS, S. C., SEELEY, R. J. (2006): Hypothalamic mTOR signaling regulates food intake. *Science* 312, 927 - 930
- CORZO, A., KIDD, M. T., DOZIER III, W. A., VIEIRA, S. L. (2007): Marginality and needs of dietary valine for broilers fed certain all-vegetable diets. *J. Appl. Poult. Res.* 16: 546-554
- CROZIER, S., KIMBALL, S., EMMERT, S., ANTHONY, J., JEFFERSON, L. (2005): Oral leucine administration stimulates protein synthesis in rat skeletal muscle. *J. Nutr.* 135, 376 - 382
- DAMUNI, Z., REED, L. (1988): Branched-chain α -keto acid dehydrogenase phophatase and its inhibitor protein from bovine kidney. *Methods Enzymol.* 166, 321 - 329
- DARDEVET, D., SORNET, C., BALAGE, M., GRIZARD, J. (2000): Stimulation of in vitro rat muscle protein synthesis by leucine decreases with age. *J. Nutr.* 130, 2630 - 2635
- DARDEVET, D., SORNET, C., BAYLE, G., PRUGNAUD, J., POUYET, C., GRIZARD, J. (2002): Postprandial stimulation of muscle protein synthesis in old rats can be restored by a leucine-supplemented meal. *J. Nutr.* 132, 95-100
- DAVIS, T., BURRIN, D., FIOROTTO, M., REEDS, P., JAHOR, F. (1998): Roles of insulin and amino acids in the regulation of protein synthesis in the neonate. *J. Nutr.* 128, 347S - 350S
- DAVIS, T., FIOROTTO, M. (2009): Regulation of muscle growth in neonates. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 12, 78 - 85

- DAVIS, T., SURYAWAN, A., WILSON, F., FIOROTTO, M., GAZZANELO, M., ORELLANA, R. (2010): Prolonged stimulation of protein synthesis by leucine is dependent on amino acid availability. Energy and protein metabolism and nutrition (S. 253 - 254). Milan: EAAP- European Federation of Animal Science
- D'MELLO, J.P.F. (1974): Plasma concentrations and dietary requirements of leucine, isoleucine and valine: Studies with the young chick. *J. Sci. Food Agric.* 25, 187 - 196
- EDMONDS, M., BAKER, D. (1987): Amino acid excesses for young pigs: Effects of excess methionine, tryptophan, threonine or leucine. *J. Anim. Sci.* 64, 1664 - 1671
- ELANGO, R., GOONEWARDENE, L., PENCHARZ, P., BALL, R. (2004): Parenteral and enteral routes of feeding in neonatal piglets require different ratios of branched-chain amino acids. *J. Nutr.* 134, 72 - 78
- ESCOBAR, J., FRANK, J., SURYAWAN, A., NGUYEN, H., KIMBALL, S., JEFFERSON, L. (2005): Physiological rise in plasma leucine stimulates muscle protein synthesis in neonatal pigs by enhancing translation initiation factor activation. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 288, E914 - E921
- ESCOBAR, J., FRANK, J., SURYAWAN, A., NGUYEN, H., KIMBALL, S., JEFFERSON, L. (2006): Regulation of cardiac and skeletal muscle protein synthesis by individual branched-chain amino acids in neonatal pigs. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 290, E612 - E621
- ESCOBAR, J., FRANK, J., SURYAWAN, A., NGUYEN, H., DAVIS, T. (2007): Amino acid availability and age affect the leucine stimulation of protein synthesis and eIF4F formation in muscle. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 293, E1615 - E1621
- ETTLE, T., ROTH, F. X. (2005): Dietary preferences for feeds varying in threonine concentration by the piglet. *Physiol. Behav.* 85, 289 - 295
- EVONIK INDUSTRIES (2011): AMINO Dat[®] 4.0 Platinum (CD). Evonik Degussa GmbH, Hanau-Wolfgang
- FARRAN, M. T.; THOMAS, O. P. (1990): Dietary requirements of leucine, isoleucine and valine in male broilers during the starter period. *Poult. Sci.* 69, 757 - 762
- FARRAN, M. T., THOMAS, O. P. (1992a): Valine deficiency. 1. The effect of feeding a valine-deficient diet during the starter period on performance and feather structure of male broiler chicks. *Poult. Sci.* 71, 1879 - 1884
- FARRAN, M. T., THOMAS, O. P. (1992b): Valine deficiency. 2. The effect of feeding a valine-deficient diet during the starter period on performance and leg abnormality of male broiler chicks. *Poult. Sci.* 71, 1885 - 1890
- FARRAN, M. T., BARBOUR, E., ASHKARIAN, V. (2003): Effect of excess leucine in low protein diet on ketosis in 3-week-old male broiler chicks fed different levels of isoleucine and valine. *Anim. Feed Sci. Technol.* 103, 171 - 176
- FERNANDEZ, S. R., AOYAGI, S., HAN, Y., PARSONS, C. M., BAKER, D. H. (1994): Limiting order of amino acids in corn and soybean meal for growth of the chick. *Poult. Sci.* 73: 1887-1896
- FULLER, M. F. (Hrsg.) (2004): *The Encyclopedia of Farm Animal Nutrition*, CABI Publishing, Wallingford
- GALIM, E., HRUSKA, K., BIER, D., MATTHEWS, D., HAYMOND, M. (1980): Branched-chain amino acid nitrogen transfer to alanine in vivo in dogs. *J. Clin. Invest.* 66, 1295 - 1304
- GANONG, W. (1981): *Review of Medical Physiology*. Lange Medical Publications, Los Altos
- GAO, Q., HORVATH, T. L. (2007): Neurobiology of feeding and energy expenditure. *Ann. Rev. Neurosci.* 30, 367 - 398
- GATNAU, R., ZIMMERMAN, D. N., WANNEMUEHLER, M., EWAN, R. (1995): Effects of excess dietary leucine and leucine catabolites on growth and immune responses in weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 73, 159 - 165
- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (1999): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler), DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (2005): Standardisierte praecaecale Verdaulichkeit von Aminosäuren in Futtermitteln für Schweine – Methoden und Konzepte: *Proc.Soc.Nutr.Physiol.* 14, 185-20
- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (2006): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen, DLG Verlag, Frankfurt am Main
- GIETZEN, D. W., ROGERS, Q. R. (2007): Nutritional homeostasis and indispensable amino acid sensing: A new solution to an old puzzle. *Trends Neurosci.* 29, 91 - 99
- GOTO, M., SHINNO, H., ICHIHARA, A. (1977): Isozyme patterns of branched-chain amino acid transaminase in human tissues and tumors. *Gann* 68, 663 - 667
- GINGRAS, A., RAUGHT, B., SONENBERG, N. (2001): Regulation of translation initiation by FRAP/mTOR. *Genes Dev.* 15, 807 - 826
- HALL, T., WALLIN, R., REINHART, G., HUTSON, S. (1993): Branched-chain aminotransferase isoenzymes-purification and characterization of the rat brain isoenzyme. *J. Biol. Chem.* 268, 3092 - 3098
- HARPER, A., BENTON, D., ELVEHJEM, C. (1955): L-Leucine, an isoleucine antagonist in the rat. *Arch. Biochem. Biophys.* 57, 1 - 12

- HARPER, A., MILLER, R., BLOCK, K. (1984): Branched-chain amino acid metabolism. *Ann. Rev. Nutr.* 4, 409 - 454
- HAYMOND, M. W., MILES, J. M. (1982): Branched-chain amino acids as a major source of alanin nitrogen in man. *Diabetes* 31, 86 - 89
- HENRY, Y., DUÉE, P., RÉRAT, A. (1976): Isoleucine requirement of the growing pig and leucine-isoleucine interrelationship. *J. Anim. Sci.* 42, 357 - 364
- HINTZ, C., TURK, W., CAMBON, N., BRUCH, H., NEMETH, P., LOWRY, O. (1985): A method for branched-chain amino acid aminotransferase activity in microgram and nanogram tissue samples. *Anal. Biochem.* 146, 418 - 422
- HOLECEK, M. (2002): Relation between glutamine, branched-chain amino acids and protein metabolism. *Nutrition* 18, 130 - 133
- HUGHES, S., RUMSEY, G., NESHEIM, M. (1984): Effects of dietary excesses of branched-chain amino acids on the metabolism and tissue composition of lake trout (*Salvelinus Namaycush*). *Comp. Biochem. Physiol.* 78A, 413 - 418
- HUTSON, S. (1988a): Subcellular distribution of branched-chain aminotransferase activity in rat tissues. *J. Nutr.* 118, 1475 - 1481
- HUTSON, S., FENSTERMACHER, D., MAHAR, C. (1988b): Role of mitochondrial transamination in branched chain amino acid metabolism. *J. Biol. Chem.* 263, 3618 - 3625
- HUTSON, S., WALLIN, R., HALL, T. (1992): Identification of mitochondrial branched-chain aminotransferase and its isoforms in rat tissues. *J. Biol. Chem.* 267, 15681 - 15686
- HUTSON, S., SWEATT, A., LANOUE, K. (2005): Branched-chain amino acid metabolism: Implications for establishing safe intakes. *J. Nutr.* 135, 1557S - 1564S
- ICHIHARA, A., KOYAMA, E. (1966): Transaminase of branched-chain amino acids. *J. Biochem.* 59, 160 - 169
- ICHIHARA, A., TAKAHASHI, H., AKI, K., SHIRAI, A. (1967): Transaminase of branched-chain amino acids. II. Physiological change in enzyme activity in rat liver and kidney. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 26, 674 - 678
- IEKDA, T., KONISHI, Y., ICHIHARA, A. (1976): Transaminase of branched-chain amino acids. XI. Leucine (methionine) transaminase of rat liver mitochondria. *Biochem. Biophys. Acta* 445, 622 - 631
- KIM, D., SARBASSOV, D., ALI, S., KING, J., LATEK, R., ERDJUMENT-BROMAGE, H. (2002): mTOR interacts with raptor to form a nutrient-sensitive complex that signals to the cell growth machinery. *Cell* 110, 163 - 175
- KREBS, H. (1972): Some aspects of the regulation of fuel supply in omnivorous animals. *Adv. Enz. Regul.* 10, 397 - 420
- KYRIAZAKIS, I.; EMMANS, G. C., WHITTEMORE, C. T. (1990): Diet selection in pigs: Choices made by growing pigs given food of different protein concentrations. *Anim. Prod.* 51, 189 - 199
- LANGER, S., FULLER, M. (2000): Interactions among the branched-chain amino acids and their effects on methionine utilization in growing pigs: Effects on nitrogen retention and amino acid utilization. *Br. J. Nutr.* 83, 43 - 48
- LESHNER, A. I., SIEGEL, H. I., COLLIER, G. (1972): Dietary self-selection by pregnant and lactating rats. *Physiol. Behav.* 8, 151 - 154
- LIEBERT, F., LEBZIEN, P. (2008): Das Rohprotein: Ausgangspunkt für derzeitige Verfahren zur Beurteilung der Proteinversorgung bei Schwein und Rind. *Übers. Tierernährg.* 36: 47 - 57
- LIEBERT, F. (2008): Modelling of protein metabolism yields amino acid requirements dependent on dietary amino acid efficiency, growth response, genotype and age of growing chicken. *Avian Biol. Res.* 1, 101 - 110
- LYNCH, C., HUTSON, S., PATSON, B., VAVAL, A., VARY, T. (2002a): Tissue-specific effects of chronic dietary and norleucine supplementation on protein synthesis in rats. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 283, E824 - E835
- LYNCH, C., PATSON, B., ANTHONY, J., VAVAL, A., JEFFERSON, L., VARY, T. (2002b): Leucine is a direct- acting nutrient signal that regulates protein synthesis in adipose tissue. *Am. J. Physiol. Endocrinol.* 283, E503 - E513
- LYNCH, C., HALLE, B., FUJII, H., VARY, T., WALLIN, R., DAMUNI, Z. (2003): Potential role of leucine metabolism in the leucine-signaling pathway involving mTOR. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 285, E854 - E863
- MAY, M., MANCUSI, J., AFTRING, R., BUSE, M. (1980): Effects of diabetes on oxidative decarboxylation of branched-chain keto acids. *Am. J. Physiol.* 239, E215 - E222
- McFARLANE, I., VON HOLT, C. (1969): Metabolism of amino acids in protein-calorie-deficient rats. *Biochem. J.* 111, 557 - 563
- McMENAMY, R., VANG, J., DRAPANAS, T. (1965): Amino acid alpha-ketoacid concentrations in plasma and blood of hte liverless dog. *Am. J. Physiol.* 209, 1046 - 1052

- MCNURLAN, M., FERN, E., GARLICK, P. (1982): Failure of leucine to stimulate protein synthesis in vivo. *Biochem. J.* 204, 831 - 838
- MILLER, L. (1962): The role of the liver and non-hepatic tissues in the regulation of free amino acid levels in the blood. In: *Amino Acid Pools* (J. HOLDEN Hrsg.). Elsevier, Amsterdam
- MIMURA, T., YAMADA, C., SWENDSEID, M. (1968): Influence of dietary protein levels and hydrocortisone administration on the branched-chain amino acid transaminase activity in rat tissues. *J. Nutr.* 95, 493 - 498
- MOUGHAN, P. J., FULLER, M. F. (2003): Modelling amino acid metabolism and the estimation of amino acid requirements. In: *Amino Acids in Animal Nutrition. Second Edition* (J.P.F. D'NELLO Hrsg.). Wallingford, U.K.
- MURAKAMI, T., MATUSO, M., SHIMIZU, A., SHIMOMURA, Y. (2005): Dissociation of branched-chain α -keto acid dehydrogenase kinase (BDK) from branched-chain α -keto acid dehydrogenase complex (BCKDC) by BDK inhibitors. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 51, 48 - 50
- NAGASAWA, T., KIDO, T., YOSHIKAWA, F., ITO, Y., NISHIZAWA, N. (2002): Rapid suppression of protein degradation in skeletal muscle after oral feeding of leucine in rats. *J. Nutr. Biochem.* 13, 121 - 127
- NAIK, M. T., HUANG, T.-H. (2004): Conformational stability and thermodynamic characterization of the lipoic acid bearing domain of human mitochondrial branched-chain α -ketoacid dehydrogenase. *Protein Sci.* 13, 2483 - 2492
- NAIR, K., MATTHEWS, D., WELLE, S., BRAIMAN, T. (1992): Effect of leucine on amino acid and glucose metabolism in humans. *Metabolism* 41, 643 - 648
- NAKAI, N., KOBAYASHI, R., POPOV, K., HARRIS, R., SHIMOMURA, Y. (2000): Determination of branched-chain alpha-keto acid dehydrogenase activity state and branched-chain alpha-keto acid dehydrogenase kinase activity and protein in mammalian tissues. *Meth. Enzymol.* 324, 48 - 62
- NISSEN, S., HAYMOND, M. (1981): Effects of fasting on flux and interconversion of leucine and alpha-ketoisocaproate in vivo. *Am. J. Physiol.* 241, E72 - E75
- NRC [National Report Council] (1981): Nutrient requirements of domestic animals. No. 16. Nutrient requirements of cold-water fishes. National Academy Press, Washington D.C.
- NRC [National Report Council] (1994): Nutrient requirements of poultry. 9th Revised Edition. National Academy Press, Washington D.C.
- NRC [National Report Council] (1995): Nutrient requirements of laboratory animals. 4th Revised Edition, National Academy Press, Washington D.C.
- NRC [National Report Council] (1998): Nutrient requirements of swine. 10th Edition, National Academy Press Washington, D.C.
- O'CONNOR, P., BUSH, J., SURYAWAN, A., NGUYEN, H., DAVIS, T. (2003): Insulin and amino acids independently stimulate skeletal muscle protein synthesis in neonatal pigs. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 284, E110 - E119
- ODESSEY, R., KHAIRALLAH, E., GOLDBERG, A. (1974): Origin and possible significance alanine production by skeletal muscle. *J. Biol. Chem.* 249, 7623 - 7629
- OWENS, F. N., SHIN, I. S., PETTIGREW, J. E., OLTJEN, J. W. (1994): Apportioning leucine requirements for maintenance *versus* growth for rats. *Nutr. Res.* 14, 73 - 82
- PASIAKOS, S. M., MCCLUNG, H. L., MARGOLIS, L. M., ANDERSEN, N. E., CLOUTIER, G. J., PIKOSKY, M. A., ROOD, J. C., FIELDING, R. A., YOUNG, A. J. (2011): Leucine-enriched essential amino acids supplementation during moderate steady state exercise enhances postexercise muscle protein synthesis. *Am. J. Clin. Nutr.* 94, 809 - 818
- PEDROSA, R. G., DONATO JR., J., PIRES, I. S., TIRAPEGUI, J. (2010): Leucine supplementation favors liver protein status but does not reduce body fat in rats during 1 week of food restriction. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 35: 180 - 183
- PETTIT, F. M., YEAMAN, S. J., REED, L. J. (1978): Purification and characterization of branched-chain- α -keto acid dehydrogenase complex of bovine kidney. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 75, 4881 - 4885
- PLATELL, C., KONG, S.-E., MCCAULEY, R., HALL, J. C. (2000): Branched-chain amino acids. *Journal of Gastroenterology and Hepatology* 15, 706 - 717
- PRICE, S., WANG, X., BAILEY, J. (1998): Tissue-specific responses of branched-chain alpha-ketoacid dehydrogenase activity in metabolic acidosis. *J. Am. Soc. Nephrol.* 9, 1892 - 1898
- RIEU, I., SORNET, C., BAYLE, G., PRUGNAUD, J., POUYET, C., BALAGE, M. (2003): Leucine-supplemented meal feeding for ten days beneficially affects postprandial muscle protein synthesis in old rats. *J. Nutr.* 133, 1198 - 1205

- RIEU, I., BALAGE, M., SORNET, C., GIRAUDET, C., PUJOS, E., GRIZARD, J. (2006): Leucine supplementation improves muscle protein synthesis in elderly men independently of hyperaminoacidaemia. *J. Physiol.* 575, 305 - 315
- ROGERS, Q., TANNOUS, R., HARPER, A. (1967): Effects of excess leucine on growth and food election. *J. Nutr.* 91, 561 - 572
- ROPELLE, E. R., PAULI, J. R., FERNANDES, M. F. A., ROCCO, S. A., MARIN, R. M., MORARI, J., SOUZA, K. K., DIAS, M. M., GOMES-MARCONDES, M. C., GONTIJO, J. A. R., FRANCHINI, K. G., VELLOSO, L. A., SAAD, M. J. A., CARVALHEIRA, J. B. C. (2008): A central role for neuronal AMP-activated protein kinase (AMPK) and mammalian target of rapamycin (mTOR) in high-protein diet-induced weight loss. *Diabetes* 57, 594 - 605
- ROTH, F. X., MEINDL, C., ETTLE, T. (2006): Evidence of a dietary selection for methionine by the piglet. *J. Anim. Sci.* 84, 379 - 386
- SABOURIN, P., BIEBER, L. (1981): Subcellular distribution and partial characterization of an α - ketoisocaproate oxidase of rat liver: Formation of β -hydroxy-isovaleric acid. *Arch. Biochem. Biophys.* 206, 132 - 144
- SASHIHARA, K., MIYAMOTO, M., OGHUSHI, A., DENBOW, D., FURUSE, M. (2001): Influence of ketone body and the inhibition of fatty acid oxidation on the food intake of the chick. *Br. Poult. Sci.* 42, 405 - 408
- SAUBERLICH, H. (1961): Studies on the toxicity and antagonism of amino acids for weanling rats. *J. Nutr.* 75, 61 - 72
- SCHADEWALDT, P., HUMMEL, W., WENDEL, U., ADELMEYER, F. (1995): Enzymatic method for determination of branched-chain amino acid aminotransferase activity. *Anal. Biochem.* 230, 199 - 204
- SHAH, O., KIMBALL, S., JEFFERSON, L. (2000): Acute attenuation of translation initiation and protein synthesis by glucocorticoids in skeletal muscle. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 278, E76 - E82
- SHIRAI, A., ICHIHARA, A. (1971): Transaminase of branched chain amino acids. *J. Biochem.* 70, 741 - 748
- SKETCHER, R., FERN, E., JAMES, W. (1974): The adaptation in muscle oxidation of leucine to dietary protein and energy intake. *Br. J. Nutr.* 31, 333 - 342
- SKLAN, D., NOY, Y. (2005): Direct determination of optimal amino acid intake for maintenance and growth in broilers. *Poult. Sci.* 84, 412 - 418
- SPOALTER, P., HARPER, A. (1961): Leucine-isoleucine antagonism in the rat. *Am. J. Physiol.* 200, 513 - 518
- STANGL, G. (2010): Das Zusammenspiel zwischen Proteinauf- und -abbau - Neue Erkenntnisse zum Proteinturnover. *Übers. Tierernährg.* 38, 1 - 32
- STOLL, B., HENRY, J., REEDS, P. J., YU, H., JAHOR, F., BURRIN, D. G. (1998): Catabolism dominates the first-pass intestinal metabolism of dietary essential amino acids in milk-protein fed piglets. *J. Nutr.* 128, 606 - 614
- SUGAWARA, T., ITO, Y., NISHIZAWA, N., NAGASAWA, T. (2007): Supplementation with dietary leucine to a protein-deficient diet suppresses myofibrillar protein degradation in rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 53, 552 - 555
- SUGAWARA, T., ITO, Y., NISHIZAWA, N., NAGASAWA, T. (2009): Regulation of muscle protein degradation, not synthesis, by dietary leucine in rats fed a protein-deficient diet. *Amino Acids* 37, 609 - 616
- SURYAWAN, A., HAWES, W., HARRIS, R. A., SHIMOMURA, Y., JENKINS, A. E., HUTSON, S. M. (1998): A molecular model of human branched-chain amino acid metabolism. *Am. J. Clin. Nutr.* 68, 72 - 81
- TAYLOR, R., JENKINS, W. (1966): Leucine aminotransferase. II. Purification and characterization. *J. Biol. Chem.* 241, 4396 - 4405
- TORRAZZA, R., SURYAWAN, A., GAZZANEO, M., ORELLANA, R., FRANK, J., NGUYEN, H. (2010): Leucine supplementation of a low-protein meal increases skeletal muscle and visceral tissue protein synthesis in neonatal pigs by stimulating mTOR-dependent translation initiation. *J. Nutr.* 140, 2145 - 2152
- TSUBUKU, S., HATAYAMA, K., KATSUMATA, T., NISHIMURA, N., MAWATARI, K., SMRIGA, M. (2004): Thirteen-week oral toxicity study of branched-chain amino acids in rats. *Int. J. Toxicol.* 23, 119 - 126
- TUTTLE, W., BALLOUN, S. (1976): Leucine, isoleucine and valine interactions in turkey poult. *Poult. Sci.* 55, 1737 - 1743
- WILSON, F. A., SURYAWAN, A., GAZZANEO, M., ORELLANA, R. A., NGUYEN, H. V., DAVIS, T. A. (2010): Stimulation of muscle protein synthesis by prolonged parenteral infusion of leucine is dependent on amino acid availability in neonatal pigs. *J. Nutr.* 140, 264 - 270
- WILSON, F. A., SURYAWAN, A., ORELLANA, R. A., GAZZANEO, M. C., NGUYEN, H. V., DAVIS, T. A. (2011): Differential effects of long-term leucine infusion on tissue protein synthesis in neonatal pigs. *Amino. Acids* 40, 157 - 165
- WILTAFSKY, M. K., PFAFFL, M., ROTH, F. (2010): The effects of branched-chain amino acids interactions on growth performance, blood metabolites, enzymes kinetics and transcriptomics in weaned pigs. *Br. J. Nutr.* 103, 964 - 976
- WU, G. (1998): Intestinal mucosal amino acid catabolism. *J. Nutr.* 128, 1249 - 1252

- YANG, X., YANG, C., FARBERMAN, A., RIDEOUT, T., DE LANGE, C., FRANCE, J. (2008): The mammalian target of rapamycin-signaling pathway in regulating metabolism and growth. *J. Anim. Sci.* 86, E36 - E50
- YIN, Y., YAO, K., LIU, Z., GONG, M., RUAN, Z., DENG, D. (2010): Supplementing L-leucine to a low-protein diet increases tissue protein synthesis in weanling pigs. *Amino Acids* 39, 1477 - 1486
- YU, Y.-M., WAGNER, D. A., TREDGET, E. E. WALASZEWSKI, J. A., BURKE, J. F., YOUNG, V. R. (1990): Quantitative role of splanchnic region in leucine metabolism: L-[1-¹³C, ¹⁵N]leucine and substrate balance studies. *Am. J. Physiol.* 259, E36 - E51

Publikation II

**ASSESSING THE AGE-DEPENDENT OPTIMAL DIETARY
BRANCHED-CHAIN AMINO ACID RATIO IN GROWING CHICKEN
BY APPLICATION OF A NONLINEAR MODELING PROCEDURE**

VON/BY:

A. PASTOR, C. WECKE UND F. LIEBERT

2013 Poultry Science 92: 3184-3195

Druck mit freundlicher Genehmigung von Poultry Science

Assessing the age-dependent optimal dietary branched-chain amino acid ratio in growing chicken by application of a nonlinear modeling procedure

A. Pastor, C. Wecke, and F. Liebert¹

Georg-August-University Goettingen, Division Animal Nutrition Physiology Kellnerweg 6, 37077 Goettingen, Germany

ABSTRACT Based on a nonlinear N utilization model, 2 N balance experiments with growing broiler chickens were conducted, investigating the ideal amino acid (AA) ratio (IAAR) of the branched-chain AA (BCAA) Leu, Ile, and Val related to Lys. In both of the experiments, the starter (I: 10–20 d of age) and grower periods (II: 25–35 d of age) utilized 36 male Ross 308 chickens each ($n = 144$). Nitrogen balance periods were divided into an adaptation period (5 d) and 2 consecutive collection periods (2×5 d). Diets of experiment 1 were based on a consistent mixture of wheat, soy protein concentrate, wheat gluten, fish meal, and crystalline AA, subsequently diluted by wheat starch to provide 8 graded CP levels (6–34% CP). Results of nonlinear regression between N intake and N deposition yielded the theoretical maximum for N deposition ($ND_{\max}T$; I: 4,593 mg of $N/BW_{\text{kg}}^{0.67}/\text{d}$; II: 4,302 mg of $N/BW_{\text{kg}}^{0.67}/\text{d}$). Furthermore, the daily N maintenance requirement

(NMR) was derived (I: 113 mg of $N/BW_{\text{kg}}^{0.67}$; II: 215 mg of $N/BW_{\text{kg}}^{0.67}/\text{d}$). Both the age-dependent data for NMR and $ND_{\max}T$ were applied to calculate the model parameter b (protein quality, independent of N intake) and bc^{-1} (efficiency of limiting AA), respectively. Five diets based on the same ingredients as in experiment 1 were formulated for experiment 2: an AA balanced basal diet and 4 diets of the same composition but lacking in supply of Lys, Leu, Ile, or Val. All experimental diets were isocaloric and isonitrogenous. For calculation of the IAAR, observed bc^{-1} data of each AA diluted diet were utilized. The concluded IAAR of Lys:Leu:Ile:Val for the starter and grower period were 100:94:55:65 and 100:106:56:72, respectively. These results indicated a higher demand for Leu and Val during the grower phase and, generally, a lower IAAR for the BCAA than previously reported in comparable experiments.

Key words: branched-chain amino acid, ideal amino acid ratio, nitrogen utilization model, growing chicken

2013 Poultry Science 92:3184–3195
<http://dx.doi.org/10.3382/ps.2013-03340>

INTRODUCTION

The antagonism of the branched-chain amino acids (BCAA) Leu, Ile, and Val was described as early as 1955 (Harper et al., 1955) and may create a decline in feed intake (Edmonds and Baker, 1987), a diminished immune status [e.g., in piglets (Gatnau et al., 1995)], or leg weakness and torn feathers in growing chickens (Farran and Thomas, 1992a,b). Consequently, imbalances between the BCAA should be avoided. More recently, the concept of the ideal amino acid ratio (IAAR) was widely applied to complete recommendations for amino acid (AA) requirements, mostly relating individual AA to Lys (=100%). Baker et al. (2002) stated that many parameters might influence AA requirements, including dietary, environmental, and genetic factors. Although AA requirements may change due to these factors, the ideal ratios remain similar and outline the advantage

of the concept. Additionally, application of the IAAR concept decreases production costs, diminishes heat stress, and leads to an overall increase in animal welfare (Coon, 2004). Divergent IAAR are reported in literature for meat-type chickens. Unfortunately, it is not clear from earlier observations whether (GRRS, 1999) or not (NRC, 1994) a differentiation between starter and grower phase is needed. Recommendations for the BCAA supply differ markedly. During starter period of growing chickens, suggested ratios to Lys (100%) vary between 92 and 139% for Leu (Rhône-Poulenc Animal Nutrition, 1993; Austic, 1994), 65 and 84% for Ile (Austic, 1994; Sklan and Noy, 2005), and 67 and 96% for Val (GRRS, 1999; Coon, 2004), respectively.

The aim of the study was to derive the IAAR of BCAA in diets for modern meat-type chickens (Ross 308) making use of AA efficiency data yielded from application of nonlinear modeling of N deposition depending on uptake of the limiting AA (LAA). Two N balance experiments were conducted. Experiment 1 yielded both the daily N maintenance requirement (NMR) and the theoretical maximum of daily N de-

©2013 Poultry Science Association Inc.

Received May 23, 2013.

Accepted August 31, 2013.

¹Corresponding author: flieber@gwdg.de

Table 1. Dietary amino acid ratio assumed as ideal amino acid ratio (IAAR) for both of the experiments and achieved IAAR for the basal diets of experiments 1 and 2¹

Item	Dietary amino acid ratio (Lys = 100%)											
	Lys	Met	Met + Cys	Thr	Trp	Arg	Val	Ile	Leu	Phe	Phe + Tyr	His
Literature IAAR	100	38	74	65	17	106	79	68	110	66	118	34
IAAR achieved in experiment 1	100	49	74	65	17	106	79	69	122	23	139	41
IAAR achieved in experiment 2	100	53	74	65	17	106	79	68	110	74	118	34

¹Mean IAAR found in literature using selected reports (modified after Wecke and Liebert, 2013).

position (ND_{\max}T) as model parameters to derive Lys efficiency data for reference. Experiment 2 provided BCAA efficiency data, which were applied to conclude the IAAR between Lys and individual BCAA.

MATERIALS AND METHODS

Housing and Management

The experiments were conducted at the facilities of the Division Animal Nutrition Physiology, Georg-August-University Goettingen, Germany, approved by the Lower Saxony Federal Office for Consumer Protection and Food Safety.

One-day-old male growing chickens (Ross 308) from a commercial hatchery were kept on wood shavings and fed a commercial diet until the beginning of the experiments. Each experiment utilized 72 birds ($n = 144$), divided into starter (I; 10–20 d of age, 36 chickens/experiment) and grower period (II; 25–35 d of age, 36 chickens/experiment), respectively. For both of the age periods, separate birds were randomly allotted to the experimental diets and housed individually in metabolic cages, adapted in floor size for starter and grower period (25 × 30 cm; 80 × 80 cm), respectively. Each metabolic cage was equipped with a wire floor, an individual feeder, and an automatic drinking system. During N balance studies, birds were slightly feed-restricted to minimize spillage and contamination with excreta.

Housing temperature was maintained at 32°C (1-d-old chicken) and continuously decreased to 20°C until the end of the experimental period. Light was provided for 24 h per day.

Sample Collection

Following a 5-d adaptation period, 2 consecutive quantitative collection periods (5 d each) were conducted, which resulted in 2 measures per bird. Excreta were collected every 12 h and stored at –20°C until further analysis. Prior to excreta collection, feathers and spilled feed pellets were carefully removed. Spilled feed was quantified for correction of daily feed intake.

Observations

Birds were individually weighed at the beginning of the adaptation period, as well as at the beginning and

at the end of the corresponding collection periods. Feed intake was under daily control and time-dependent adapted according to Samadi and Liebert (2008).

Diets

Dietary AA patterns were based on the IAAR, as summarized in Table 1. Therefore, a literature review was carried out, utilizing data of Wecke and Liebert (2013), but extended by additional reports (Rostagno, 2005; Sklan and Noy, 2005; CVB, 2010; Coneglian et al., 2010; Evonik, 2010).

The main protein ingredients of experimental diets selected by computer optimizing were wheat, wheat gluten, soy protein concentrate, and fish meal (Tables 2, 3, and 4). Corn, as a typical feed ingredient in broiler diets, was excluded due to the high Leu content. According to the applied nonlinear N utilization model, the limiting position of the AA under study was required to assess the dietary AA efficiency. Therefore, principles of the diet dilution technique (Gous and Morris, 1985) were applied to provide constant dietary AA patterns independent of protein level and age period. Accordingly, the feed protein mixtures of the balanced basal diets (**BD**) were partially replaced by wheat starch to achieve a graded dietary protein supply with consistent AA ratios in both experiments and age periods, respectively (Table 5).

Vitamins and minerals were added to meet or exceed NRC (1994) recommendations. Additionally, all experimental diets were supplemented with phytase (ZY Phytase 5.000, activity per g: 5,000 FYT 6-phytase, EC 3.1.3.26, Lohmann Animal Health, Cuxhaven, Germany) and xylanase (ZY 68, activity per g, 1,000 FXU Endo-1,4-β-Xylanase, EC 3.2.1.8, Lohmann Animal Health, Cuxhaven, Germany). The ME content of experimental diets was calculated according to WPSA (1984).

Experiment 1. For actual estimation of the model parameters NMR and ND_{\max}T , a high protein summit diet supplemented with crystalline AA was formulated by feed optimizing to achieve the assumed IAAR (Table 1). Subsequently, Lys was created as LAA by deletion of crystalline Lys. As related to the IAAR, Lys supply was approximately 15% below the optimal level. The high protein summit diet (N8) was diluted with wheat starch to create 8 diets with graded CP contents between 6 and 38% (Table 2). As the proportions of the main feed ingredients were kept constant, the final pro-

Table 2. Diet composition and nutrients of the experimental diets (g/kg as-fed basis), experiment 1

Item	Period I (10–20 d) ¹								Period II (25–35 d) ¹							
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
Ingredient																
Wheat starch	793.86	690.34	586.95	483.97	307.25	204.95	102.27	0.00	783.55	680.70	577.26	474.25	307.65	204.65	102.46	0.00
Wheat	72.35	120.59	168.82	217.06	265.29	313.53	361.76	409.56	72.35	120.59	168.82	217.06	265.29	313.53	361.76	409.56
Soy protein concentrate	61.76	102.94	144.12	185.29	226.47	267.65	308.82	350.00	61.76	102.94	144.12	185.29	226.47	267.65	308.82	350.00
Wheat gluten	10.46	17.44	24.41	31.38	38.36	45.33	52.31	59.28	10.46	17.44	24.41	31.38	38.36	45.33	52.31	59.28
Fish meal	6.43	10.72	15.01	19.29	23.58	27.87	32.15	36.44	6.43	10.72	15.01	19.29	23.58	27.87	32.15	36.44
Dicalcium phosphate	28.50	26.00	23.50	21.00	18.50	16.00	13.50	11.00	25.50	23.00	20.50	18.00	15.50	13.00	10.50	8.00
Soybean oil	10.00	13.50	17.00	20.30	23.50	26.50	29.50	32.50	26.00	29.00	32.50	35.60	38.60	41.60	44.60	47.60
Premix ²	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Sodium chloride	2.50	2.50	2.50	2.40	2.30	2.20	2.10	2.06	1.90	1.85	1.80	1.70	1.70	1.80	1.60	1.50
Calcium carbonate	2.30	3.20	4.00	4.70	5.70	6.50	7.20	8.00	0.20	1.00	1.8	2.60	3.40	4.20	5.00	5.90
Xylanase	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Phytase	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
DL-Met	0.90	1.51	2.11	2.71	3.32	3.92	4.52	5.12	0.90	1.51	2.11	2.71	3.32	3.92	4.52	5.12
L-Val	0.30	0.50	0.70	0.89	1.09	1.29	1.49	1.69	0.30	0.50	0.70	0.89	1.09	1.29	1.49	1.69
L-Thr	0.18	0.29	0.41	0.53	0.65	0.76	0.88	1.00	0.18	0.29	0.41	0.53	0.65	0.76	0.88	1.00
L-Trp	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06
Nutrient ³ (g/kg of DM)																
CP	64.60	108.20	152.30	196.80	240.70	286.10	331.90	378.30	64.56	108.11	152.15	196.67	240.69	286.01	331.86	378.21
Lys	3.23	5.41	7.62	9.85	12.04	14.31	16.62	18.94	3.23	5.41	7.61	9.84	12.04	14.31	16.61	18.93
Met + Cys	2.82	4.72	6.65	8.60	10.52	12.49	14.50	16.52	2.81	4.72	6.65	8.59	10.52	12.49	14.50	16.52
Thr	2.47	4.15	5.84	7.55	9.23	10.97	12.74	14.52	2.47	4.15	5.84	7.55	9.23	10.97	12.74	14.52
ME (MJ)	14.18	14.18	14.18	14.18	15.74	15.74	15.74	15.74	14.60	14.60	14.60	14.60	15.95	15.95	15.95	15.95

¹N1 = 64, N2 = 108, N3 = 152, N4 = 197, N5 = 241, N6 = 286, N7 = 332, N8 = 378 g of CP/kg.

²Provided (per kilogram of diet): vitamin A, 5,000 IU; vitamin D₃, 1,000 IU; vitamin E, 30 IU; thiamine, 2.6 mg; riboflavin, 4.8 mg; vitamin B₆, 3.2 mg; vitamin B₁₂, 20 µg; vitamin K₃, 3 mg; Ca-pantothenate, 10 mg; nicotinic acid, 50 mg; folic acid, 0.9 mg; biotin, 100 µg; choline chloride, 1,000 mg; Mn, 120 mg (source: MnO); Zn, 70 mg (ZnO); Fe, 50 mg (FeSO₄); Cu, 15 mg (copper sulfate pentahydrate); I, 1.4 mg (Ca-iodate-hexahydrate); Se, 0.28 mg (Na₂SeO₃); Co, 0.17 mg [basic cobalt (II) carbonate monohydrate], and butylated hydroxytoluene, 100 mg.

³All samples were analyzed at least as duplicate, values were averaged afterward.

Table 3. Diet composition during period I (10–20 d, g/kg as fed), experiment 2

Item	BD ¹	LYSL ¹	LEUL ¹	ILEL ¹	VALL ¹
Ingredient					
Wheat	480.00	480.00	480.00	480.00	480.00
Wheat starch	227.93	222.27	227.28	227.25	226.20
Soy protein concentrate	67.55	67.55	67.55	67.55	67.55
Wheat gluten	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Fish meal	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Soybean oil	26.10	29.73	26.28	26.30	26.80
Dicalcium phosphate	16.26	16.26	16.26	16.26	16.26
Premix ²	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Calcium carbonate	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Sodium chloride	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84
Xylanase	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Phytase	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
L-Glu	29.29	34.61	32.94	32.57	33.92
L-Lys·HCl	8.35	5.02*	8.35	8.35	8.35
L-Arg	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38
DL-Met	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46
L-Val	3.76	3.76	3.76	3.76	0.00*
L-Thr	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35
L-Leu	3.26	3.26	0.00*	3.26	3.26
L-Ile	2.92	2.92	2.92	0.00*	2.92
L-Phe	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63
L-His	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
L-Trp	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
Nutrient ³ (g/kg of DM)					
CP	237.90	237.80	237.90	237.90	237.90
Leu	15.70	15.70	12.20*	15.70	15.70
Lys	14.30	11.40*	14.30	14.30	14.30
Val	11.30	11.30	11.30	11.30	7.20*
Ile	9.70	9.70	9.70	6.50*	9.70
ME (MJ)	13.96	13.96	13.96	13.96	13.96

¹BD = AA balanced basal diet, LYSL = BD limiting in Lys (80% Lys of BD), LEUL = BD limiting in Leu (80%), ILEL = BD limiting in Ile (67%), VALL = BD limiting in Val (64%).

²For composition of premix: see Table 2.

³All samples were analyzed at least as duplicate, values were averaged afterward.

*Lowered individual AA supplementation compared with diet BD.

tein quality (AA pattern) of all experimental diets was equal, independent both of dietary protein level and age period (Table 5). According to the age-dependent demands, the energy and CP contents of the grower diets were adapted (Table 2). Due to the high starch content and the subsequent difficulties in pelletizing, all experimental diets were exclusively fed as meal.

Experiment 2. To derive the IAAR for BCAA, the individual AA under examination has to be in the limiting position. Five diets were formulated (Tables 3 and 4): an AA-balanced BD according to the assumed IAAR (Table 1) and diets individually limiting in Lys (**LYSL**), Leu (**LEUL**), Ile (**ILEL**), or Val (**VALL**). Based on diet BD, both diet LYSL and diet LEUL were achieved by dilution with wheat starch to approximately 80% of BD to ensure the limiting position of Lys or Leu, respectively. In accordance with the results of Wecke and Liebert (2013), the diets ILEL and VALL were diluted below 70% of BD to yield a verified limiting position of these AA. Subsequently, the remaining feed ingredients (premix and minerals) and indispensable AA were refilled up to 100% of BD, except the individual LAA under study (Tables 3 and 4). Additionally, unspecific N was supplemented by L-glutamic acid. Grower diets were adapted to age-dependent energy and protein needs (Table 4). All isonitrogenous and

isoenergetic starter and grower diets were fed as pellets (R.A. Lister Co. Ltd., Dursley, UK) with diameters of 2 mm for starter and 3 mm for grower diets.

Analytical Procedures

Ingredients and final diets were ground to 1 mm and analyzed for DM and N, single feedstuffs were additionally analyzed for fat, starch, and total sugar according to German standards (VDLUFA, Naumann and Bassler, 1976–1997). The AA content of the protein sources was detected by ion-exchange chromatography (Biochrom30, Onken Ltd., Gruendau, Germany) following acid hydrolysis both with and without the oxidation step for quantitative determination of sulfur-containing AA. The given AA contents of the final diets are based on the analyzed AA contents of the single protein sources (Tables 2 to 4).

Excreta were carefully defrosted and homogenized. Subsequently, representative samples were taken and analyzed for N according to the Dumas method (TruMac, Leco, Moenchengladbach, Germany) and for DM, according to German standards (VDLUFA, Naumann and Bassler, 1976–1997). Fraction CP was based on the factor 6.25 from the N content.

Table 4. Diet composition during period II (25–35 d, g/kg as fed), experiment 2

Item	BD ¹	LYSL ¹	LEUL ¹	ILEL ¹	VALL ¹
Ingredient					
Wheat	443.04	443.04	443.04	443.04	443.04
Wheat starch	266.11	260.77	265.21	265.46	264.74
Soy protein concentrate	62.35	62.35	62.35	62.35	62.35
Wheat gluten	46.15	46.15	46.15	46.15	46.15
Fish meal	46.15	46.15	46.15	46.15	46.15
Soybean oil	47.50	51.00	48.00	47.80	48.00
Dicalcium phosphate	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50
Premix ²	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Calcium carbonate	2.60	2.60	2.50	2.60	2.60
Sodium chloride	1.30	1.30	1.40	1.30	1.30
Xylanase	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Phytase	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
L-Glu	27.00	31.91	30.40	30.07	31.30
L-Lys-HCl	7.71	4.63*	7.71	7.71	7.71
L-Arg	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95
DL-Met	4.14	4.14	4.14	4.14	4.14
L-Val	3.44	3.44	3.44	3.44	0.00*
L-Thr	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05
L-Leu	3.01	3.01	0.00*	3.01	3.01
L-Ile	2.73	2.73	2.73	0.00*	2.73
L-Phe	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46
L-His	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
L-Trp	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
Nutrient (g/kg of DM) ³					
CP	21.87	21.86	21.87	21.87	21.87
Leu	14.40	14.40	11.20*	14.40	14.40
Lys	13.10	10.50*	13.10	13.10	13.10
Val	10.40	10.40	10.40	10.40	6.70*
Ile	8.90	8.90	8.90	6.00*	8.90
ME (MJ)	14.56	14.55	14.56	14.56	14.56

¹BD = AA balanced basal diet, LYSL = BD limiting in Lys (80%), LEUL = BD limiting in Leu (80%), ILEL = BD limiting in Ile (67%), VALL = BD limiting in Val (64%).

²For composition of premix: see Table 2.

³All samples were analyzed at least as duplicate, values were averaged afterward.

*Lowered individual AA supplementation compared with diet BD.

Statistical Analysis

NMR and ND_{maxT} (Experiment 1). The statistical procedure for estimating the daily NMR and threshold value for N deposition (ND_{maxT}) used the Levenberg-Marquardt algorithm within the SPSS package (version 19.0 for Windows, IBM SPSS Statistics Inc., Chicago, IL), following several iteration steps. A validated N utilization model for growing monogastric animals, based on Gebhardt (1966), was applied as previously described (Samadi and Liebert, 2006a,b, 2007a,b, 2008; Wecke and Liebert, 2009, 2010, 2013):

$$NR = NR_{\max T}(1 - e^{-b \cdot NI}) \quad [1]$$

$$ND = NR - NMR, \quad [2]$$

where NR is the daily N retention (mg/BW_{kg}^{0.67}), NR_{maxT} is the theoretical maximum for daily N retention (mg/BW_{kg}^{0.67}), *e* is the basic number of natural logarithm (ln), *b* is the slope of the N retention curve (indicating the dietary protein quality independent of N intake), NI is the daily N intake (mg/BW_{kg}^{0.67}), ND is the daily N deposition (mg/BW_{kg}^{0.67}), and NMR is the daily N maintenance requirement (mg/BW_{kg}^{0.67}).

Logarithmization and transformation of equation [1] allows the calculation of model parameter *b*, assessing the protein quality:

$$b = \ln [NR_{\max T} - \ln (NR_{\max T} - NR)]:NI. \quad [3]$$

IAAR (Experiment 2). According to Samadi and Liebert (2008), the proportion between Lys efficiency (bc_{LYS}^{-1}) as reference and observed efficiency of individual LAA (bc_{LAA}^{-1}) is utilized for calculations of the IAAR (equation 4):

$$IAAR = bc_{LYS}^{-1}:bc_{LAA}^{-1}. \quad [4]$$

This application is based on the direct dependency of the protein quality (*b*) on the concentration of the limiting AA in the dietary protein (*c*). Therefore, bc^{-1} indicates the dietary efficiency of utilization of the first LAA, depending on 3 factors of influence: I) the physiological AA requirement per unit ND, II) absorption rate, and III) postabsorptive AA utilization. If experimental diets have a similar ingredient composition, the effects of factors II and III are minimized. Consequently, model parameter bc^{-1} enables a profound requirement assessment for the AA under observation.

Table 5. Amino acid (AA) composition of dietary protein (g of AA/100 g of CP) and achieved ideal AA ratios (in parentheses) in experiments 1 and 2

Item	Lys	Met+Cys	Thr	Trp	Arg	Val	Ile	Leu	His	Phe+Tyr
Experiment 1										
All diets	5.89 ¹ (100)	4.37 (74)	3.84 (65)	1.00 (17)	6.22 (106)	4.67 (79)	4.04 (69)	7.16 (122)	2.39 (41)	8.18 (139)
Experiment 2 ²										
BD	6.00 (100)	4.43 (74)	3.92 (65)	1.02 (17)	6.37 (106)	4.76 (79)	4.06 (68)	6.61 (110)	2.04 (34)	7.06 (118)
LYSL	4.80 (100)*	4.43 ³ (92)	3.92 ³ (82)	1.02 ³ (21)	6.37 ³ (133)	4.76 ³ (99)	4.06 ³ (85)	6.61 ³ (138)	2.04 ³ (43)	7.06 ³ (147)
LEUL	6.00 (100)	4.43 (74)	3.92 (65)	1.02 (17)	6.38 (106)	4.76 (79)	4.06 (68)	5.12 (85)*	2.04 (34)	7.06 (118)
IIELE	6.00 (100)	4.43 (74)	3.92 (65)	1.02 (17)	6.37 (106)	4.76 (79)	2.74 (46)*	6.61 (110)	2.04 (34)	7.06 (118)
VALL	6.00 (100)	4.43 (74)	3.92 (65)	1.02 (17)	6.38 (106)	3.05 (51)*	4.06 (68)	6.61 (110)	2.04 (34)	7.06 (118)

¹Lys concentration in the AA balanced diet including L-Lys-monohydrochloride as a result of computer-aided feed optimizing to achieve dietary amino acid patterns close to the assumed ideal AA ratios (Table 1). In all Lys limiting experimental diets (NI-NS), the native Lys concentration amounted only 5.01 g per 100 g of CP because no crystalline Lys was supplemented.

²BD = AA balanced basal diet, LYSL = BD limiting in Lys (80%), LEUL = BD limiting in Leu (80%), IIELE = BD limiting in Ile (67%), VALL = BD limiting in Val (64%).

³Based on a Lys = 100% of requirement = 6.00 g per 100 g of CP (= 13 g of Lys/kg of diet for starter and 12 g of Lys/kg of diet for grower period).

*Decreased content of investigated AA compared with diet BD.

However, this application of bc^{-1} is only valid if the AA under investigation is actually in the limiting position, as indicated by a significant decline of the b -value between AA balanced diet and experimental diet where the content of the AA under investigation is diluted.

Experimental data are presented as mean values \pm SEM. Statistical analyses ($P \leq 0.05$) were carried out using the SPSS statistical software package (version 19.0 for Windows, IBM SPSS Statistics Inc., Chicago, IL). To fulfill requirements for a one-way ANOVA, data were transformed into logarithmic values. Subsequently, data were subjected to a verification of variance homogeneity according to Levene test following Tukey or Games-Howell post-hoc tests. For convenience, original values are presented instead of transformed ones.

RESULTS

Experiment 1

Diet Composition. High contents of wheat starch were necessary to achieve the designed graded levels of dietary protein. However, the relative surplus of Leu, His, and Phe + Tyr was not completely compensated. To prevent problems of refused feed with high starch diets, a higher dietary ratio of these AA as IAAR (Table 1) had to be accepted (Lys:Leu:His:Phe + Tyr = 100:122:41:139). Crude ash, crude fat, crude fiber, and starch content (g/kg DM) varied between 44.39 to 67.70, 14.30 to 130.07, 7.81 to 25.50, and 302.28 to 744.50 in starter and grower diets, respectively.

N Balance Data and Model Parameters. During the starter period, 2 birds on diet N2 (10.8% CP) refused feed intake, leading to a small sample size within this respective group. Therefore, the total group N2 was excluded from data calculation. Table 6 summarizes the results of the N balance studies during both age periods. As expected, N excretion and N balance increased significantly with increasing N intake during starter and grower period. These data were further used for data analysis, based on an exponential function between NI and ND. A daily NMR of 113 and 215 mg of N/BW_{kg}^{0.67} was established for the starter and grower period, respectively.

Estimation of threshold values for the theoretical maximum for daily N deposition (ND_{maxT}) for both growth periods demonstrated in Figure 1 and results are summarized in Table 7. The observed data for NMR and ND_{maxT} were further utilized to derive the IAAR in experiment 2. The model parameter b reflects protein quality independent of level of N intake. Although graded levels of dietary protein were supplied, the model parameter b was not significantly affected by the experimental diets (Table 6). This observation underlines the equal dietary protein quality throughout the experimental diets. Accordingly, bc^{-1} -values varied between 37 to 44 and 39 to 43 during the starter and grower period, but no significant difference ($P < 0.05$) within the age periods was observed (Table 6).

Table 6. Summarized results of the N balance experiments in age period I and II (experiment 1)¹

Diet	N1 ²	N2 ²	N3 ²	N4 ²	N5 ²	N6 ²	N7 ²	N8 ²
Period I (10–20 d)								
ⁿ Mean BW (g)	123 ^d ± 3	—	121 ^d ± 4	158 ^d ± 11	264 ^c ± 20	373 ^{bc} ± 38	561 ^{ab} ± 47	618 ^a ± 58
DM intake (g/d)	11.2 ^e ± 0.3	—	14.6 ^{de} ± 1.0	20.1 ^{cd} ± 2.1	25.3 ^{bc} ± 2.0	35.4 ^b ± 3.7	51.1 ^a ± 3.0	55.5 ^a ± 3.1
N intake ³	471 ^g ± 13	—	1,459 ^f ± 87	2,170 ^e ± 181	2,376 ^d ± 112	3,107 ^c ± 136	4,041 ^b ± 119	4,681 ^a ± 55
N excretion ³	167 ^g ± 10	—	283 ^f ± 21	549 ^e ± 35	708 ^d ± 19	1,118 ^c ± 68	1,531 ^b ± 63	1,910 ^a ± 78
N balance ³	304 ^f ± 19	—	1,176 ^e ± 84	1,621 ^{de} ± 148	1,668 ^d ± 114	1,989 ^{cd} ± 99	2,510 ^b ± 83	2,771 ^{ab} ± 80
<i>b</i> -Value	196 ^a ± 5	—	219 ^a ± 5	213 ^a ± 5	200 ^a ± 7	192 ^a ± 6	203 ^a ± 6	204 ^a ± 9
<i>bc</i> ⁻¹ -Value	39.20 ^a ± 1.1	—	43.84 ^a ± 1.0	42.53 ^a ± 1.1	40.05 ^a ± 1.5	37.11 ^a ± 0.6	40.56 ^a ± 1.1	40.80 ^a ± 1.8
Period II (25–35 d)								
ⁿ Mean BW (g)	1,051 ^f ± 31	8	1,377 ^{ce} ± 60	1,469 ^{bce} ± 99	1,575 ^{abcd} ± 86	1,781 ^{abc} ± 116	1,836 ^{ab} ± 99	2,019 ^a ± 118
DM intake (g/d)	69.3 ^a ± 3.2	82.0 ^{ab} ± 1.9	92.9 ^{bc} ± 4.1	105.2 ^{abc} ± 8.2	97.8 ^{bc} ± 4.6	105.1 ^{abc} ± 6.6	113.3 ^{ab} ± 6.2	123.1 ^a ± 4.0
N intake ³	691 ^h ± 24	1,244 ^g ± 29	1,829 ^f ± 68	2,551 ^e ± 133	2,790 ^d ± 104	3,269 ^c ± 119	4,005 ^b ± 142	4,676 ^a ± 51
N excretion ³	295 ^h ± 12	424 ^g ± 16	622 ^f ± 22	916 ^e ± 78	1,037 ^d ± 37	1,228 ^c ± 48	1,603 ^b ± 75	2,175 ^a ± 54
N balance ³	396 ^g ± 27	820 ^f ± 23	1,207 ^e ± 49	1,635 ^d ± 58	1,753 ^{cd} ± 87	2,041 ^c ± 82	2,402 ^b ± 76	2,501 ^a ± 74
<i>b</i> -Value	197 ^a ± 5	197 ^a ± 3	196 ^a ± 2	198 ^a ± 4	195 ^a ± 5	202 ^a ± 4	206 ^a ± 3	187 ^a ± 7
<i>bc</i> ⁻¹ -Value	42.00 ^a ± 1.0	41.85 ^a ± 0.6	41.36 ^a ± 0.4	41.63 ^a ± 0.8	41.07 ^a ± 1.1	42.64 ^a ± 1.0	43.49 ^a ± 0.7	39.48 ^a ± 1.5

^{a-h}Values within a row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

¹Mean ± SEM.

²N1 = 64, N2 = 108, N3 = 152, N4 = 197, N5 = 241, N6 = 286, N7 = 332, N8 = 378 g of CP/kg of DM.

³mg/BW_{kg}^{0.67} per day.

Experiment 2

Diet Composition. In experiment 2, the assumed averaged IAAR (Table 1) was achieved with diet BD. Crude ash, crude fat, crude fiber, and starch content (g/kg of DM) varied between 50.70 and 57.70, 42.10 and 68.20, 13.80 and 14.70, and 470.70 and 487.30 in starter and grower diets, respectively.

Model Parameters and IAAR. Summarized results of the N balance experiments in age period I and II are displayed in Table 8. As expected, N balance data yielded significantly highest results for birds fed diet BD in both age periods. According to equation [4], AA ratio calculations were based on both the model parameters as derived in experiment 1 and N balance data (Table 9). As expected, the balanced BD yielded the significantly highest protein quality (*b*), indicating non-ideal AA ratios in the 4 AA deleted experimental diets. For determination of the IAAR, the limiting position of the AA under investigation needs to be ensured. According to the observed small difference for diet LEUL, an adapted level of statistical significance ($P < 0.2$) was accepted in the starter period (Table 9). However, a decline of protein quality was achieved. Consequently, the yielded Leu efficiency was utilized for further evaluation of IAAR data. Under the current experimental conditions, an IAAR of Lys:Leu:Ile:Val of 100:94:55:65 (starter period) and 100:106:56:72 (grower period) was concluded.

DISCUSSION

Experiment 1

NMR. Generally, NMR data for growing broiler chicken are scarce in current literature. The GRRS (1999) recommended 264 mg of N/BW_{kg}^{0.67}/d as NMR, without any differentiation for growth stages. For the starter period (10–25 d), Samadi and Liebert (2006a, 2008) derived as NMR 220 and 216 mg of N/BW_{kg}^{0.67} per d for Cobb 500 and Ross 308 genotypes, respectively. For the grower period (30–45 d), NMR values of 260 and 264 mg of N/BW_{kg}^{0.67} per d were obtained, respectively. These data differ from current results (113 mg of N/BW_{kg}^{0.67} per d for starter and 215 mg of N/BW_{kg}^{0.67} per d for grower period). However, Samadi and Liebert (2006a, 2008) applied different protein sources (soybean meal and wheat gluten) compared with the current study (wheat, soy protein concentrate, wheat gluten, and fish meal). This might be one reason for the observed differences, because the applied regressive estimation of NMR is not free of dietary implications. Additionally, Samadi and Liebert (2006a,b) investigated Thr instead of Lys in limiting position for derivation of NMR. This could also be a factor influencing the NMR of growing chickens.

ND_{max}T. Samadi and Liebert (2006a, 2008) obtained an ND_{max}T of 3,592 mg of N/BW_{kg}^{0.67} per d for Cobb 500 and 3,660 mg of N/BW_{kg}^{0.67} per d for Ross 308 during the starter period (10–25 d). For the

Table 7. Summarized results of estimating daily N maintenance requirement (NMR) and theoretical potential for daily N deposition ($ND_{\max}T$) of Ross 308 chickens, depending on age (experiment 1)

Period and age	NMR	$ND_{\max}T$	R^2 (%)
	————— mg of N/BW _{kg} ^{0.67} per d —————		
I (10–20 d)	113	4,592	97.5
II (25–35 d)	215	4,301	98.4

grower period, 2,723 and 2,741 mg of N/BW_{kg}^{0.67} per d were observed, respectively. These results are lower than actual estimates for $ND_{\max}T$ of 4,592 and 4,301 mg of N/BW_{kg}^{0.67} per d for the starter and grower period, respectively. An explanation for the increased $ND_{\max}T$ could be the breeding progress that induces an enhanced N deposition potential for actual broiler genotypes.

In line with earlier studies on several growing species (Peisker et al., 2000; Thong and Liebert, 2004; Samadi and Liebert, 2006a,b; Wecke and Liebert, 2009), present results demonstrate a decreased $ND_{\max}T$ with increasing age or BW, displaying a reduced N deposition per metabolic BW with advancing age.

***bc*⁻¹-Value.** Because of the similar diet composition and the choice of Lys as the limiting AA in experiments 1 and 2, the Lys efficiency data can be compared. Whereas Lys yielded an overall efficiency (bc^{-1}_{Lys}) between 37 to 44 (Table 6) in experiment 1, values of 40 and 45 were observed for starter and grower period with diet LYSL in experiment 2. In both experiments, the Lys efficiency data within the age periods were very similar and useful for further quantitative AA requirement calculations. However, current applications are focused on estimation of optimal dietary AA ratios only.

Experiment 2

Within the concept of the IAAR, individual indispensable AA are related to Lys. Lysine is normally utilized as a reference AA according to its role as limit-

ing AA in feedstuffs. Additionally, chemical analysis is mostly standardized and Lys is almost exclusively utilized for protein accretion (Baker et al., 2002). To establish accurate AA requirement and IAAR data, the specification of the Lys requirement is of utmost importance because all AA are related to Lys. According to Mack et al. (1999), Garcia et al. (2006), Dozier et al. (2008), Abudabos and Aljumaah (2010), the Lys requirement depends on different factors such as genotype, sex, performance parameters, and rearing environment. All these factors, including parameters of dietary AA utilization, must be absolutely taken into account for valid recommendations. The applied nonlinear N utilization model also allows modeling of quantitative AA requirements dependent on species, genotype, sex, age period, body protein deposition, and AA efficiency. However, this application of the modeling procedure is discussed elsewhere (Samadi and Liebert, 2006b, 2007a,b; Liebert and Benkendorff, 2007; Liebert and Wecke, 2008; Wecke and Liebert, 2009).

As mentioned previously, for the IAAR determination the limiting position of the individual AA under study must be definitely confirmed by evaluation of parameter *b*. During the starter period, the LEUL diet yielded a significant decrease in protein quality (*b*) compared with the control diet. As attributed to the higher standard error of *b* in diet LEUL, the significance level was adapted ($P < 0.2$, Table 9). However, the higher dietary efficiency of Leu (bc_{Leu}^{-1}) in diet LEUL ($bc^{-1} = 42$) compared with the balanced diet BD ($bc^{-1} = 33$), a decreased excess of dietary Leu was indicated. In ac-

Table 8. Summarized results of the N balance experiments in age period I and II (experiment 2)¹

Diet	BD ²	LYSL ²	LEUL ²	ILEL ²	VALL ²
Period I (10–20 d)					
n	16	14	14	14	14
Mean BW (g)	462 ^a ± 39	306 ^b ± 25	398 ^a ± 40	362 ^a ± 36	341 ^a ± 38
DM intake (g/d)	56.1 ^a ± 4.4	31.3 ^b ± 3.1	43.2 ^{ab} ± 4.2	41.8 ^{ab} ± 4.4	38.9 ^{ab} ± 4.5
N intake ³	3,555 ^a ± 85	2,597 ^c ± 142	3,010 ^{bc} ± 132	3,190 ^{ab} ± 143	2,977 ^{bc} ± 153
N excretion ³	1,116 ^a ± 44	887 ^a ± 66	895 ^a ± 70	1,109 ^a ± 72	1,114 ^a ± 77
N balance ³	2,439 ^a ± 52	1,710 ^c ± 79	2,115 ^b ± 73	2,081 ^b ± 77	1,863 ^{bc} ± 80
Period II (25–35 d)					
n	16	14	14	14	14
Mean BW (g)	1,445 ^a ± 70	1,234 ^{ab} ± 55	1,152 ^b ± 55	1,157 ^b ± 60	1,088 ^b ± 58
DM intake (g/d)	120.5 ^a ± 4.2	92.9 ^b ± 2.9	73.0 ^b ± 5.4	77.5 ^b ± 6.4	73.5 ^b ± 6.3
N intake ³	3,322 ^a ± 85	2,843 ^b ± 80	2,299 ^c ± 111	2,430 ^{bc} ± 153	2,392 ^{bc} ± 150
N excretion ³	947 ^{ab} ± 38	990 ^a ± 47	749 ^b ± 57	813 ^{ab} ± 63	968 ^a ± 69
N balance ³	2,375 ^a ± 58	1,853 ^b ± 43	1,550 ^c ± 62	1,617 ^{bc} ± 99	1,424 ^c ± 90

^{a-c}Values within a row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

¹Mean ± SEM.

²BD = AA balanced basal diet, LYSL = BD limiting in Lys (80%), LEUL = BD limiting in Leu (80%), ILEL = BD limiting in Ile (67%), VALL = BD limiting in Val (64%).

³mg/BW_{kg}^{0.67} per day.

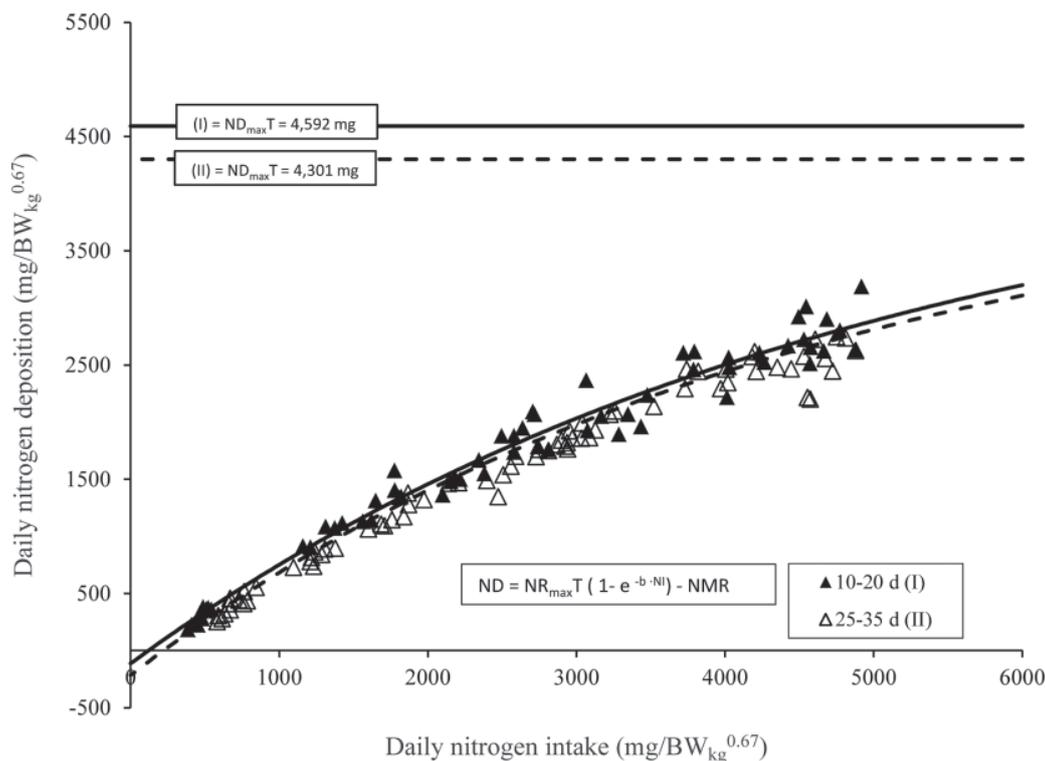


Figure 1. Estimation of the theoretical potential for daily N deposition ($ND_{max}T$) in male fast-growing chickens, based on the function between N intake and N deposition (balance) in 2 different age periods. NMR = N maintenance requirement; $NR_{max}T$ = theoretical maximum for daily N retention.

cordance with the diminished b -value, it was concluded that Leu in the LEUL diet was in a limiting position and the Leu:Lys ratio (94:100) was calculated. However, a further validation of Leu efficiency data for the starter phase is inevitable.

For the IAAR of Leu and Val to Lys, higher ratios in grower period compared with the starter period (106 vs. 94 and 72 vs. 65) were observed. Conversely, no age effect was found for the Ile to Lys ratio (56 vs. 55). Coon (2004) even suggested a slight decrease in

the Ile to Lys ratio for grower period compared with the starter period (64 vs. 62), but also observed an increase of Leu and Val to Lys ratio with increasing age (94 vs. 117; 67 vs. 75). These results are in good agreement with our current data for Val during both growth periods and Leu during the starter period. Wecke and Liebert (2013) also derived IAAR from AA efficiency data in the growing chicken and concluded an IAAR of Lys:Ile:Val for the starter and grower period of 100:55:63 and 100:65:79, respectively. These observa-

Table 9. Summarized results of model parameters in age period I and II (experiment 2)¹

Diet	BD ²	LYSL ²	LEUL ²	ILEL ²	VALL ²
Period I (10–20 d)					
n	16	14	14	14	14
Protein quality (b)	221 ^a ± 3	191 ^{bc} ± 2	215 ^b ± 4 ³	199 ^b ± 3	185 ^c ± 3
AA efficiency (bc^{-1}) of basal diet	—	36.79 ^B ± 0.50	33.43 ^B ± 0.45	54.12 ^B ± 0.74	46.58 ^B ± 0.63
AA efficiency (bc^{-1}) of experimental diet	—	39.65 ^A ± 0.48	42.10 ^A ± 0.74	72.61 ^A ± 1.05	60.73 ^A ± 0.87
IAAR	—	100	94	55	65
Period II (25–35 d)					
n	16	14	14	14	14
Protein quality (b)	258 ^a ± 4	216 ^b ± 3	218 ^b ± 4	217 ^b ± 4	191 ^c ± 4
AA efficiency (bc^{-1}) of basal diet	—	42.71 ^B ± 0.60	39.03 ^B ± 0.55	63.19 ^B ± 0.89	54.38 ^B ± 0.77
AA efficiency (bc^{-1}) of experimental diet	—	44.92 ^A ± 0.66	42.52 ^A ± 0.68	79.54 ^A ± 1.48	62.59 ^A ± 1.33
IAAR	—	100	106	56	72

^{a-c}Values within a row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

^{A,B}Values within a column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

¹Mean ± SEM.

²BD = AA balanced basal diet, LYSL = BD limiting in Lys (80%), LEUL = BD limiting in Leu (80%), ILEL = BD limiting in Ile (67%), VALL = BD limiting in Val (64%).

³($P < 0.2$). For statistical analysis, these data were subjected to a verification of variance homogeneity according to Levene test following Duncan or Games-Howell post-hoc tests.

Table 10. Overview about ideal amino acid (AA) ratios (Lys = 100) found in literature compared with current results

Reference	Starter period			Grower period			Calculation basis
	Leu	Ile	Val	Leu	Ile	Val	
NRC (1994)	109	73	82	109	73	82	Total AA
GRRS (1999)	112	69	96	125	78	109	Total AA
Mack et al. (1999)	n.d. ¹	n.d.	n.d.	n.d.	71	81	True fecal digestible AA
Baker et al. (2002)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	61	78	Digestible AA
Coon (2004)	94	64	67	117	62	75	Total AA
Corzo et al. (2007)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	78	Digestible AA
Dozier et al. (2011)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	68	74	Digestible AA
Berres et al. (2010)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	75	65	Digestible AA
Berres et al. (2010)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	70	68	Digestible AA
CVB (2010)	n.d.	66	80	n.d.	66	80	Apparent fecal digestible AA
Wecke and Liebert (2013)	n.d.	55	63	n.d.	65	79	Total AA ²
Mean	105	65	78	117	69	79	
Actual observations	94	55	65	106	56	72	Total AA ²

¹n.d. = not determined.

²Considering in-feed AA efficiency for body protein deposition.

tions are only consistent with our present results during the starter period. Further investigations are necessary to explain the disagreements during the grower period.

The NRC (1994) based its AA recommendations on previously published reports. Due to the limited number of BCAA requirement studies the age periods were not differentiated (Lys:Leu:Ile:Val = 100:109:73:82, based on total AA). We expect that due to a lower protein gain with increasing age and BW, a modification of the AA requirement ratio is very likely. Based on the current investigation, a differentiation between starter and grower period is indicated. This view is also supported by Kirchgeßner et al. (1987) who reported that the AA content of body protein deposition in older meat-type chickens (21–35 d) was higher than in young chicks (0–14 d), for example, with an increase for most AA during the grower period (e.g., His by 47.5%, Ile by 15%, or Arg by 10%). Furthermore, results of Roth et al. (1990) indicated that changes of body AA composition could also be responsible for the observed increased importance of Leu and Val from starter to grower period. The authors analyzed the skinless breast meat of 110 male broilers at 6 and 8 wk of age. Birds slaughtered at 8 wk of age showed increased BCAA contents in the deposited protein of the breast meat.

The GRRS (1999) recommended a general increase of IAAR for all indispensable AA related to Lys with advancing age. However, the GRRS clearly stated higher Leu, Ile, and Val ratios for both the starter and grower period in terms of total AA (112 and 125, 69 and 78, 96 and 109, in percentage, related to Lys, respectively). Based on true fecal digestible AA, Mack et al. (1999) obtained an IAAR for Ile and Val to Lys of 71 and 81% for growing chickens aged 20 to 40 d, whereas Baker et al. (2002) proposed an IAAR for digestible Ile and Val of 61.4 and 77.5% during the second and third week posthatch.

An overview about IAAR literature data are given in Table 10. It becomes evident that most of published reports focused on Ile and Val, rather than on Leu. This is probably because Val might become the fourth limit-

ing AA in diets based on corn and soybean meal and Ile may act as colimiting (Kidd et al., 2004; Corzo et al., 2007, 2009, 2010). Overall, as opposed to summarized literature data, our IAAR of the BCAA were lower.

Several factors may account for our current observations. First, there are important differences in diet formulation. Actually, we applied semi-synthetic diets with wheat, wheat gluten, soybean protein concentrate and fish meal as protein sources. Baker et al. (2002) utilized an AA fortified corn-gluten meal diet. In addition, our AA balanced diet was created to minimize surplus AA, resulting in an enhanced level of dietary AA efficiency.

Furthermore, regarding different protein sources the antagonisms of the BCAA has to be taken into account, if ideal ratios for these AA are derived. Due to their similar structure, Leu, Ile, and Val compete for same enzymes in the first 2 steps of their catabolism (Harper et al., 1984). Consequently, if one BCAA (mostly Leu) is supplied excessively, it will result in decreased contents of the other 2 BCAA in the blood plasma and therefore in a decreased availability (Escobar et al., 2005, 2007; Wilson et al., 2010; Wiltafsky et al., 2010). In consequence, also the IAAR for individual BCAA can be modulated (Wiltafsky et al., 2009). Due to the high Leu content in corn, we excluded this typical feed ingredient in broiler diets. However, other authors (e.g., Corzo et al., 2007; Berres et al., 2010; Dozier et al., 2011) utilized corn as the main ingredient, possibly leading to an increased catabolism of Ile and Val and consequently to higher BCAA ratios.

Second, different benchmarks (IAAR related to total AA, true fecal digestibility, and so on) restricted a direct comparison between different studies. The AA recommendations can be expressed on a total, ileal (or prececal), or standardized ileal digestibility basis, wherein the latter 2 are thought to be more accurate. The AA formulation on a total basis might lead to some restrictions: as individual feed ingredients differ in AA digestibility (Lemme et al., 2004), a proportion of the AA are excreted undigested. If high amounts of

feedstuffs with a low AA digestibility are utilized in a compound feed, a reliable prediction is hampered.

However, the feed ingredients used in this assay were highly digestible and variations for IAAR are observed independent of total AA, or data expressed as digestible AA (Wecke and Liebert, 2010, 2013). Additionally, even if based on a (standardized) ileal digestibility, no prediction can be made about the metabolic availability of single AA, which can be decreased despite a high disappearance rate from the gut (Wu, 1998; Pastor and Liebert, 2011, 2012). We expressed the IAAR in terms of total AA, but are taking into account the individual AA efficiency for protein deposition as influenced by digestion, absorption, and metabolic utilization of the limiting AA under investigation.

Third, there are significant differences between the reported methods used to derive the IAAR. The GRRS (1999) recommendations apply a factorial approach based on data from literature. Consequently, the recommended IAAR is based on averaged assumptions, lacking verification of the proposed ratios. Some authors [e.g., Mack et al. (1999) and Baker et al. (2002)] made use of dose-response studies in combination with broken-line and regression analysis. For example, 90% (Baker et al., 2002) or 95% (Mack et al., 1999) of the maximal response (e.g., weight gain, feed gain) are utilized as a subjective estimate of the requirement. A (linear/quadratic) regression is applied to derive a more objective AA requirement recommendation. As a result, quantitative AA requirements are obtained and the IAAR is derived by relating the AA under investigation to the reference AA Lys.

Nonetheless, when conducting dose-response studies, the following aspect should be considered. To achieve graded levels of the AA under examination, the ratio between native and supplemented AA differs from one level to another. In consequence, also the AA pattern of the diets change from one AA level to the next, which might lead to biased results. Additionally, for each AA under investigation several diets with a graded excess of AA need to be formulated. It is also a fact that the yielded requirement concentration is concluded for both a mix of native and supplemented AA in the diet and the observed level of the response. To overcome this limitation, quantitative response is mostly related to the dietary concentration of the AA under study. In contrast, we applied the principles of the diet dilution technique (Gous and Morris, 1985) both to ensure the same AA pattern and minimized AA excess for all experimental diets. Despite the favored method, the chosen response criteria (i.e., yield of breast meat, feed conversion ratio, maximum growth, or economic factors) has a major impact on the derived AA recommendations (Leclercq, 1998). Especially Lys, normally selected as reference AA within the IAAR, is more prone to the chosen response criteria than other AA (Han and Baker, 1991; Corzo et al., 2005). The applied N utilization model provides a measure of the individual AA efficiency in only one experimental diet.

In conclusion, our results give further support to the advantages coming from application of the nonlinear modeling procedure for improving the IAAR data in the growing chicken. It was also indicated that BCAA could have a lower relative importance when related to Lys as a reference. Earlier investigations might have overestimated the IAAR for BCAA for modern growing chicken strains. Additionally, an increased Leu and Val to Lys ratio from the starter to grower period was observed, but not in complete agreement with earlier observations (Wecke and Liebert, 2013). In consequence, the current observations are not generalized as new recommendations for growing chicken, but need to be validated in further investigations including growth trials.

REFERENCES

- Abudabos, A., and R. Aljumaah. 2010. Evaluation of digestible lysine needs for male broiler. *Int. J. Poult. Sci.* 9:1146–1151.
- Austic, R. E. 1994. Update on amino acid requirements and ratios for broilers. *Proc. Maryland Nutr. Conference*, 114–120, University of Maryland, College Park.
- Baker, D. H., A. B. Batal, T. M. Parr, N. R. Augspurger, and C. M. Parsons. 2002. Ideal ratio (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine, and valine for chicks during the second and third week posthatch. *Poult. Sci.* 81:485–494.
- Berres, J., S. L. Vieira, M. T. Kidd, D. Taschetto, D. M. Freitas, R. Barros, and E. T. Nogueira. 2010. Supplementing L-valine and L-isoleucine in low-protein corn and soybean meal all-vegetable diets for broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 19:373–379.
- Coneglian, J. L. B., S. L. Vieira, J. Berres, and D. Moreira de Freitas. 2010. Responses of fast and slow growth broilers fed all-vegetable diets with variable ideal protein profiles. *R. Bras. Zootec.* 39:327–334.
- Coon, C. 2004. The ideal amino acid requirements and profile for broilers, layers, and broiler breeders. American Soybean Association, St. Louis, MO.
- Corzo, A., W. A. Dozier III, R. E. Loar II, M. T. Kidd, and P. B. Tillman. 2010. Dietary limitation of isoleucine and valine in diets based on maize, soybean meal, and meat and bone meal for broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 51:558–563.
- Corzo, A., M. T. Kidd, W. A. Dozier III, and S. L. Vieira. 2007. Marginality and needs of dietary valine for broilers fed certain all-vegetable diets. *J. Appl. Poult. Res.* 16:546–554.
- Corzo, A., M. T. Kidd, M. D. Koter, and S. C. Burgess. 2005. Assessment of dietary amino acid scarcity on growth and blood plasma proteome status of broiler chickens. *Poult. Sci.* 84:419–425.
- Corzo, A., R. E. Loar II, and M. T. Kidd. 2009. Limitations of dietary isoleucine and valine in broiler chick diets. *Poult. Sci.* 88:1934–1938.
- CVB. 2010. Tabellenboek Veevoeding 2010. Productschap Diervoeder, Den Haag, the Netherlands.
- Dozier, W. A., III, A. Corzo, M. T. Kidd, and M. W. Schilling. 2008. Dietary digestible lysine requirements of male and female broilers from forty-nine to sixty-three days of age. *Poult. Sci.* 87:1385–1391.
- Dozier, W. A., III, P. Tillman, and J. Usry. 2011. Interactive effects of digestible Val and Ile ratios with Ross x Ross 708 male broilers from 26 to 41 d of age. Pages 105–107 in 18th Symposium on Poultry Nutrition, October 31 to November 4, 2011, Cesme, Izmir, Turkey.
- Edmonds, M., and D. Baker. 1987. Amino acid excesses for young pigs: Effects of excess methionine, tryptophan, threonine or leucine. *J. Anim. Sci.* 64:1664–1671.
- Escobar, J., J. Frank, A. Suryawan, H. Nguyen, and T. Davis. 2007. Amino acid availability and age affect the leucine stimulation of protein synthesis and eIF4F formation in muscle. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 293:E1615–E1621.
- Escobar, J., J. Frank, A. Suryawan, H. Nguyen, S. Kimball, and L. Jefferson. 2005. Physiological rise in plasma leucine stimulates

- muscle protein synthesis in neonatal pigs by enhancing translation initiation factor activation. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 288:E914–E921.
- Evonik. 2010. AMINO Dat 4.0. Platinum Version. Evonik Degussa Ltd., Health & Nutrition, Hanau-Wolfgang, Germany.
- Farran, M. T., and O. P. Thomas. 1992a. Valine deficiency. 1. The effect of feeding a valine-deficient diet during the starter period on performance and feather structure of male broiler chicks. *Poult. Sci.* 71:1879–1884.
- Farran, M. T., and O. P. Thomas. 1992b. Valine deficiency. 2. The effect of feeding a valine-deficient diet during the starter period on performance and leg abnormality of male broiler chicks. *Poult. Sci.* 71:1885–1890.
- Garcia, A. R., A. B. Batal, and D. H. Baker. 2006. Variations in the digestible lysine requirement of broiler chickens due to sex, performance parameters, rearing environment, and processing yield characteristics. *Poult. Sci.* 85:498–504.
- Gatnau, R., D. N. Zimmerman, M. Wannemuehler, and R. Erwan. 1995. Effects of excess dietary leucine and leucine catabolites on growth and immune responses in weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 73:159–165.
- Gebhardt, G. 1966. Die Bewertung der Eiweißqualität von Nahrungs- und Futtermitteln mit Hilfe des N-Bilanzversuches. Pages 323–348 in *Vergleichende Ernährungslehre des Menschen und seiner Haustiere*. A. Hock, ed. Gustav Fischer Verlag, Jena, Germany.
- Gous, R. M., and T. R. Morris. 1985. Evaluation of a diet dilution technique for measuring the response of broiler chickens to increasing concentrations of lysine. *Br. Poult. Sci.* 26:147–161.
- GRRS. [German Recommendations for Requirement Standards (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie)]. 1999. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). 7. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Germany.
- Han, Y., and D. H. Baker. 1991. Lysine requirements of fast- and slow-growing broiler chicks. *Poult. Sci.* 70:2108–2114.
- Harper, A., D. Benton, and C. Elvehjem. 1955. L-Leucine, an isoleucine antagonist in the rat. *Arch. Biochem. Biophys.* 57:1–12.
- Harper, A., R. Miller, and K. Block. 1984. Branched-chain amino acid metabolism. *Annu. Rev. Nutr.* 4:409–454.
- Kidd, M. T., D. J. Burnham, and B. J. Kerr. 2004. Dietary isoleucine responses in male broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 45:67–75.
- Kirchgessner, M., M. Kreuzer, and H. Steinhart. 1987. Wirkungen unterschiedlicher Energie- und Proteingehalte in der Ration auf den Ansatz einzelner Aminosäuren beim Broiler. *Landwirtsch. Forschung* 40:181–195. (in German).
- Leclercq, B. 1998. Specific effects of lysine on broiler production: Comparison with threonine and valine. *Poult. Sci.* 77:118–123.
- Lemme, A., V. Ravindran, and W. L. Bryden. 2004. Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. *World's Poult. Sci. J.* 60:423–438.
- Liebert, F., and K. Benkendorff. 2007. Modeling lysine requirements of *Oreochromis niloticus* due to principles of the diet dilution technique. *Aquaculture* 267:100–110.
- Liebert, F., and C. Wecke. 2008. Models for further developing the evaluation of protein and amino acids as well as for predicting performance from energy and amino acids intake. Pages 219–230 in *Recommendations for the Supply of Energy and Nutrients to Pigs*. Committee for Requirement Standards of Society of Nutrition Physiology. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt, Germany.
- Mack, S., D. Bercovici, G. de Groot, B. Leclercq, M. Lippens, M. Pack, J. B. Schutte, and S. van Cauwenberghe. 1999. Ideal amino acid profile and dietary lysine specification for broiler chicken of 20 to 40 days of age. *Br. Poult. Sci.* 40:257–265.
- Naumann, K. and R. Bassler. 1976–1997. *VDLUFA-Methodenbuch III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln*. VDLUFA-Verlag. Darmstadt, Germany.
- NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Pastor, A., and F. Liebert. 2011. Inclusion of metabolic availability of amino acids is needed for protein evaluation of processed plant protein sources. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 20:29. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Germany.
- Pastor, A., and F. Liebert. 2012. N-utilization parameters are modulated when semi-synthetic mixtures with new protein sources are blended with a commercial feed for laboratory rats. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 21:42. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Germany.
- Peisker, M., M. Rimbach, and F. Liebert. 2000. Maximum protein deposition of growing chicken of different genotype and age. *Proc. Aust. Poult. Sci. Sym.* 12:93–96.
- Rhône-Poulenc Animal Nutrition. 1993. *RHODIMENT™ Feed Formulation Guide*. 6th ed. Antony Cedex, France.
- Rostagno, H. S., ed. 2005. *Brazilian tables for poultry and swine*. 2nd ed. Federal University of Viçosa, Brazil.
- Roth, F. X., M. Kirchgessner, M. Ristic, M. Kreuzer, and E. M. Maurus-Kukral. 1990. Aminosäurezusammensetzung des Brustfleisches von Broilern. Veränderung während der verlängerten Mast in Abhängigkeit von Protein- und Energiezufuhr (Amino acid pattern of breast meat of broilers. Changes during extended finishing in relation to protein and energy intake). *Fleischwirtschaft* 70:608–612. (in German).
- Samadi, and F. Liebert. 2006a. Estimation of nitrogen maintenance requirements and potential for nitrogen deposition in fast-growing chickens depending on age and sex. *Poult. Sci.* 85:1421–1429.
- Samadi, and F. Liebert. 2006b. Modeling threonine requirement depending on age, protein deposition, dietary threonine efficiency and sex of fast growing chickens. *Poult. Sci.* 85:1961–1968.
- Samadi, and F. Liebert. 2007a. Lysine requirement of fast growing chickens—Effect of age, sex, level of protein deposition and dietary lysine efficiency. *Jpn. Poult. Sci.* 44:63–72.
- Samadi, and F. Liebert. 2007b. Threonine requirement of slow growing male chickens depends on age and dietary efficiency of threonine utilization. *Poult. Sci.* 86:1140–1148.
- Samadi, and F. Liebert. 2008. Modelling the optimal lysine to threonine ratio in growing chickens depending on age and efficiency of dietary amino acid utilization. *Br. Poult. Sci.* 49:45–54.
- Sklan, D., and Y. Noy. 2005. Direct determination of optimal amino acid intake for maintenance and growth in broilers. *Poult. Sci.* 84:412–418.
- Thong, H. T., and F. Liebert. 2004. Potential for protein deposition and threonine requirement of modern type barrows fed graded levels of protein with threonine as the limiting amino acid. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 88:196–203.
- Wecke, C., and F. Liebert. 2009. Lysine requirement studies in modern genotype barrows dependent on age, protein deposition and dietary lysine efficiency. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 93:295–304.
- Wecke, C., and F. Liebert. 2010. Optimal dietary lysine to threonine ration in pigs (30–110 kg BW) derived from observed dietary amino acid efficiency. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 94:e277–e285.
- Wecke, C., and F. Liebert. 2013. Improving the reliability of optimal in-feed amino acid ratios based on individual amino acid efficiency data from N balance studies in growing chicken. *Animals* 3:558–573.
- Wilson, F. A., A. Suryawan, M. Gazzaneo, R. Orellana, J. Frank, and H. Nguyen. 2010. Stimulation of muscle protein synthesis by prolonged parenteral infusion of leucine is dependent on amino acid availability in neonatal pigs. *J. Nutr.* 140:264–270.
- Wiltafsky, M. K., J. Bartelt, C. Relandeau, and F. X. Roth. 2009. Estimation of the optimum ratio of standardized ileal digestible isoleucine to lysine for eight- to twenty-five- kilograms pigs in diets containing spray-dried blood cells or corn gluten feed as a protein source. *J. Anim. Sci.* 87:2554–2564.
- Wiltafsky, M. K., M. Pfaffl, and F. Roth. 2010. The effects of branched-chain amino acids interactions on growth performance, blood metabolites, enzymes kinetics and transcriptomics in weaned pigs. *Br. J. Nutr.* 103:964–976.
- WPSA (World's Poultry Science Association). 1984. The prediction of apparent metabolizable energy values for poultry in compound feeds. *World's Poult. Sci. J.* 40: 181–182.
- Wu, G. 1998. Intestinal mucosal amino acid catabolism. *J. Nutr.* 128:1249–1252.

Publikation III

**VALIDATION OF THE LYSINE REQUIREMENT IN MODERN
GENOTYPE GROWING CHICKENS AS REFERENCE AMINO AC-
ID FOR IDEAL IN-FEED AMINO ACID RATIOS**

VON/BY:

A. PASTOR, C. WECKE UND F. LIEBERT

Prepared for Submission

1 LYSINE REQUIREMENT IN ROSS 308 CHICKENS

2 **Validation of the Lysine Requirement in Modern Genotype Growing Chicken as Refer-**
3 **ence Amino Acid for Ideal in-feed Amino Acid Ratios**

4 A. Pastor, C. Wecke and F. Liebert²

5 Georg-August-University of Goettingen, Division Animal Nutrition and Physiology,

6 Kellnerweg 6, 37077 Goettingen, Germany

7 Telephone number: 0049 - 551 - 3933332

8 Fax number: 0049 - 551 - 3933343

9

10

² Corresponding author: Frank Liebert (flieber@gwdg.de)

11 **ABSTRACT**

12 An N balance study was conducted with male growing broiler chickens to determine the ly-
13 sine (Lys) -requirement of a modern broiler strain (Ross308). Eight diets with graded levels of
14 protein (6-34% CP as-fed) were used (n=8-12). Wheat, wheat gluten, fishmeal and soy protein
15 concentrate served as proteogenic feed ingredients. Lys was the limiting AA in all experi-
16 mental diets. Following an adaptation period of five days, two consecutive collection periods
17 were conducted: 10-20d of age (starter period) and 25-35d of age (grower period). Each col-
18 lection period was divided into two collection periods (2 x 5d), which resulted in a twofold
19 sample size. N balance data was evaluated by application of a nonlinear N utilization model.
20 Hence, the Lys-efficiency could be obtained. This enabled a profound assessment of the Lys-
21 requirement as a function of a varying CP-deposition (g/d) and body weight. Furthermore, the
22 influence of a varying feed intake (g/d) was taken into account. For starter and grower period,
23 an average body weight of 500 and 1500g were assumed. For the starter period, a Lys-
24 requirement (mg/d) of 690; 803 and 931 was determined for a daily CP-deposition of 9; 10
25 and 11g, respectively. For the grower period, a Lys-requirement of 1390; 1501 and 1619mg/d
26 was concluded for a daily CP-deposition of 17; 18 and 19g, respectively.

27

28

29

30

31

32

33

34 **Key words:** lysine, ideal amino acid ratio, nitrogen utilisation model, growing chicken

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

INTRODUCTION

54 Nowadays, meat type chicken nutritionists face many problems. While the animals are
55 supposed to achieve high yields of protein deposition, minimized nitrogen (N) excretions per
56 unit deposition are requested at the same time.

57 One approach to realize these nutritional aims is the concept of the Ideal Amino Acid Ra-
58 tio (**IAAR**) which was first introduced by Cole et al. (1980) and was then included in the nu-
59 trient requirements of pigs by the British Agricultural Research Council (ARC, 1981). But
60 even before the 1980s, nutritionists emphasized the importance of an “ideal protein” and its
61 contribution for an effective livestock production (Almquist and Grau, 1944; Oser, 1951;
62 Dean and Scott, 1965). Nowadays, the concept is widely accepted in poultry nutrition as re-
63 viewed by Baker (2003). The individual indispensable amino acids (**AAs**) are related to a ref-
64 erence AA (= 100%), mostly lysine (**Lys**). All feed AAs are supplied exactly in the amount
65 needed by the animal for maintenance and performance (e.g. protein deposition). As no AA is
66 supplied in a limiting or excessive amount, urea acid production is decreased, leading to an
67 enhanced N utilization on the one hand and a decreased metabolic burden on the other, result-
68 ing overall in an increased productivity and animal welfare.

69 Once the ratio between the indispensable AAs and the reference AA are established, the
70 requirement has only to be assessed for the reference AA under specific conditions (e.g. envi-
71 ronment, housing, strain). Normally, lysine (**Lys**) is chosen as reference AA, according to its
72 role as limiting AA in feedstuffs. In addition, chemical analysis is mostly standardized and the
73 AA is almost exclusively utilized for protein accretion (Baker et al., 2000).

74 Many reports evaluated the Lys requirement of meat type chickens. However, studies with
75 actual genotypes of meat-type chickens are scarce. In addition, current applications of non-
76 linear modeling procedures to derive IAARs (Samadi and Liebert, 2008; Liebert, 2013; Pastor
77 et al., 2013; Wecke and Liebert, 2013) make use of Lys as reference AA and need updated

78 Lys requirement data. Current recommendations are based on total AAs (NRC, 1994; GRRS,
79 1999; Vazquez and Pesti, 1997; Labadan et al., 2001; Corzo et al., 2005; Sklan and Noy,
80 2005), or on digestible (Emmert and Baker, 1997; Dozier III et al., 2009), true digestible
81 (Barboza et al., 2000) or standardized ileal digestible basis (Evonik, 2011). In total, recom-
82 mended in-feed concentrations differ widely between 0.98-1.32% and 0.87-1.15% for starter
83 and grower period, respectively.

84 The aim of the present study was to reevaluate the age dependent Lys requirement of male
85 broiler chickens to enable the further application of the modeling procedure as a prediction
86 device for improving the IAAR concept (Austic, 1994; Mack et al., 1999; Baker et al., 2002;
87 Taherkhani et al., 2005; 2008) in modern genotype meat-type chickens.

88 **MATERIALS AND METHODS**

89 *Housing and Management*

90 The N balance studies were conducted at the facilities of the Division Animal Nutrition
91 Physiology, Georg-August-University of Goettingen, Germany, and approved by the Lower
92 Saxony Federal Office for Consumer Protection and Food Safety (LAVES).

93 Experiments were divided into two age periods (I; 10-20d of age, 36 chickens; II; 25-35d
94 of age, 36 chickens) and utilized 72 male growing chickens (Ross 308) in total. Prior to the
95 two consecutive collection periods (5d each), a 5-d adaptation period was carried out. Birds
96 were randomly allotted to experimental diets and housed individually in metabolic cages,
97 which differed in floor size for starter period (25 x 30 cm) and grower period (80 x 80 cm),
98 respectively. Each metabolic cage was equipped with a wire floor, an individual feeder and an
99 automatic drinking system. Housing temperature was maintained at 32°C (day-old chicken)
100 and continuously decreased to 20°C until the end of the experimental period. Light was pro-
101 vided for 24 hours per day.

102 *Sample Collection*

103 Two consecutive quantitative collection periods (5d each) were conducted in each age pe-
104 riod, resulting in a twofold sample size. Excreta were collected every 12 hours and stored at -
105 20°C until further analysis. Prior to excreta collection, feathers and spilled feed pellets were
106 carefully removed. Spilled feed was quantified for correction of daily feed intake.

107 *Diets and Feeding*

108 According to the principles of the applied approach, the AA under investigation needs to
109 be in a limiting position. In consequence, after making use of a feed optimizing program (Hy-
110 brimin, 2003) the ingredients wheat, wheat gluten, soybean concentrate (**SPC**), and fishmeal
111 were selected as protein sources. Due to the expected high Leu content, corn was excluded as
112 protein source. Finally, a high protein summit diet (N8) was supplemented with crystalline
113 AAs to achieve a limiting position for Lys (Table 1). The summit diet was stepwise diluted
114 with wheat starch to yield eight diets with graded crude protein supply (6.4 - 37.8% CP in
115 DM). All experimental diets consisted of the equal AA pattern (Gous and Morris, 1985) inde-
116 pendent of dietary protein level and age period (Table 1). The high starch content in diets N1
117 and N2 yielded difficulties in pelletizing. In consequence, all experimental diets were exclu-
118 sively fed as meal.

119 The dietary AA pattern of the experimental diets (Table 1) was based on the averaged
120 IAAR as reported by Wecke and Liebert (2013) and extended by additional recommendations
121 (Rostagno, 2005; Sklan and Noy, 2005; Coneglian et al., 2010; CVB, 2010; Evonik, 2010).
122 Vitamins and minerals were added to meet or exceed NRC (1994) recommendations. All ex-
123 perimental diets were supplemented with phytase (ZY PHYTASE 5.000, activity per g: 5,000
124 FYT 6-Phytase, EC 3. 1.3.26, Lohmann Animal Health, Cuxhaven, Germany) and xylanase
125 (ZY 68, activity per g. 1000 FXU Endo-1,4-beta-Xylanase, EC 3.2.1.8, Lohmann Animal
126 Health, Cuxhaven, Germany). During N balance studies, birds were slightly feed-restricted to

127 minimize spillage and contamination with excreta. Feed intake was under daily control and
128 adapted to birds' needs as described by Samadi and Liebert (2008).

129

130 *Analytical Procedures*

131 Diets were ground to 1mm and analyzed for N, DM, starch, sugar and fat, according to Ger-
132 man Standards (VDLUFA, Naumann and Bassler, 1976-1997). AA content of the protein
133 sources was analyzed by ion-exchange chromatography (Biochrom30, ONKEN Ltd.,
134 Gruendau, Germany) following acid hydrolysis both with and without the oxidation step for
135 quantitative determination of sulphur-containing amino acids. The AA content of the final
136 diets was calculated based on the analyzed AA content for each of the ingredients. This pro-
137 cedure is widely accepted to minimize the effects of variability of analyzed AAs in final feed
138 samples on data assessment. Nutrient composition of all experimental diets is shown in Table
139 1.

140 Excreta were carefully defrosted and homogenized. Subsequently, representative samples
141 were taken and analyzed for N according to the DUMAS method (TruMac®, LECO,
142 Moenchengladbach, Germany) and for DM, according to German Standards (VDLUFA,
143 Naumann and Bassler, 1976-1997). Calculation of CP was based on the factor 6.25 from the
144 N content.

145 *Statistical Analysis*

146 Data analysis utilized current applications of an exponential N utilisation model (Samadi
147 and Liebert, 2006a,b, 2007a,b, 2008; Liebert and Wecke, 2008; Pastor et al., 2013; Wecke
148 and Liebert, 2009, 2010, 2013) based on the fundamental work of Gebhardt (1966):

149

$$150 \quad \text{NR} = \text{NR}_{\max} T (1 - e^{-b \cdot \text{NI}}) \quad [1]$$

$$151 \quad \quad \quad ND = NR - NMR \quad \quad \quad [2]$$

152 wherein NR is the daily N retention (mg/BW_{kg}^{0.67}); NR_{max}T is the theoretical maximum for
 153 daily N retention (mg/BW_{kg}^{0.67}); e is the basic number of natural logarithm (ln); b is the slope
 154 of the N retention curve (indicating the feed protein quality independent of N intake); NI is
 155 the daily N intake (mg/BW_{kg}^{0.67}); ND is the daily N deposition (mg/BW_{kg}^{0.67}); and NMR is
 156 the daily N maintenance requirement (mg/BW_{kg}^{0.67}).

157 The actual model parameters NR_{max}T and NMR were estimated within this experiment and
 158 are summarized in Table 4. Additional data were reported elsewhere (Pastor et al. 2013).

159 Earlier reports (Liebert and Gebhardt, 1980, 1986) stated that the concentration (*c*) of the
 160 limiting amino acid (LAA) in the feed protein and the resulting dietary protein quality (model
 161 parameter *b*) are linearly related. In consequence, quotient bc^{-1} defines the the slope of the
 162 linear relationship and indicates the efficiency of the LAA in the diet (Thong and Liebert,
 163 2004a,b,c; Samadi and Liebert, 2006), taking into account digestion, absorption and post-
 164 absorptive AA utilization. Data analysis is based on total AA, but considers the observed AA
 165 efficiency.

166 Logarithmization and transformation of Equation [1] leads to Equation [3], which allows
 167 to establish the amino acid requirement of the LAA (Liebert and Gebhardt, 1986; Thong and
 168 Liebert, 2004a,b,c; Samadi and Liebert, 2006b, 2007a):

$$169 \quad \quad \quad LAAI = [\ln NR_{max}T - \ln(NR_{max}T - NR)] : 16bc^{-1} \quad \quad \quad [3]$$

170 Wherein LAAI is the daily intake of the LAA (mg/BW_{kg}^{0.67}) depending on performance and
 171 AA efficiency; ln is the natural logarithm; NR is the daily N retention (ND + daily N mainte-
 172 nance requirement; mg/BW_{kg}^{0.67}); bc^{-1} is the slope between *c* and *b* (model parameter, indicat-
 173 ing the efficiency of utilisation of the dietary LAA), *b* is the dietary protein quality and *c* is
 174 the concentration of the LAA in the feed protein (g/100g of CP).

175 Experimental data are presented as mean values ± standard errors of the means. Statistical

176 analyses ($P \leq 0.05$) were carried out using the SPSS statistical software package (version 19.0
177 for Windows, IBM SPSS Statistics, Inc. Chicago, IL). Data were subjected to a verification of
178 variance homogeneity according to Levene test following Tukey or Games-Howell post-hoc
179 tests.

180 RESULTS AND DISCUSSION

181

182 During the starter period, two birds of experimental group N2 (10.8% CP) refused feed
183 intake. Leading to a small sample size within this respective group, the whole group was
184 excluded from the study.

185 **Diet composition.** High concentrations of wheat starch were necessary to achieve the
186 graded levels of dietary protein. An even higher wheat starch content would have been re-
187 quired to yield the intended dietary ratios for Leu, His and Phe+Tyr, thereby leading to an
188 overall increase of crystalline AA. To prevent extended problems of decreased or refused
189 feed intake, somewhat higher dietary ratios compared to Lys (=100%) were accepted (Ta-
190 ble 1). Starch, crude fat, crude fiber and crude ash content (g/kg DM) varied between
191 302.28 – 744.50; 14.30 – 130.07; 7.81 – 25.50 and 44.39 – 67.70 in starter and grower di-
192 ets, respectively (Table 2).

193 **N balance data.** As expected, N balance data increased significantly ($P < 0.05$) with
194 graded protein supply within each age period (Table 4). Furthermore, N excretion increased
195 significantly ($P < 0.05$) with increasing N intake.

196 **Model parameters and lysine requirement.** While the $NR_{\max}T$ decreased with advanc-
197 ing age, the opposite could be shown for the NMR (Table 3). This was also observed by
198 Samadi and Liebert (2006a), although they used a different genetic (Cobb 500). No signifi-
199 cant differences could be found for protein quality (b value) and AA-efficiency (bc^{-1} value)
200 within each age period ($P < 0.05$, Table 4). Furthermore, no big differences were found for

201 the observed bc^{-1}_{LYS} values between starter and grower period (41 and 42, respectively). In
202 contrast, Samadi and Liebert (2006b) observed distinct differences for the bc^{-1}_{LYS} value
203 among single age periods. The authors obtained bc^{-1}_{LYS} values of 76 and 91 for starter (d10-
204 25) and grower (d30-45) period, respectively. As the model parameter bc^{-1} describes digest-
205 ibility, absorption and utilization, it is highly influenced by the applied feed ingredients, i.e.
206 protein sources. While Samadi and Liebert (2006b) used HP soybean meal as a single feed
207 protein source, in the experiment presented herein, several protein sources (wheat, soy pro-
208 tein concentrate, wheat gluten fishmeal) were used. Additionally, Samadi and Liebert used
209 slightly different age periods and obtained different values for NR_{maxT}
210 (3,844mg/BW_{kg}^{0.67}/d and 2,975mg/BW_{kg}^{0.67}/d) and NMR (252mg/BW_{kg}^{0.67}/d and
211 252mg/BW_{kg}^{0.67}/d) for starter and grower period, respectively, which are necessary to cal-
212 culate model parameter b . Hence, the bigger the difference for the NR_{maxT} value between
213 starter period is, the more distinctive will be the difference for b between starter and grower
214 period and consequently for bc^{-1} .

215 The modeled Lys requirement, depending on age, observed Lys efficiency, CP deposi-
216 tion and assumed daily feed intake is summarized in Table 5. As expected, Lys requirement
217 (mg/d) per metabolic body weight decreased with increasing age, while the absolute daily
218 Lys requirement (mg/d) increased for birds during the grower period compared to starter
219 period. We suggested between 50-60% of ND_{maxT} as daily CP deposition to adjust the cal-
220 culations to practical performance conditions. Furthermore, we made assumptions regard-
221 ing the daily feed intake. Therefore, average daily feed intake data were taken specifically
222 taken for Ross 308 genetics from Aviagen (2012) for the respective growth period.

223 During age period I (d10-20), a Lys requirement of 1.15% was calculated to achieve a
224 daily CP deposition of 10g (55% of ND_{maxT}), assuming a daily feed intake of 70g. The
225 needed in-feed concentration of Lys changed distinctively for the same CP deposition, if
226 another feed intake was assumed. For instance increased the yielded optimal Lys concentra-

227 tion by 16% (1.34% Lys), if the daily feed intake was decreased to 60g. On the other hand,
228 the Lys concentration was decreased to 1.00%, if a daily feed intake of 80g was assumed.
229
230 Similar results were obtained in age period II (d25-35). For the observed Lys efficiency (bc^{-1}
231 Lys) and a daily CP deposition of 18g (50% of $ND_{max}T$), an optimal Lys in-feed concentra-
232 tion of 1.00% was yielded for an assumed daily feed intake of 150g. Again, higher, respec-
233 tively lower, Lys concentrations were necessary, if the daily feed intake decreased or in-
234 creased.

235 Samadi and Liebert (2008) used the same method and genotype (male Ross 308) as de-
236 scribed in the experiment herein. The authors stated an optimal Lys content in the diet of
237 1.51% and 1.32% for starter (10g daily CP deposition, 60g daily feed intake) and grower
238 period (19g daily CP deposition, 150g feed intake), respectively. These observed values
239 were higher than the obtained results in the current study - 1.34% and 1.08% for starter and
240 grower period, respectively, supposing the same supposed performance data.

241 Samadi and Liebert (2006b) showed that a varying bc^{-1} value strongly affected the de-
242 rived requirement data. For a better understanding, a model calculation was carried out
243 (Table 7). Based on the current N balance data and c values, two different $NR_{max}T$ values
244 were assumed and their effect on Lys efficiency (bc^{-1}^{Lys}), protein quality (b) and required
245 in-feed Lys concentration (%). The first $NR_{max}T$ variation was based on the actual $NR_{max}T$,
246 less ten per cent, while the second variation was based on the $NR_{max}T$ as observed by
247 Samadi and Liebert (2008) for male Ross 308 chickens. Hence, the actual $NR_{max}T$ dis-
248 played the highest value (4705 mg N/BW_{kg}^{0.67}/d for starter and 4516 mg N/BW_{kg}^{0.67}/d for
249 grower period), followed by the ten per cent reduction (4235 and 4064 mg N/BW_{kg}^{0.67}/d)
250 and by the $NR_{max}T$ obtained by Samadi and Liebert (2008): 3876 and 3005 mg
251 N/BW_{kg}^{0.67}/d. The model calculation showed that the lowest $NR_{max}T$ (Samadi and Liebert,
252 2008) resulted in the highest b value (268 vs. 235 vs. 203 and 421 vs. 242 vs. 209 for start-

er and grower period, respectively) and consequently in the highest bc^{-1} value (54 vs. 47 vs. 41 and 84 vs. 49 vs. 42). Logically, the more distinctive the differences for the $NR_{\max}T$ between starter and grower period had been, the bigger were the differences between starter and grower period for the derived b and bc^{-1} values within one variation. Furthermore, it could be observed that the lowest $NR_{\max}T$ led to the highest Lys-requirement, followed by the actual $NR_{\max}T$ less ten per cent, while the actual and highest $NR_{\max}T$ required the lowest Lys-requirement. The different Lys-requirements became more evident, if a higher CP deposition (g/d) was yielded. While the differences of the variations were very little and well comparable for a daily CP deposition of 9g/17g, they became more distinctive for a daily CP deposition of 11g/19g and varied $\pm 10\%$. This was observed in the starter as well as in the grower phase. Hence, the $NR_{\max}T$ had an impact on the derived Lys requirement, if high performance targets should be achieved. Therefore, the $NR_{\max}T$ -value should be updated from time to time to keep up with breeding progress and the newly derived $NR_{\max}T$ could be included into an database of $NR_{\max}T$ s. Havenstein et al. (2003a, b) compared a broiler strain from 1957 (Athens-Canadian Rando bred Control (ACRBC)), which is still in existence and was not improved genetically compared to a popular 2001 broiler strain, the Ross 308, with regard to growth and feed conversion. From 1957 to 2001, mainly genetics (85-90% contribution) and nutrition (10-15%) led to a broiler that required one-third the time (32 vs. 101d) and over a threefold decrease in the amount of feed consumed (FC of 1.47 vs. 4.42) to produce an 1,815-g broiler. This study shows impressively the fast breeding progress in broiler chickens and underlines the importance to reevaluate the $NR_{\max}T$ for current broiler strains from time to time, e.g. every five years.

The current Lys recommendations presented herein are based on a given body weight (500g and 1500g, respectively), which might lead to discrepancies between the results obtained in the current experiment and earlier published results. However, Wecke and Liebert (2009) already pointed out that the slope of the exponential function [1] for low NI is very

279 similar at different body weights. Function [4] enables to assess the amino acid efficiency
 280 (bc^{-1}) independent on body weight:

$$281 \quad \text{NR}_{\max T} \cdot bc^{-1} \quad [4]$$

282 Table 3 shows that the amino acid efficiency of Lys (bc^{-1}_{LYS}) between the two age periods
 283 were indeed constant and therefore, an influence of the chosen body weight on derived Lys
 284 efficiency parameters and Lys requirement could be excluded.

285 Several aspects hinder a direct comparison between different AA recommendations: First-
 286 ly, different response criteria were chosen, e.g. either maximum body weight gain, maximum
 287 breast yield, or lowest feed conversion ratio (**FCR**), etc. Apparently, Lys exhibits a pro-
 288 nounced effect on these parameters, in comparison to other indispensable AAs, like threonine
 289 and valine (Leclercq, 1998). Previously published reports showed that the Lys requirement for
 290 maximum is lower than the requirement for FCR (Leclercq, 1998). For instance, the require-
 291 ment for digestible Lys for maximum weight gain was 1.01% in the diet, while for a maxi-
 292 mum gain : feed ratio an in-feed concentration of digestible Lys of 1.21% was needed during
 293 the starter period (Han and Baker, 1991).

294 Secondly, different reference bases were chosen to express Lys requirement recommenda-
 295 tions- either the total Lys requirement (NRC, 1994; Vazquez and Pesti, 1997; GRRS, 1999;
 296 Sklan and Noy, 2005; Samadi and Liebert, 2006b; 2007a; 2008), or digestible Lys (Corzo et
 297 al., 2005; Dozier III et al., 2009), or on a true digestible basis (Barboza et al., 2000). Some-
 298 times, the authors stated both the total Lys requirement recommendation and the digestible
 299 Lys requirement (Kidd and Fanter, 2001; Labadan et al., 2001; Emmert and Baker, 1997).
 300 Cecectomized, adult cockerels are mostly used to establish true digestibility values of
 301 feedstuffs (e.g. Han and Baker, 1991). It is questionable, if these data, generated with adult
 302 animals, are applicable to adolescent animals (ten Doeschate et al., 1993). Nowadays, it is
 303 thought that formulating AA recommendations on a precaecal basis is more accurate, as loss-

304 es during hindgut fermentation are excluded. Nonetheless, the potency of an AA does not just
305 include digestion, but also absorbability and utilisation of the absorbed AA. For instance, Wu
306 (1998) pointed out that a bigger part of arginine, proline, the branched-chain amino acids, and
307 maybe methionine, lysine, phenylalanine, threonine, glycine and serine are degraded in the
308 small intestinal mucosa. 30%-50% of these AAs are not available for extraintestinal tissues
309 (Wu, 1998; Stoll und Burrin, 2006).

310 Although the N utilization model presented herein stated the Lys requirement recommenda-
311 tions on total basis, it takes into account digestibility, absorption and utilization and might
312 therefore be more accurate.

313 Thirdly, different mathematical approaches are used for deriving AA recommendations
314 which were shown to have a great effect on the observed AA requirements (Barbour et al.,
315 1993; Latshaw, 1993; Leclercq, 1998). For instance, Latshaw (1993) used two different statis-
316 tical evaluation methods for the same data to derive the dietary Lys concentration for broiler
317 chicks (d0-21). While the applied quadratic equation led to a needed concentration of 12.6g
318 total Lys/kg diet, the two slope method yielded only 11.9g Lys/kg diet for maximum gain.
319 Furthermore, (linear) regressions (Emmert and Baker, 1997; Labadan et al., 2001;Corzo et al.,
320 2005), (quadratic) broken-line models (Labadan et al., 2001; Dozier III et al., 2009), or meta-
321 analysis (NRC, 1994; GRRS, 1999; Vazquez and Pesti, 1997) were carried out to determine
322 AA recommendations, complicating a direct comparison between different studies.
323 Fourthly, different genetic strains (Cobb, Ross, Hubbarb) were used in previously published
324 reports which may also have an influence on the AA requirement.

325 Averaging the derived Lys in-feed concentrations of the current investigation for different
326 CP depositions and feed intakes, led to a required in-feed concentration of 1.17% total Lys for
327 the starter period and 1.01% total Lys for the grower period. These results are in good accord-
328 ance with earlier published reports from the NRC (1994; 1.1% Lys in the diet during the start-
329 er period and 1.0% Lys during the grower period), Emmert and Baker (1997; 1.23% and

330 1.07%, respectively), Kidd and Fancher (2001; 1.20% and 1.09%, respectively) and Sklan and
331 Noy (2005; 1.19% and 1.11%), who all have in common that they also stated their proposed
332 Lys requirement on a total basis.

333 In conclusion, the statistical model presented in the paper herein, allows calculating the re-
334 quired in-feed concentrations of Lys for different CP depositions and daily feed intakes.
335 Therefore, it enables a profound assessment of the Lys requirement, which can be further uti-
336 lised for an application within the IAAR concept. Averaging the derived Lys concentrations
337 led to a Lys recommendation for starter and grower period of 1.17% and 1.01% total Lys in
338 the diet, respectively.

339

340

REFERENCES

341 Almquist, H. J. and C. R. Grau. 1944. The amino acid requirement of the chick. J. Nutr. 28:
342 325-331.

343 Austic, R. E. 1994. Update on amino acid requirements and ratios for broilers. Proc. Maryland
344 Nutr. Conference, 114-120, University of Maryland, Maryland, U.S.A.

345 Aviagen. 2012. Ross 308 broiler: Performance objectives. <http://en.aviagen.com/ross-308/>

346 ARC (Agricultural Research Council). 1981. *The Nutrient Requirement of Pigs*. Common-
347 wealth Agricultural Bureaux, Slough, UK.

348 Baker, D. H., A. B. Batal, T. M. Parr, N. R. Augspurger and C. M. Parsons. 2002. Ideal ratio
349 (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine, and valine for chicks during
350 the second and third week posthatch. Poult. Sci. 81: 485-494.

- 351 Baker, D. H. 2003. Ideal amino acid patterns for broiler chicks. In: D’Mello, J. P. F. (Hrsg.):
352 *Amino Acids in Animal Nutrition*. Zweite Auflage. CABI Publishing, Wallingford,
353 UK.
- 354 Barbour, G., J. D. Latshaw and B. Bishop. 1003. Lysine requirement of broiler chickens as
355 affected by protein source and method of statistical evaluation. *Br. Poult. Sci.* 34: 747-
356 756.
- 357 Barboza, W. A., H. S. Rostagno, L. F. T. Albino and P. B. Rodrigues. 2000. Nutritional re-
358 quirement of digestible lysine for broiler chickens. *Rev. bras. zootec.* 29: 1098– 1102.
- 359 Cole, D. J. A., H. T. Yen und D. Lewis. 1980. The lysine requirements of growing and finish-
360 ing pigs – The concept of an ideal protein. In: Oslage, H. J. und K. Rohr (Editors.).
361 *Proceedings of the 3rd International Symposium on Protein Metabolism and Nutrition*.
362 Vol. II, EAAP, Braunschweig, Deutschland, pp. 658-668.
- 363 Coneglian, J. L. B., S. L. Vieira, J. Berres and D. Moreira de Freitas. 2010. Responses of fast
364 and slow growth broilers fed all vegetable diets with variable ideal protein profiles. *R.*
365 *Bras. Zootec.* 39: 327-334.
- 366 Corzo, A., M. T. Kidd, M. D. Koter and S. C. Burgess. 2005. Assessment of dietary amino
367 acid scarcity on growth and blood plasma proteome status of broiler chickens. *Poult.*
368 *Sci.* 84: 419-425.
- 369 CVB. 2010. *Tabellenboek Veevoeding 2010*. Productschap Diervoeder, Den Haag, The
370 Netherlands.
- 371 Dean, W. F. and H. M. Scott. 1965. The development of an amino acid reference diet for the
372 early growth of chicks. *Poult. Sci.* 44: 803-808.

- 373 Dozier III, W. A., A. Corzo, M. T. Kidd, P. B. Tillman and S. L. Branton. 2009. Digestible
374 lysine requirements of male and female broilers from fourteen to twenty-eight days of
375 age. *Poult. Sci.* 88: 1676- 1682.
- 376 Emmert, J. L. and D. H. Baker. 1997. Use of the ideal protein concept for precision formula-
377 tion of amino acid levels in broiler diets. *J. Appl. Poultry Res.* 6: 462-470.
- 378 Evonik. 2010. AMINO Dat 4.0. Platinum Version. Evonik Degussa Ltd., Health & Nutrition,
379 Hanau-Wolfgang, Germany.
- 380 Gebhardt, G. 1966. Die Bewertung der Eiweißqualität von Nahrungs- und Futtermitteln mit
381 Hilfe des N-Bilanzversuches. In: A. Hock, *Vergleichende Ernährungslehre des*
382 *Menschen und seiner Haustiere*, 323-348. Gustav Fischer Verlag, Jena, Germany.
- 383 Gous, R. M. and T. R. Morris. 1985. Evaluation of a diet dilution technique for measuring the
384 response of broiler chickens to increasing concentrations of lysine. *Brit. Poult. Sci.*
385 26:147-161.
- 386 GRRS [German Recommendations for Requirement Standards (Ausschuss für Bedarfsnor-
387 mender Gesellschaft für Ernährungsphysiologie)]. 1999. Empfehlungen zur Energie-
388 und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). 7. DLG-Verlag,
389 Frankfurt am Main, Germany.
- 390 Han, Y. and D. H. Baker. 1991. Lysine requirements of fast- and slow- growing broiler
391 chicks. *Poult. Sci.* 70: 2108-2114.
- 392 Havenstein, G. B., P. R. Feket and M. A. Qureshi. 2003a. Growth, livability, and feed conver-
393 sion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diet.
394 *Poult. Sci.* 82: 1500-1508.

- 395 Havenstein, G. B., P. R. Feket and M. A. Qureshi. 2003b. Carcass composition and yield of
396 1957 versus 2001 broilers when fed representative 195 and 2001 broiler diets. *Poult.*
397 *Sci.* 82:1509-1518.
- 398 Hybrimin, 2003. Fumi für Windows- Futteroptimierung, Vers. 3.9, HYBRIMIN® Computer
399 und Programme für den Agrarbereich. Hessisch Oldendorf, Germany.
- 400 Kidd, M. T. and B. I. Fancher. 2001. Lysine needs of starting chicks and subsequent effects
401 during the grower period. *J. Appl. Poult. Res.* 10: 385-393.
- 402 Labadan Jr., M. C., K.-N. Hsu and R. E. Austic. 2001. Lysine and arginine requirements of
403 broiler chickens at two-to three-week intervals to eight weeks of age. *Poult. Sci.* 80:
404 599-606.
- 405 Latshaw, J. D. 1993. Dietary lysine concentrations from deficient to excessive and the the
406 effects on broiler chicks. *Br. Poult. Sci.* 34: 951-958.
- 407 Leclercq, B. 1998. Specific effects of lysine on broiler production: comparison with threonine
408 and valine. *Poult. Sci.* 77: 118-123.
- 409 Liebert, F. and G. Gebhardt. 1980. Untersuchungen zum N-Umsatz wachsender Broiler in
410 Abhängigkeit von differenzierten Zulagen an DL-Methionin und Tanninsäure zu un-
411 terschiedlichen Ackerbohnsorten. *Arch. Tierernahr.* 30: 363-371.
- 412 Liebert, F. and G. Gebhardt. 1986. Ergebnisse zur Wirksamkeit und zum Bedarf an ausge-
413 wählten Aminosäuren beim wachsenden weiblichen Schwein. 1. Mitteilung: Ly-
414 sin. *Arch. Anim. Nutr.* 36: 1077-1086.
- 415 Mack, S., D. Bercovici, G. de Groote, B. Leclercq, M. Lippens, M. Pack, J. B. Schutte, and S.
416 van Cauwenberghe. 1999. Ideal amino acid profile and dietary lysine specification for
417 broiler chicken of 20 to 40 days of age. *Brit. Poult. Sci.* 40: 257 – 265.

- 418 NRC. 1994. Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington,
419 D.C., U.S.A.
- 420 Oser, B. L. 1951. Method of integrating essential amino acid content in the nutritional evalua-
421 tion of protein. J. Am. Diet. Ass. 27: 396-402.
- 422 Pastor, A., C. Wecke and F. Liebert. 2013. Assessing the age dependent optimal dietary
423 branched-chain amion acid ratio in growing chicken by application of a non-linear
424 modeling procedure. Poult. Sci. (accepted).
- 425 Rostagno, H. S. (ed.). 2005. *Brazilian tables for poultry and swine*. 2nd edition. Federal Uni-
426 versity of Viçosa, Brazil.
- 427 Samadi and F. Liebert. 2006a. Estimation of nitrogen maintenance requirements and potential
428 for nitrogen deposition in fast-growing chickens depending on age and sex. Poult. Sci.
429 85: 1421-1429.
- 430 Samadi and F. Liebert. 2006b. Modeling threonine requirement depending on age, protein
431 deposition , dietary threonine efficiency and sex of fast growing chickens. Poult. Sci.
432 85: 1961-1968.
- 433 Samadi and F. Liebert. 2007a. Lysine requirement of fast growing chickens - effect of age,
434 sex, level of protein deposition and dietary lysine efficiency. J. Poult. Sci. 44: 63-72.
- 435 Samadi and F. Liebert. 2007b. Threonine requirement of slow growing male chickens de-
436 pends on age and dietary efficiency of threonine utilisation. Poult. Sci. 86: 1140-1148.
- 437 Samadi and F. Liebert. 2008. Modelling the optimal lysine to threonine ratio in growing
438 chickens depending on age and efficiency of dietary amino acid utilisation. Brit. Poult.
439 Sci. 49: 45-54.

- 440 Sklan, D. and Y. Noy. 2005. Direct determination of optimal amino acid intake for mainte-
441 nance and growth in broilers. *Poult. Sci.* 84: 412-418.
- 442 Stoll, B. and D. G. Burrin. 2006. Measuring splanchnic amino acid metabolism in vivo using
443 stable isotopic tracers. *J. Anim. Sci.* 84E: E60-E72.
- 444 Taherkhani, R., M. Shivazad, M. Zaghari and A. Zare Shahneh. 2005. Male and female re-
445 sponse to different ideal amino acid ratios during the second and third weeks
446 posthatch. *Int. J. Poult. Sci.* 4: 563-567.
- 447 Taherkhani, R., M. Shivazad, M. Zaghari and A. Zare Shahneh. 2008. Comparison of differ-
448 ent ideal amino acid ratios in male and female broiler chickens of 21 to 42 days of age.
449 *J. Poult. Sci.* 45: 15-19.
- 450 Ten Doeschate, R. A. H. M., C. W. Scheele, V. V. A. M. Schreurs and J. D. van der Klis.
451 1993. Digestibility studies in broiler chickens: Influence of genotype, age, sex and
452 method of determination. *Br. Poult. Sci.* 34: 131-146.
- 453 Thong, H. T. and F. Liebert. 2004a. Potential for protein deposition and threonine require-
454 ment of modern genotype barrows fed graded levels of protein with threonine as the
455 limiting amino acid. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 88: 196-203.
- 456 Thong, H. T. and F. Liebert. 2004b. Amino acid requirement of growing pigs depending on
457 efficiency of amino acid utilisation and level of protein deposition. 1. Lysine. *Arch.*
458 *Anim. Nutr.* 58: 69-87.
- 459 Thong, H. T. and F. Liebert. 2004c. Amino acid requirement of growing pigs depending on
460 efficiency of amino acid utilisation and level of protein deposition. 2. Threonine. *Arch.*
461 *Anim. Nutr.* 58: 157-168.

462 Vazquez, M. and G. M. Pesti. 1997. Estimation of the lysine requirement of broiler chicks for
463 maximum body gain and feed efficiency. *J. Appl. Poultry Res.* 6: 241-246.

464 Wang, T.C. and M. F. Fuller. 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs.
465 1. Experiments by amino acid deletion. *Br. J. Nutr.* 62: 77-89.

466 Wecke, C. and F. Liebert. 2009. Lysine requirement studies in modern genotype barrows de-
467 pendent on age, protein deposition and dietary lysine efficiency. *J. Anim. Physiol.*
468 *Anim. Nutr.* 93: 295-304.

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482 Table 1: Dietary amino acid ratio assumed as IAAR¹ for the experiment² and amino acid
 483 composition of dietary protein (g AA/100g CP)

Literature	Dietary amino acid ratio (Lysine = 100%)									
	Lys	Met+Cys	Thr	Trp	Arg	Val	Ile	Leu	Phe+Tyr	His
IAAR	100	74	65	17	106	79	68	110	118	34
Experiment 1	5.89 ³ (100)	4.37 (74)	3.84 (65)	1.00 (17)	6.22 (106)	4.67 (79)	4.04 (69)	7.16 (122)	8.18 (139)	2.39 (41)

484 ¹Ideal amino acid ratio

485 ² Mean IAAR found in literature using selected reports (modified after Wecke and Liebert, 2013)

486 ³Lys concentration in the AA balanced diet to achieve dietary amino acid patterns near to the assumed ideal amino
 487 acid ratios. In all lysine limiting experimental diets (N1 – N8) the native lysine concentration amounted only 5.01 g
 488 per 100g CP to yield lysine as limiting AA

489

Table 2: Composition of experimental diets (g/kg).

Ingredient	Period I (10 – 20 d)								Period II (25 – 35 d)							
	N1 ¹	N2 ¹	N3 ¹	N4 ¹	N5 ¹	N6 ¹	N7 ¹	N8 ¹	N1 ¹	N2 ¹	N3 ¹	N4 ¹	N5 ¹	N6 ¹	N7 ¹	N8 ¹
Wheat starch	793.86	690.34	586.95	483.97	307.25	204.95	102.27	0.00	783.55	680.70	577.26	474.25	307.65	204.65	102.46	0.00
Wheat	72.35	120.59	168.82	217.06	265.29	313.53	361.76	409.56	72.35	120.59	168.82	217.06	265.29	313.53	361.76	409.56
Soy protein concentrate	61.76	102.94	144.12	185.29	226.47	267.65	308.82	350.00	61.76	102.94	144.12	185.29	226.47	267.65	308.82	350.00
Wheat gluten	10.46	17.44	24.41	31.38	38.36	45.33	52.31	59.28	10.46	17.44	24.41	31.38	38.36	45.33	52.31	59.28
Fish meal	6.43	10.72	15.01	19.29	23.58	27.87	32.15	36.44	6.43	10.72	15.01	19.29	23.58	27.87	32.15	36.44
Dicalciumphosphate	28.50	26.00	23.50	21.00	18.50	16.00	13.50	11.00	25.50	23.00	20.50	18.00	15.50	13.00	10.50	8.00
Soybean oil	10.00	13.50	17.00	20.30	97.00	99.50	102.50	105.34	26.00	29.00	32.50	35.60	102.50	105.50	108.00	111.00
Premix ²	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Sodium chloride	2.50	2.50	2.50	2.40	2.30	2.20	2.10	2.06	1.90	1.85	1.90	1.90	1.70	1.80	1.60	1.50
Calcium carbonate	2.30	3.20	4.00	4.70	5.70	6.50	7.20	8.00	0.20	1.00	1.8	2.60	3.40	4.20	5.00	5.90
Xylanase	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Phytase	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
DL-Met	0.90	1.51	2.11	2.71	3.32	3.92	4.52	5.12	0.90	1.51	2.11	2.71	3.32	3.92	4.52	5.12
L-Val	0.30	0.50	0.70	0.89	1.09	1.29	1.49	1.69	0.30	0.50	0.70	0.89	1.09	1.29	1.49	1.69
L-Thr	0.18	0.29	0.41	0.53	0.65	0.76	0.88	1.00	0.18	0.29	0.41	0.53	0.65	0.76	0.88	1.00
L-Trp	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06
Nutrient (g/kg DM) ³																
Crude protein	64.60	108.20	152.30	196.80	240.70	286.10	331.90	378.30	64.56	108.11	152.15	196.67	240.69	286.01	331.86	378.21
Lys	3.23	5.41	7.62	9.85	12.04	14.31	16.62	18.94	3.23	5.41	7.61	9.84	12.04	14.31	16.61	18.93
Met + Cys	2.82	4.72	6.65	8.60	10.52	12.49	14.50	16.52	2.81	4.72	6.65	8.59	10.52	12.49	14.50	16.52
Thr	2.47	4.15	5.84	7.55	9.23	10.97	12.74	14.52	2.47	4.15	5.84	7.55	9.23	10.97	12.74	14.52
ME (MJ)	14.18	14.18	14.18	14.18	15.74	15.74	15.74	15.74	14.60	14.60	14.60	14.60	15.95	15.95	15.95	15.95

¹ N1 = 64, N2 = 108, N3 = 152, N4 = 197, N5 = 241, N6 = 286, N7 = 332, N8 = 378g CP/kg

² Provided (per kilogram of diet): vitamin A, 5,000 IU; vitamin D₃, 1,000 IU; vitamin E, 30 IU; thiamin, 2.6 mg; riboflavin, 4.8 mg; vitamin B₆, 3.2 mg; vitamin B₁₂, 20µg; vitamin K₃, 3 mg; Ca-pantothenate, 10 mg; nicotinic acid, 50 mg; folic acid, 0.9 mg; biotin, 100 µg; choline chloride, 1000 mg; Mn, 120 mg (source: MnO); Zn, 70 mg (ZnO); Fe, 50 mg (FeSO₄); Cu, 15 mg (copper sulfate pentahydrate); I, 1.4 mg (Ca-iodate-hexahydrate); Se, 0.28 mg (Na₂SeO₃); Co, 0.17 mg (basic cobalt(II) carbonate monohydrate) and butylated hydroxytoluene, 100 mg.

³ All samples were analyzed at least as duplicate, values were averaged afterwards

491 Table 3: Summarized results of estimating daily nitrogen maintenance requirement (NMR)
 492 and theoretical potential for daily nitrogen deposition ($ND_{\max T}$) of Ross 308 chickens, de-
 493 pending on age as well as the body weight independent model parameter for Lys efficiency
 494 ($NR_{\max T} \cdot bc^{-1}_{Lys}$)

Age Period	NMR	$ND_{\max T}$	R^2 (%)	$NR_{\max T} \cdot bc^{-1}_{Lys}$
	mg of N / $BW_{kg}^{0.67}$ per d			
I (d10-20)	113	4592	97.5	0.1908
II (d25-35)	215	4301	98.4	0.1886

495

496

497

498

499

500

501

502 Table 4: Summarized results of the nitrogen balance experiments in age period I and II¹

Diet	N1 ²		N2 ²		N3 ²		N4 ²		N5 ²		N6 ²		N7 ²		N8 ²	
Period I (10-20 d)																
n	12		-		8		8		8		8		12		8	
Mean BW (g)	123 _d	± 3	-		121 _d	± 4	158 _d	± 11	264 _c	± 20	373 _{bc}	± 38	561 _{ab}	± 47	618 _a	± 58
DM Intake (g/d)	11.2 _e	± 0.3	-		14.6 _{de}	± 1.0	20.1 _{cd}	± 2.1	25.3 _{bc}	± 2.0	35.4 _b	± 3.7	51.1 _a	± 3.0	55.5 _a	± 3.1
N Intake ³	471 _g	± 13	-		1,459 _f	± 87	2,170 _e	± 181	2,376 _d	± 112	3,107 _c	± 136	4,041 _b	± 119	4,681 _a	± 55
N Excretion ³	167 _g	± 10	-		283 _f	± 21	549 _e	± 35	708 _d	± 19	1,118 _c	± 68	1,531 _b	± 63	1,910 _a	± 78
N Balance ³	304 _f	± 19	-		1,176 _e	± 84	1,621 _{de}	± 148	1,668 _d	± 114	1,989 _{cd}	± 99	2,510 _b	± 83	2,771 _{ab}	± 80
<i>b</i> value · 10 ⁻⁶	196 _a	± 5	-		219 _a	± 5	213 _a	± 5	200 _a	± 7	192 _a	± 6	203 _a	± 6	204 _a	± 9
<i>bc</i> ⁻¹ value · 10 ⁻⁶	39.20	± 1.1	-		43.84 _a	± 1.0	42.53 _a	± 1.1	40.05 _a	± 1.5	37.11 _a	± 0.6	40.56 _a	± 1.1	40.80 _a	± 1.8
Period II (25-35 d)																
n	12		8		8		8		8		8		12		8	
Mean BW (g)	1,051 _f	± 31	1,219 _e	± 34	1,377 _{ce}	± 60	1,469 _{bce}	± 99	1,575 _{abcd}	± 86	1,781 _{abc}	± 116	1,836 _{ab}	± 99	2,019 _a	± 118
DM Intake (g/d)	69.3 _a	± 3.2	82.0 _{ab}	± 1.9	92.9 _{bc}	± 4.1	105.2 _{abc}	± 8.2	97.8 _{bc}	± 4.6	105.1 _{abc}	± 6.6	113.3 _{ab}	± 6.2	123.1 _a	± 4.0
N Intake ³	691 _h	± 24	1,244 _g	± 29	1,829 _f	± 68	2,551 _e	± 133	2,790 _d	± 104	3,269 _c	± 119	4,005 _b	± 142	4,676 _a	± 51
N Excretion ³	295 _h	± 12	424 _g	± 16	622 _f	± 22	916 _e	± 78	1,037 _d	± 37	1,228 _c	± 48	1,603 _b	± 75	2,175 _a	± 54
N Balance ³	396 _g	± 27	820 _f	± 23	1,207 _e	± 49	1,635 _d	± 58	1,753 _{cd}	± 87	2,041 _c	± 82	2,402 _b	± 76	2,501 _a	± 74
<i>b</i> value · 10 ⁻⁶	210 _a	± 5	209 _a	± 3	207 _a	± 2	208 _a	± 4	206 _a	± 5	213 _a	± 4	218 _a	± 3	197 _a	± 7
<i>bc</i> ⁻¹ value · 10 ⁻⁶	42.00 _a	± 1.0	41.85 _a ± 0.6		41.36 _a	± 0.4	41.63 _a	± 0.8	41.07 _a	± 1.1	42.64 _a	± 1.0	43.49 _a	± 0.7	39.48 _a	± 1.5

503 ¹Mean ± standard error of mean (SEM)504 ²N1 = 64, N2 = 108, N3 = 152, N4 = 197, N5 = 241, N6 = 286, N7 = 332, N8 = 378g CP/kg505 ²mg/BW_{kg}^{0.67}/d

506 ^{a-b}Values within a row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)
507

Table 5: Model calculation of the Lys requirement for male meat-type chickens (Ross 308) in age period I (d10-20) and II (d25-35), depending on daily crude protein deposition and predicted daily feed intake (mean body weight: I: 500g; II: 1500g).

Age Period	I (d10-20)			II (d25-35)			
CP deposition (g/d)	9.0	10.0	11.0	CP deposition (g/d)	17.0	18.0	19.0
Lys efficiency (bc^{-1}_{Lys})	41 · 10 ⁻⁶			Lys efficiency (bc^{-1}_{Lys})	42 · 10 ⁻⁶		
Lys requirement (mg/BW _{kg} ^{0.67} /d)	1097	1277	1481	Lys requirement (mg/BW _{kg} ^{0.67} /d)	1060	1144	1234
Lys requirement (mg/d)	690	803	931	Lys requirement (mg/d)	1390	1501	1619
Optimal Lys requirement in the diet (%)							
Daily feed intake (g)	Daily feed intake (g)			Daily feed intake (g)			
60	1.15	1.34	1.55	140	0.99	1.07	1.16
70	0.99	1.15	1.33	150	0.93	1.00	1.08
80	0.86	1.00	1.16	160	0.87	0.94	1.01

Table 6: Model calculation for the Lys-requirement based on actual N balance data, assuming different $NR_{max}T$ values and their effect on Lys efficiency (bc^{-1}_{LYS}), and protein quality (b).

	Actual results	Variation A ¹	Variation B ²		Actual results	Variation A ¹	Variation B ²
Age Period	I (d10-20)			Age Period	II (d25-35)		
$NR_{max}T$ (mg/BW _{kg} ^{0.67} /d)	4705	4235	3876	$NR_{max}T$ (mg/BW _{kg} ^{0.67} /d)	4516	4064	3005
Lys efficiency ($bc^{-1}_{LYS} \cdot 10^{-6}$)	41	47	54	Lys efficiency ($bc^{-1}_{LYS} \cdot 10^{-6}$)	42	49	84
Protein quality ($b \cdot 10^{-6}$)	203	235	268	Protein quality ($b \cdot 10^{-6}$)	209	242	421
CP deposition (g/d)	9			CP deposition (g/d)	17		
Daily feed intake (g)	Optimal Lys in-feed concentration (%)			Daily feed intake (g)	Optimal Lys in-feed concentration (%)		
60	1.15	1.17	1.18	140	0.99	1.00	1.00
70	0.99	1.00	1.01	150	0.93	0.94	0.94
80	0.86	0.88	0.89	160	0.87	0.88	0.88
CP deposition (g/d)	10			CP deposition (g/d)	18		
Daily feed intake (g)	Optimal Lys in-feed concentration (%)			Daily feed intake (g)	Optimal Lys in-feed concentration (%)		
60	1.34	1.38	1.41	140	1.07	1.14	1.09
70	1.15	1.18	1.21	150	1.00	1.06	1.02
80	1.00	1.03	1.06	160	0.94	0.99	0.95
CP deposition (g/d)	11			CP deposition (g/d)	19		
Daily feed intake (g)	Optimal Lys in-feed concentration (%)			Daily feed intake (g)	Optimal Lys in-feed concentration (%)		
60	1.55	1.62	1.70	140	1.16	1.18	1.30
70	1.33	1.39	1.46	150	1.08	1.10	1.21
80	1.16	1.22	1.28	160	1.01	1.04	1.13

¹actual $NR_{max}T$ -10%

² $NR_{max}T$ as observed by Samadi and Liebert (2008)

Anhang II - Anhangstabellen

A-Tabelle 1 : Komponenten der Hofmischung für die Reservetiere.

Rohstoff	%
Weizenquellstärke	30,510
Weizen	26,529
SPC	22,647
Weizenkleber	3,836
Fischmehl	2,358
Sojaöl	9,7
VM Broiler VILOMIX	1,0
Dicalciumphosphat	1,850
Calciumcarbonat	0,57
Natriumchlorid	0,23
DL-Methionin	0,332
L-Valin	0,109
L-Threonin	0,065
L-Tryptophan	0,004
L-Lysin-HCL	0,2
Phytase	0,02
Xylanase	0,04

A-Tabelle 2: Zusammensetzung des kommerziellen Hähnchenmastfutters „Golddott“ in absteigender Reihenfolge.

Rohstoff
Weizen
Mais
Sojaextraktionsschrot
Maiskleberfutter
Rapskuchen
Weizenkleie
Calciumcarbonat
Pflanzenfettsäuren
Monocalciumphosphat
Ca-Na-Phosphat
Natriumchlorid
Natriumbicarbonat

A-Tabelle 3: Rohnährstoff-Analyse des kommerziellen Hähnchenmastfutters „Golddott Kükenaufzucht“ (Derby Spezialfutter GmbH, Münster).

Proben	% TS	% N	% N	% XP	% XP	% XL	%	%
Bezeichnung		in FS	in TS	in FS	in TS	in TS	Stärke	Zucker
							in TS	in TS
Golddott Kükenaufzucht	87,6480	2,8396	3,2398	17,7475	20,2486	4,7370	46,0836	3,2911

A-Tabelle 4: Ableitung der verwendeten Gehalte für Ca, P, Na, XP und des Energiegehalts.

Quelle	Ca	P	Na	Energie	XP
NRC (1994)	0.-3.LW: 1% 3.-6.LW: 0,9%	Nicht Phytin-P: 0.-3.LW: 0,45 3.-6.LW: 0,35	0.-3.LW: 0,2% 3.-6.LW: 0,15%	für alle Altersstufen gleich: 3200 kcal MEn/kg 1.-3.LW: 12,5 MJ AMEn/kg diet 4.-5.LW: 13,4 MJ AMEn/kg diet	0.-3.LW: 23% 3.-6.LW: 20%
GfE (1999)		verfügbarer P: 1-7d: 0,471% 8-21d: 0,449% 22-33d: 0,418% 34-42d: 0,386%	1-7d: 0,224% 8-21d: 0,218% 22-33d: 0,208% 34-42d: 0,198%	1-7d: 2960kcal ME/kg 8-21d: 3050kcal ME/kg 22-33d: 3150kcal ME/kg 34-42d: 3200kcal ME/kg	1-7d: 22,11% 8-21d: 21,14% 22-33d: 19,73% 34-42d: 19,31%
Rostagno et al. (2005) (high performance)	1-7d: 0,942% 8-21d: 0,899% 22-33d: 0,837% 34-42d: 0,775%	verfügbarer P: 1-7d: 0,471% 8-21d: 0,449% 22-33d: 0,418% 34-42d: 0,386%	1-7d: 0,224% 8-21d: 0,218% 22-33d: 0,208% 34-42d: 0,198%	0-10d: 3000kcal ME/kg 11-22d: 3100 kcal ME/kg 23-42d: 3191 kcal ME/kg	0-10d: 22% 11-22d: 20% 23-42d: 19%
Cobb 700 (2008)	0-10d: 1% 11-22d: 0,96% 23-42d: 0,9%	verfügbarer P: 0-10d: 0,50% 11-22d: 0,48% 23-42d: 0,45%	0-10d: 0,22% 11-22d: 0,19% 23-42d: 0,19%	0-10d: 3025/12,65 11-24d: 3150/13,2 >25d: 3200/13,4 kcal/MJ ME/kg	0-10d: 22-25% 11-24d: 21-23% >25d: 19-23%
Ross 308 (2009)	0-10d: 1,05% 11-24d: 0,9% >25d: 0,85%	verfügbarer P: 0-10d: 0,50% 11-24d: 0,45% >25d: 0,42%	0-10d: 0,4-1,0% 11-24d: 0,4-0,9% >25d: 0,4-0,9%	0-10d: 3025/12,65 11-24d: 3150/13,2 >25d: 3200/13,4 kcal/MJ ME/kg	0-10d: 22-25% 11-24d: 21-23% >25d: 19-23%
Mittelwert:	0.-3.LW: 0,960% 3.-6.LW: 0,852%	Gesamt P 0.-3.LW: 0,471% 3.-6.LW: 0,405%	0.-3.LW: 0,21% 3.-6.LW: 0,187%*	0.-3.LW: 3039kcal ME/ 12,7MJ ME/kg¹ 3.-6.LW: 3191kcal ME/ 13,35MJ ME/kg	0.-3.LW: 21,96% 4.-6.LW: 19,8%
Verwendete Werte:	0.-3.LW: 1% 3.-6.LW: 0,85%	0.-3.LW: 0,6% 3.-6.LW: 0,55	0.-3.LW: 0,2% 3.-6.LW: 0,18%	0.-3.LW: 3039kcal ME/ 12,7MJ ME/kg 3.-6.LW: 3200kcalME/ 13,3MJ ME	0.-3.LW: 22% 4.-6.LW: 20%

* Werte von Ross 308 wurden nicht mit einbezogen, da sie stark von den anderen Werten abweichen

¹ Für Starterperiode NRC-Werte nicht mit einbezogen, da sie stark von den anderen Werten abweichen

A-Tabelle 5: Zusammensetzung (%) des in Experiment 2 verwendeten Starterfutters im Wachstumsversuch in absteigenden Gehalten (in der Arbeit mit ILE* und VAL* bezeichnet).

Rohstoff	ILE* (Isoleucin; 80%)	VAL* (Valin; 80%)
Weizen	47,955	47,955
Weizenquellstärke	22,796	22,751
Sojaproteinkonzentrat	6,755	6,755
Fischmehl	5,000	5,000
Weizenkleber	5,000	5,000
L-Glutaminsäure	3,131	3,184
Sojaöl	2,630	2,650
Dicalciumphosphat	1,626	1,626
Vormischung	1,000	1,000
L-Lysin · HCl	0,835	0,835
L-Arginin	0,538	0,540
Calciumcarbonat	0,500	0,500
DL-Methionin	0,446	0,446
L-Valin	0,376	0,167
L-Threonin	0,335	0,335
L-Leucin	0,326	0,326
L-Isoleucin	0,113	0,292
L-Phenylalanin	0,262	0,262
Natriumchlorid	0,184	0,184
L-Histidin	0,093	0,093
L-Tryptophan	0,054	0,054
Xylanase	0,040	0,040
Phytase	0,005	0,005

A-Tabelle 6: Zusammensetzung (%) des in Experiment 2 verwendeten Growerfutters im Wachstums-versuch in absteigenden Gehalten (in der Arbeit mit ILE* und VAL* bezeichnet).

Rohstoff	ILE* (Isoleucin; 80%)	VAL* (Valin; 80%)
Weizen	44,259	44,259
Weizenquellstärke	26,605	26,558
Sojaproteinkonzentrat	6,235	6,235
Sojaöl	4,780	4,800
Fischmehl	4,615	4,615
Weizenkleber	4,615	4,615
L-Glutaminsäure	2,885	2,940
Dicalciumphosphat	1,450	1,450
Vormischung	1,000	1,000
L-Lysin · HCl	0,771	0,771
L-Arginin	0,495	0,495
DL-Methionin	0,414	0,414
L-Valin	0,344	0,152
L-Threonin	0,305	0,305
L-Leucin	0,301	0,301
Calciumcarbonat	0,260	0,260
L-Phenylalanin	0,246	0,246
Natriumchlorid	0,130	0,130
L-Isoleucin	0,108	0,273
L-Histidin	0,086	0,086
L-Tryptophan	0,051	0,051
Xylanase	0,040	0,040
Phytase	0,005	0,005

A-Tabelle 7: Zusammensetzung (%) des in Experiment 3 verwendeten Starterfutters im Bilanz- und Wachstumsversuch in absteigenden Gehalten.

Rohstoff	IAAR ¹ (IAAR _{BCAA} niedrig)	IAAR* (IAAR _{BCAA} Referenz)	XPR (Minus XP)	XPR _{BCAA} (Minus XP + BCAA)	XPR _{Leu1} (Minus XP + Leu _{V1})	XPR _{Leu*} (Minus XP + Leu _{V2})
Weizen	47,955	47,955	39,273	39,273	39,273	39,273
Weizenquellstärke	22,354	22,518	36,162	36,283	36,180	36,267
Sojaproteinkonzentrat	6,755	6,755	5,527	5,527	5,527	5,527
Fischmehl	5,000	5,000	4,091	4,091	4,091	4,091
Weizenkleber	5,000	5,000	4,091	4,091	4,091	4,091
L-Glutaminsäure	3,867	3,068	3,163	2,590	2,923	2,610
Sojaöl	2,800	2,750	1,790	1,750	1,800	1,750
Dicalciumphosphat	1,626	1,626	1,900	1,900	1,900	1,900
Vormischung	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
L-Lysin · HCl	0,835	0,835	0,683	0,683	0,683	0,683
L-Arginin	0,576	0,576	0,471	0,471	0,471	0,471
Calciumcarbonat	0,500	0,500	0,430	0,430	0,430	0,430
DL-Methionin	0,448	0,448	0,367	0,367	0,367	0,367
L-Threonin	0,330	0,330	0,270	0,270	0,270	0,270
L-Phenylalanin	0,267	0,267	0,218	0,218	0,218	0,218
Natriumchlorid	0,184	0,184	0,190	0,190	0,190	0,190
L-Valin	0,162	0,373	0,133	0,284	0,133	0,133
L-Isoleucin	0,098	0,296	0,080	0,208	0,080	0,080
L-Histidin	0,093	0,093	0,076	0,076	0,076	0,076
L-Tryptophan	0,055	0,055	0,045	0,045	0,045	0,045
L-Leucin	0,050	0,326	0,041	0,253	0,253	0,529
Xylanase	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
Phytase	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005

A-Tabelle 8: Zusammensetzung (%) des in Experiment 3 verwendeten Growerfutters im Bilanz- und Wachstumsversuch in absteigenden Gehalten.

Rohstoff	IAAR ¹ (IAAR _{BCAA} niedrig)	IAAR* (IAAR _{BCAA} Referenz)	XPR (Minus XP)	XPR _{BCAA} (Minus XP + BCAA)	XPR _{Leu1} (Minus XP + Leu _{IAAR¹})	XPR _{Leu*} (Minus XP + Leu _{IAAR*})
Weizen	44,263	44,263	35,401	35,401	35,401	35,401
Weizenquellstärke	26,619	26,695	40,502	40,670	40,582	40,602
Sojaproteinkonzentrat	6,235	6,235	4,988	4,988	4,988	4,988
Sojaöl	4,760	4,750	3,808	3,730	3,760	3,760
Fischmehl	4,615	4,615	3,692	3,692	3,692	3,692
Weizenkleber	4,615	4,615	3,692	3,692	3,692	3,692
L-Glutaminsäure	3,088	2,609	2,469	1,837	2,201	2,024
Dicalciumphosphat	1,450	1,450	1,745	1,745	1,745	1,745
Vormischung	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
L-Lysin · HCl	0,771	0,771	0,617	0,617	0,617	0,617
L-Arginin	0,532	0,532	0,425	0,425	0,425	0,425
DL-Methionin	0,414	0,414	0,331	0,331	0,331	0,331
L-Threonin	0,305	0,305	0,244	0,244	0,244	0,244
Calciumcarbonat	0,260	0,260	0,180	0,180	0,180	0,180
L-Phenylalanin	0,246	0,246	0,197	0,197	0,197	0,197
L-Valin	0,235	0,344	0,188	0,358	0,188	0,188
Natriumchlorid	0,140	0,140	0,150	0,150	0,150	0,150
L-Isoleucin	0,127	0,273	0,102	0,238	0,102	0,102
L-Leucin	0,127	0,273	0,114	0,350	0,350	0,507
L-Histidin	0,086	0,086	0,069	0,069	0,069	0,069
L-Tryptophan	0,051	0,051	0,041	0,041	0,041	0,041
Xylanase	0,040	0,040	0,004	0,004	0,004	0,004
Phytase	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005

A-Tabelle 9: Inhaltsstoffe (% in FS) des in Experiment 2 verwendeten Starterfutters im Wachstums-versuch (in der Arbeit mit ILE* und VAL* bezeichnet).

Inhaltsstoff	ILE* (Isoleucin; 80%)	VAL* (Valin; 80%)
Trockensubstanz	90,994	90,997
Rohprotein	21,650	21,650
Rohfett	3,85	3,87
Rohfaser	1,34	1,34
Rohasche	5,25	5,25
Stärke	43,27	43,23
Zucker	1,96	1,96
Calcium	1,00	1,00
Phosphor	0,60	0,60
Natrium	0,20	0,20
ME (MJ)	12,70	12,70
Lys	1,300	1,300
Met	0,688	0,688
Cys	0,272	0,272
Met + Cys	0,960	0,960
Thr	0,850	0,850
Trp	0,220	0,220
Arg	1,380	1,380
Ile	0,704	0,880
Leu	1,430	1,430
Val	1,030	0,824
His	0,442	0,442
Phe	0,962	0,962
Tyr	0,550	0,550
Phe + Tyr	1,530	1,530

A-Tabelle 10: Inhaltsstoffe (% in FS) des in Experiment 2 verwendeten Growerfutters im Wachstumsversuch (in der Arbeit mit ILE* und VAL* bezeichnet).

Inhaltsstoff	ILE* (Isoleucin; 80%)	VAL* (Valin; 80%)
Trockensubstanz	91,356	91,359
Rohprotein	19,980	19,980
Rohfett	5,91	5,93
Rohfaser	1,26	1,26
Rohasche	4,63	4,63
Stärke	44,47	44,44
Zucker	1,90	1,90
Calcium	0,85	0,85
Phosphor	0,55	0,55
Natrium	0,18	0,18
ME (MJ)	13,30	13,30
Lys	1,200	1,200
Met	0,637	0,637
Cys	0,251	0,251
Met + Cys	0,888	0,888
Thr	0,780	0,780
Trp	0,204	0,204
Arg	1,272	1,272
Ile	0,653	0,816
Leu	1,320	1,320
Val	0,948	0,758
His	0,408	0,408
Phe	0,892	0,892
Tyr	0,507	0,507
Phe + Tyr	1,416	1,416

A-Tabelle 11: Inhaltsstoffe (% in FS) des in Experiment 3 verwendeten Starterfutters im Bilanz- und Wachstumsversuch.

Inhaltsstoff	IAAR ¹ (IAAR _{BCAA} niedrig)	IAAR* (IAAR _{BCAA} Referenz)	XPR (Minus XP)	XPR _{BCAA} (Minus XP + BCAA)	XPR _{Leu1} (Minus XP + Leu _{IAAR¹})	XPR _{Leu*} (Minus XP + Leu _{IAAR*})
Trockensubstanz	91,024	91,010	91,563	91,552	91,559	91,550
Rohprotein	21,808	21,808	17,844	17,844	17,844	17,844
Rohfett	4,02	3,97	2,81	2,77	2,82	2,77
Rohfaser	1,34	1,34	1,17	1,17	1,17	1,17
Rohasche	5,25	5,25	5,07	5,07	5,07	5,07
Stärke	43,04	43,04	49,67	49,77	49,69	49,76
Zucker	1,95	1,95	1,90	1,90	1,90	1,90
Calcium	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Phosphor	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Natrium	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
ME (MJ)	12,70	12,70	12,70	12,70	12,70	12,70
Lys	1,300	1,300	1,064	1,064	1,064	1,064
Met	0,690	0,690	0,565	0,565	0,565	0,565
Cys	0,272	0,272	0,222	0,222	0,222	0,222
Met + Cys	0,962	0,962	0,787	0,787	0,787	0,787
Thr	0,845	0,845	0,691	0,691	0,691	0,691
Trp	0,221	0,221	0,181	0,181	0,181	0,181
Arg	1,417	1,417	1,159	1,159	1,159	1,159
Ile	0,689	0,884	0,564	0,689	0,564	0,564
Leu	1,157	1,430	0,947	1,157	1,157	1,430
Val	0,819	1,027	0,670	0,819	0,670	0,670
His	0,442	0,442	0,361	0,361	0,361	0,361
Phe	0,967	0,967	0,791	0,791	0,791	0,791
Tyr	0,550	0,550	0,450	0,450	0,450	0,450
Phe + Tyr	1,534	1,534	1,255	1,255	1,255	1,255

A-Tabelle 12: Inhaltsstoffe (% in FS) des in Experiment 3 verwendeten Growerfutters im Bilanz- und Wachstumsversuch.

Inhaltsstoff	IAAR ¹ (IAAR _{BCAA} niedrig)	IAAR* (IAAR _{BCAA} Referenz)	XPR (Minus XP)	XPR _{BCAA} (Minus XP + BCAA)	XPR _{Leu1} (Minus XP + Leu _{IAAR¹})	XP _{Leu*} (Minus XP + Leu _{IAAR*})
Trockensubstanz	91,357	91,349	91,911	91,898	91,903	91,900
Rohprotein	20,000	20,000	16,000	16,000	16,000	16,000
Rohfett	5,89	5,88	4,73	4,66	4,69	4,69
Rohfaser	1,26	1,26	1,09	1,09	1,09	1,09
Rohasche	4,64	4,64	4,47	4,47	4,47	4,47
Stärke	44,49	44,55	51,24	51,38	51,31	51,33
Zucker	1,90	1,90	1,84	1,84	1,84	1,84
Calcium	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Phosphor	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Natrium	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
ME (MJ)	13,30	13,30	13,30	13,30	13,30	13,30
Lys	1,200	1,200	0,960	0,960	0,960	0,960
Met	0,637	0,637	0,510	0,510	0,510	0,510
Cys	0,251	0,251	0,201	0,201	0,201	0,201
Met + Cys	0,888	0,888	0,710	0,710	0,710	0,710
Thr	0,780	0,780	0,624	0,624	0,624	0,624
Trp	0,204	0,204	0,163	0,163	0,163	0,163
Arg	1,308	1,308	1,046	1,046	1,046	1,046
Ile	0,672	0,816	0,538	0,672	0,538	0,538
Leu	1,164	1,320	0,931	1,164	1,164	1,320
Val	0,840	0,948	0,672	0,840	0,672	0,672
His	0,408	0,408	0,326	0,326	0,326	0,326
Phe	0,893	0,893	0,714	0,714	0,714	0,714
Tyr	0,507	0,507	0,406	0,406	0,406	0,406
Phe + Tyr	1,416	1,416	1,133	1,133	1,133	1,133

A-Tabelle 13: Aminosäuren-Analyse des in Experiment 1 verwendeten Fischmehles.

Aminosäuren	Mittelwert mg AS / g Probe	CV (%)	Mittelwert mg AS / g in TS	g AS / 16g N in TS
Cys ox [Cystein (Monomer)]	5,231	0,51	6,016	0,848
Met ox [Methionin]	15,704	0,72	18,061	2,546
Asp	55,296	0,54	63,595	8,964
Thr	24,985	0,36	28,735	4,050
Ser	22,576	0,92	25,964	3,660
Glu	80,916	0,33	93,061	13,117
Pro	25,276	0,77	29,070	4,097
Gly	37,539	0,70	43,173	6,085
Ala	38,986	0,19	44,837	6,320
Val	28,562	0,46	32,848	4,630
Ileu	24,924	0,46	28,664	4,040
Leu	43,746	0,67	50,312	7,091
Tyr	-	-	-	-
Phe	24,409	0,90	28,072	3,957
His	18,202	0,07	20,934	2,951
Lys	46,629	0,02	53,628	7,559
Arg	33,870	0,01	38,953	5,490

A-Tabelle 14: Aminosäuren-Analyse des in Experiment 2 und 3 verwendeten Fischmehles.

Aminosäuren	Mittelwert mgAS / g Probe	CV (%)	Mittelwert mgAS / g in TS	g AS / 16g N in TS
Cys ox [Cystein (Monomer)]	4,332	0,34	4,567	0,690
Met ox [Methionin]	12,696	1,24	13,385	2,024
Asp	48,547	0,64	51,183	7,739
Thr	22,392	1,43	23,608	3,570
Ser	23,009	1,63	24,258	3,668
Glu	75,337	0,34	79,429	12,009
Pro	32,530	3,65	34,296	5,186
Gly	52,895	0,36	55,768	8,432
Ala	38,457	0,67	40,545	6,130
Val	24,900	0,04	26,252	3,969
Ileu	20,365	0,15	21,471	3,246
Leu	37,003	0,39	39,013	5,899
Tyr	-	-	-	-
Phe	20,285	0,61	21,386	3,234
His	11,058	0,15	11,658	1,763
Lys	37,463	0,52	39,497	5,972
Arg	34,142	0,58	35,996	5,443

A-Tabelle 15: Aminosäuren-Analyse des in Experiment 1 verwendeten Weizens.

Aminosäuren	Mittelwert mg AS / g Probe	CV (%)	Mittelwert mg AS / g in TS	g AS / 16g N in TS
Cys ox [Cystein (Monomer)]	2,465	0,09	2,887	2,172
Met ox [Methionin]	1,617	0,17	1,894	1,425
Asp	5,612	0,26	6,573	4,946
Thr	3,149	1,01	3,688	2,775
Ser	5,127	0,03	6,006	4,519
Glu	34,613	0,68	40,544	30,508
Pro	11,547	0,97	13,526	10,178
Gly	4,212	0,34	4,934	3,713
Ala	3,730	0,13	4,369	3,287
Val	4,276	1,14	5,008	3,769
Ileu	3,609	1,90	4,227	3,181
Leu	7,220	0,88	8,457	6,364
Tyr	-	-	-	-
Phe	4,088	1,42	4,789	3,603
His	2,367	0,36	2,773	2,086
Lys	2,915	1,21	3,415	2,569
Arg	5,058	0,66	5,924	4,458

A-Tabelle 16: Aminosäuren-Analyse des in Experiment 2 und 3 verwendeten Weizens.

Aminosäuren	Mittelwert mgAS / g Probe	CV (%)	Mittelwert mgAS / g in TS	g AS / 16g N in TS
Cys ox [Cystein (Monomer)]	2,483	3,19	2,820	2,229
Met ox [Methionin]	1,593	2,22	1,809	1,430
Asp	5,458	1,39	6,199	4,899
Thr	3,043	0,16	3,456	2,731
Ser	4,757	0,07	5,402	4,270
Glu	34,179	0,27	38,820	30,681
Pro	11,447	2,04	13,001	10,275
Gly	4,168	0,44	4,734	3,741
Ala	3,711	0,67	4,214	3,331
Val	4,369	0,71	4,962	3,922
Ileu	3,572	0,16	4,057	3,206
Leu	7,194	0,70	8,170	6,457
Tyr	-	-	-	-
Phe	4,145	3,09	4,707	3,720
His	2,348	0,93	2,666	2,107
Lys	2,985	0,40	3,390	2,679
Arg	4,879	1,01	5,542	4,380

A-Tabelle 17: Aminosäuren-Analyse des in allen Experimenten verwendeten Weizenklebers.

Aminosäuren	Mittelwert mg AS / g Probe	CV (%)	Mittelwert mg AS / g in TS	g AS / 16g N in TS
Cys ox [Cystein (Monomer)]	14,360	0,21	15,865	1,909
Met ox [Methionin]	10,560	0,80	11,667	1,404
Asp	23,822	0,13	26,319	3,167
Thr	18,595	0,02	20,544	2,472
Ser	35,781	0,61	39,532	4,757
Glu	283,912	0,02	313,674	37,747
Pro	94,931	0,44	104,882	12,622
Gly	24,094	0,18	26,619	3,203
Ala	19,041	0,30	21,037	2,532
Val	26,901	1,22	29,720	3,577
Ileu	25,608	0,81	28,292	3,405
Leu	50,142	0,17	55,398	6,667
Tyr	-	-	-	-
Phe	37,610	0,64	41,552	5,000
His	14,724	0,24	16,267	1,958
Lys	11,390	1,32	12,583	1,514
Arg	25,569	0,69	28,249	3,399

A-Tabelle 18: Aminosäuren-Analyse des in allen Experimenten verwendeten Soja-proteinkonzentrates.

Aminosäuren	Mittelwert mg AS / g Probe	CV (%)	Mittelwert mg AS / g in TS	g AS / 16g N in TS
Cys ox [Cystein (Monomer)]	8,756	0,37	9,442	1,374
Met ox [Methionin]	8,282	0,16	8,931	1,300
Asp	72,970	0,29	78,691	11,452
Thr	25,216	0,08	27,192	3,957
Ser	32,530	0,48	35,080	5,105
Glu	120,757	0,04	130,225	18,952
Pro	32,943	1,08	35,525	5,170
Gly	26,213	0,12	28,268	4,114
Ala	27,309	0,27	29,450	4,286
Val	28,241	1,22	30,455	4,432
Ileu	28,260	1,14	30,476	4,435
Leu	48,348	0,25	52,139	7,588
Tyr	-	-	-	-
Phe	31,918	0,79	34,420	5,009
His	16,147	0,32	17,413	2,534
Lys	38,651	0,27	41,681	6,066
Arg	46,933	0,29	50,613	7,366

A-Tabelle 19: Trockensubstanz-, Rohasche-, Stickstoff- und Rohproteingehalt der verwendeten Proteinträger.

Proben Bezeichnung	% TS	% XA in TS	% N in TS	% XP in TS
Weizen Exp.1	85,3708	1,4150	2,1262	13,2887
Weizen Exp. 2 + 3	86,9414	1,5767	2,0501	12,8130
Weizenkleber	90,5119	0,9650	13,2957	83,0982
SPC	92,7298	6,7868	10,9939	68,7120
Fischmehl Exp. 1	86,9497	16,6999	11,3515	70,9469
Fischmehl Exp. 1 + 2	94,7302	22,5180	10,5954	66,2210

Anhangs-Tabellen des Experiments 1

A-Tabelle 20: Lebendmasse (g) der Eintagsküken (Nulltiere) in Experiment 1 für die Ganzkörperanalyse vor und nach 24-stündiger Fastenzeit. Hierbei wurden jeweils fünf Einzeltiere zu einer Sammelprobe zusammengefasst.

Körperanalyse Eintagsküken		
(Nulltiere)		
	LM (g) am 04.11.2011	LM (g) am 05.11.2011
Tier 1	49,5	45,5
Tier 2	50,0	46,0
Tier 3	50,0	48,5
Tier 4	50,0	46,0
Tier 5	50,5	45,0
<i>Summe</i>	250,0	231,0
<i>Mittelwert</i>	50,00	46,20
Tier 1	49,5	46,0
Tier 2	50,0	47,0
Tier 3	50,0	47,0
Tier 4	50,5	45,5
Tier 5	50,0	46,5
<i>Summe</i>	250,0	232,0
<i>Mittelwert</i>	50,00	46,40
Tier 1	50,0	45,5
Tier 2	50,0	47,0
Tier 3	50,0	45,5
Tier 4	50,5	46,5
Tier 5	49,5	46,5
<i>Summe</i>	250,0	231,0
<i>Mittelwert</i>	50,00	46,20
Ges.Mittel	50,00	46,27

A-Tabelle 21: Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 1 zu Beginn des ersten Wachstumsabschnittes (1. Lebenstag).

Bucht	N2 - 1	N2 - 2	N2 - 3	N2 - 4	N2 - 5	N2 - 6	N2 - 7	N2 - 8
Tier 1	49	51	51	50	49	48	51	49
Tier 2	51	49	52	52	52	49	51	52
Tier 3	48	50	51	51	49	51	52	48
Tier 4	51	50	49	48	51	52	51	52
Tier 5	51	50	47	49	49	50	45	49
MW	250	250	250	250	250	250	250	250

Bucht	N3 - 1	N3 - 2	N3 - 3	N3 - 4	N3 - 5	N3 - 6	N3 - 7	N3 - 8
Tier 1	52	52	49	49	48	52	51	49
Tier 2	52	51	50	52	51	52	52	50
Tier 3	52	50	50	48	48	51	51	52
Tier 4	51	51	50	52	52	51	51	50
Tier 5	45	46	51	49	51	44	45	49
MW	252	250	250	250	250	250	250	250

Bucht	N4 - 1	N4 - 2	N4 - 3	N4 - 4	N4 - 5	N4 - 6	N4 - 7	N4 - 8
Tier 1	50	50	50	49	50	50	50	50
Tier 2	49	50	52	52	48	49	49	49
Tier 3	51	50	50	52	51	48	51	49
Tier 4	48	52	51	52	51	52	52	49
Tier 5	52	48	47	45	50	51	48	53
MW	250	250	250	250	250	250	250	250

Bucht	N5 - 1	N5 - 2	N5 - 3	N5 - 4	N5 - 5	N5 - 6	N5 - 7	N5 - 8
Tier 1	52	48	50	48	52	48	52	52
Tier 2	52	52	52	52	50	51	52	51
Tier 3	49	50	49	52	48	52	52	52
Tier 4	51	50	51	50	48	50	51	49
Tier 5	46	50	48	48	52	49	43	46
MW	250	250	250	250	250	250	250	250

Bucht	N6 - 1	N6 - 2	N6 - 3	N6 - 4	N6 - 5	N6 - 6	N6 - 7	N6 - 8
Tier 1	52	52	52	48	51	52	49	51
Tier 2	52	51	49	50	48	50	49	50
Tier 3	50	50	50	49	52	52	52	49
Tier 4	49	48	51	51	51	52	50	52
Tier 5	47	49	48	52	48	44	50	48
MW	250	250	250	250	250	250	250	250

Bucht	N7 - 1	N7 - 2	N7 - 3	N7 - 4	N7 - 5	N7 - 6	N7 - 7	N7 - 8
Tier 1	51	50	50	50	51	50	50	52
Tier 2	51	48	52	48	50	52	52	52
Tier 3	51	50	52	50	51	50	52	51
Tier 4	51	52	49	51	49	52	50	50
Tier 5	46	50	47	51	49	46	46	45
MW	250	250	250	250	250	250	250	250

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 22: Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 1 am Ende des ersten Wachstumsabschnittes (12. Lebenstag). Lebendmasse in g.

Bucht	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5	MW	Ausgewähltes Tier (Gewicht)	Tiere für GKA
N2 - 1	96	94	76	85	73	84,8	85	85
N2 - 2	76	61	72	92	81	76,4	76	76
N2 - 3	70	66	79	64	70	69,8	70	
N2 - 4	77	81	75	71	66	74	75	75
N2 - 5	78	103	136	144	109	114	109	
N2 - 6	61	93	70	97	82	80,6	82	82
N2 - 7	69	87	91	74	80	80,2	80	80
N2 - 8	78	68	78	101	76	80,2	78	78
						MW	81,9	79,3

Bucht	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5	MW	Ausgewähltes Tier (Gewicht)	Tiere für GKA
N3 - 1	131	139	x215	144	97	127,75	101	
N3 - 2	111	126	157	103	124	124,2	124	124
N3 - 3	117	106	169	101	127	124	127	127
N3 - 4	164	120	160	136	142	144,4	142	142
N3 - 5	106	123	154	129	203	143	154	154
N3 - 6	155	174	180	127	200	167,2	174	
N3 - 7	103	120	123	138	125	121,8	120	120
N3 - 8	202	156	152	137	150	159,4	156	156
						MW	137,3	137,2

Bucht	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5	MW	Ausgewähltes Tier (Gewicht)	Tiere für GKA
N4 - 1	313	150	175	230	165	206,6	230	
N4 - 2	193	193	203	152	205	189,2	193	193
N4 - 3	188	296	160	179	216	207,8	216	216
N4 - 4	196	251	227	148	206	205,6	206	206
N4 - 5	172	176	276	199	190	202,6	199	199
N4 - 6	173	192	255	160	224	200,8	192	192
N4 - 7	199	255	176	171	185	197,2	199	199
N4 - 8	222	213	130	215	168	189,6	168	
						MW	200,4	200,8

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 22 (Fortsetzung): Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 1 am Ende des ersten Wachstumsabschnittes (12. Lebenstag). Lebendmasse in g.

Bucht	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5	MW	Ausgewähltes Tier (Gewicht)	Tiere für GKA
N5 - 1	326	252	249	293	290	282	290	290
N5 - 2	207	358	236	276	339	283,2	276	276
N5 - 3	221	198	266	329	304	263,6	266	266
N5 - 4	280	344	307	275	225	286,2	307	307
N5 - 5	279	316	272	293	284	288,8	293	293
N5 - 6	284	297	202	175	203	232,2	203	
N5 - 7	318	384	297	266	223	297,6	297	297
N5 - 8	321	319	242	450	285	323,4	321	
						MW	281,6	288,2

Bucht	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5	MW	Ausgewähltes Tier (Gewicht)	Tiere für GKA
N6 - 1	397	419	497	331	318	392,4	419	419
N6 - 2	439	296	463	320	471	397,8	320	
N6 - 3	515	448	485	425	468	468,2	468	
N6 - 4	413	402	234	295	379	344,6	379	379
N6 - 5	469	426	319	438	309	392,2	426	426
N6 - 6	373	401	421	188	418	360,2	373	373
N6 - 7	522	514	479	260	460	447	460	460
N6 - 8	403	382	357	274	444	372	382	382
						MW	403,4	406,5

Bucht	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5	MW	Ausgewähltes Tier (Gewicht)	Tiere für GKA
N7 - 1	510	472	453	490	455	476	472	472
N7 - 2	486	528	489	379	429	462,2	486	486
N7 - 3	516	486	389	455		461,5	455	455
N7 - 4	430	493	489	421	388	444,2	430	
N7 - 5	557	554	487	478		519	487	
N7 - 6	457	471	464	450	480	464,4	464	464
N7 - 7	503	465	457	560	302	457,4	457	457
N7 - 8	421	444	439	526	463	458,6	463	463
						MW	464,3	466,2

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 23: Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 1 zu Beginn des zweiten Wachstumsabschnittes (12. Lebenstag).

Bucht	N2 - 1	N2 - 2	N2 - 3	N2 - 4	N2 - 5	N2 - 6	N2 - 7	N2 - 8
Tier 1	435	400	414	439	401	402	397	398
Tier 2	328	407	442	392	432	434	424	410
Tier 3	436	401	393	398	425	427	441	433
Tier 4	447	422	421	435	396	406	425	394
Tier 5	426	430	398	402	416	399	380	425
MW	414,4	412,0	413,6	413,2	414,0	413,6	413,4	412,0

Bucht	N3 - 1	N3 - 2	N3 - 3	N3 - 4	N3 - 5	N3 - 6	N3 - 7	N3 - 8
Tier 1	407	405	417	448	391	415	403	398
Tier 2	409	397	426	395	415	433	433	437
Tier 3	416	447	394	425	410	420	390	425
Tier 4	427	400	417	417	444	401	396	397
Tier 5	405	417	416	382	408	399	444	407
MW	412,8	413,2	414,0	413,4	413,6	413,6	413,2	412,8

Bucht	N4 - 1	N4 - 2	N4 - 3	N4 - 4	N4 - 5	N4 - 6	N4 - 7	N4 - 8
Tier 1	418	407	430	432	417	393	417	430
Tier 2	427	403	411	418	428	433	438	395
Tier 3	390	411	436	426	431	450	437	433
Tier 4	433	425	391	394	398	444	405	421
Tier 5	399	421	403	397	392	353	372	388
MW	413,4	413,4	414,2	413,4	413,2	414,6	413,8	413,4

Bucht	N5 - 1	N5 - 2	N5 - 3	N5 - 4	N5 - 5	N5 - 6	N5 - 7	N5 - 8
Tier 1	422	400	417	402	429	402	410	404
Tier 2	424	395	416	431	403	450	418	410
Tier 3	440	442	410	412	423	450	409	437
Tier 4	420	409	411	414	412	405	436	397
Tier 5	370	423	410	408	400	364	391	418
MW	415,2	413,8	412,8	413,4	413,4	414,2	412,8	413,2

Bucht	N6 - 1	N6 - 2	N6 - 3	N6 - 4	N6 - 5	N6 - 6	N6 - 7	N6 - 8
Tier 1	437	393	435	426	442	433	427	405
Tier 2	411	406	434	423	419	402	445	391
Tier 3	440	433	422	417	433	424	436	402
Tier 4	401	407	392	421	439	447	433	426
Tier 5	375	435	385	375	338	365	-	439
MW	412,8	414,8	413,6	412,4	414,2	414,2	435,3	412,6

Bucht	N7 - 1	N7 - 2	N7 - 3	N7 - 4	N7 - 5	N7 - 6	N7 - 7	N7 - 8
Tier 1	416	397	408	439	413	390	432	409
Tier 2	398	416	435	408	415	434	442	419
Tier 3	414	426	402	448	428	401	443	399
Tier 4	439	434	423	390	439	439	393	428
Tier 5	400	390	403	380	374	402	360	412
MW	413,4	412,6	414,2	413,0	413,8	413,2	414,0	413,4

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 24: Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 1 am Ende des zweiten Wachstumsabschnittes (24. Lebenstag). Lebendmasse in g.

Bucht	N2 - 1	N2 - 2	N2 - 3	N2 - 4	N2 - 5	N2 - 6	N2 - 7	N2 - 8	
Tier 1	724	709	688	797	634	751	808	777	
Tier 2	709	713	700	820	764	776	772	682	
Tier 3	793	715	748	704	747	770	878	769	
Tier 4	760	894	707	670	660	725	890	739	
Tier 5	757	666		824	782		695	808	
MW	748	739	711	763	717	756	809	755	MW
Ausgewähltes Tier	757	715	707	797	747	751	808	739	753
Ganzkörper-Tiere	757	715		797	747	751		739	751

Bucht	N3 - 1	N3 - 2	N3 - 3	N3 - 4	N3 - 5	N3 - 6	N3 - 7	N3 - 8	
Tier 1	853	794	871	756	705	714	817	765	
Tier 2	759	725	874	920	671	754	823	745	
Tier 3	891	734	781	704	758	675	699	991	
Tier 4	761	725	868	707	903	947	788	891	
Tier 5	804	847	692	785	643	897	816	972	
MW	814	765	817	774	736	797	789	873	MW
Ausgewähltes Tier	804	734	781	785	705	754	788	891	780
Ganzkörper -Tiere	804	734	781	785		754	788		774

Bucht	N4 - 1	N4 - 2	N4 - 3	N4 - 4	N4 - 5	N4 - 6	N4 - 7	N4 - 8	
Tier 1	1107	1042	1029	817	1101	1195	904	902	
Tier 2	1441	1057	1113	980	967	760	790	1072	
Tier 3	1343	931	1261	1230	920	1041	1164	1199	
Tier 4	1358	1285	1020	1206	816	1449	1217	1117	
Tier 5	944	862	1238	1042	851	1348	987	983	
MW	1239	1035	1132	1055	931	1159	1012	1055	MW
Ausgewähltes Tier	1343	1042	1113	1042	920	1195	987	1072	1089
Ganzkörper -Tiere		1042	1113	1042		1195	987	1072	1075

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 24 (Fortsetzung): Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 1 am Ende des zweiten Wachstumsabschnittes (24. Lebenstag). Lebendmasse in g.

Bucht	N5 - 1	N5 - 2	N5 - 3	N5 - 4	N5 - 5	N5 - 6	N5 - 7	N5 - 8	
Tier 1	936	1120	1407	1203	1419	1317	1352	1065	
Tier 2	1026	980	1203	1136	1453	1177	1127	1351	
Tier 3	1383	1511	1101	1385	1123	1355	1236	1281	
Tier 4	1299	1353	1133	1172	1096	1390	1081	1366	
Tier 5	1320	1238	1275	1545	1265	1507	1185	1377	
MW	1192	1240	1223	1288	1271	1349	1196	1288	MW
Ausgewähltes Tier	1299	1238	1203	1203	1265	1355	1185	1281	1253
Ganzkörper-Tiere	1299	1238	1203	1203	1265			1281	1248

Bucht	N6 - 1	N6 - 2	N6 - 3	N6 - 4	N6 - 5	N6 - 6	N6 - 7	N6 - 8	
Tier 1	1418	1336	1154	1620	1343	1654	1254	1537	
Tier 2	1428	1265	1383	1239	981	1683	1401	1591	
Tier 3	1131	1293	1409	1433	1470	1062	1354	1599	
Tier 4	1637	1393	1603	1417	1479	1518	1705	1767	
Tier 5	1337	1644	1460	1633		1372		1356	
MW	1390	1386	1401	1468	1318	1457	1428	1570	MW
Ausgewähltes Tier	1337	1393	1409	1433	1343	1518	1401	1591	1428
Ganzkörper -Tiere		1393	1409	1422	1343	1518	1401		1414

Bucht	N7 - 1	N7 - 2	N7 - 3	N7 - 4	N7 - 5	N7 - 6	N7 - 7	N7 - 8	
Tier 1	1554	1532	1527	1558	1493	1650	1518	1515	
Tier 2	1416	1509	1491	1602	1483	1692	1566	1651	
Tier 3	1631	1638	1520	1483	1697	1492	1797	1523	
Tier 4	1622	1488	1466	1660	1698	1573	1517	1660	
Tier 5	1517	1602	1616	1696	1382	1614	1765	1520	
MW	1548	1553	1524	1599	1550	1604	1632	1573	MW
Ausgewähltes Tier	1554	1532	1527	1602	1493	1614	1566	1523	1551
Ganzkörper -Tiere	1554	1532	1527	1602			1566	1523	1551

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 25: Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 1 zu Beginn des dritten Wachstumsabschnittes (24. Lebenstag).

Bucht	N2 - 1	N2 - 2	N2 - 3	N2 - 4	N2 - 5	N2 - 6	N2 - 7	N2 - 8
Tier 1	889	1411	880	880	1134	952	1156	1360
Tier 2	962	999	1234	1172	1156	1093	1094	940
Tier 3	1238	899	1150	1219	1050	1211	1341	1041
Tier 4	1011	1399	1351	920	1139	1088	1048	1228
Tier 5	1256	971	888	1301	1328	1301	1201	1079
MW	1071,2	1135,8	1100,6	1098,4	1161,4	1129,0	1168,0	1129,6

Bucht	N3 - 1	N3 - 2	N3 - 3	N3 - 4	N3 - 5	N3 - 6	N3 - 7	N3 - 8
Tier 1	1339	917	970	839	1118	1163	888	975
Tier 2	1066	1055	1258	1311	1100	1069	816	1101
Tier 3	898	1167	1117	1011	1020	1077	1033	988
Tier 4	890	1148	1202	997	1044	905	1180	1188
Tier 5	951	1350	1057	988	979	1056	1360	1172
MW	1028,8	1127,4	1120,8	1029,2	1052,2	1054,0	1055,4	1084,8

Bucht	N4 - 1	N4 - 2	N4 - 3	N4 - 4	N4 - 5	N4 - 6	N4 - 7	N4 - 8
Tier 1	1081	1252	937	1320	888	1014	936	1024
Tier 2	929	1275	1208	971	1040	1100	1140	999
Tier 3	952	1047	890	1069	1094	1276	1033	1043
Tier 4	956	1158	981	1320	1252	1134	1129	1084
Tier 5	1307	937	1202	998	1015	941	1025	1300
MW	1045,0	1133,8	1043,6	1135,6	1057,8	1093,0	1052,6	1090,0

Bucht	N5 - 1	N5 - 2	N5 - 3	N5 - 4	N5 - 5	N5 - 6	N5 - 7	N5 - 8
Tier 1	887	947	1300	820	958	1331	1188	956
Tier 2	1394	1113	1050	1097	1082	991	1140	898
Tier 3	1270	1043	1057	1126	1170	1039	1014	952
Tier 4	840	1380	907	1253	961	1061	1033	1067
Tier 5	1353	1080	1079	1112	1242	1322	922	1339
MW	1148,8	1112,6	1078,6	1081,6	1082,6	1148,8	1059,4	1042,4

Bucht	N6 - 1	N6 - 2	N6 - 3	N6 - 4	N6 - 5	N6 - 6	N6 - 7	N6 - 8
Tier 1	947	1043	1020	1183	949	956	893	951
Tier 2	1067	1127	930	947	967	1171	1001	1157
Tier 3	921	1312	1231	1296	1124	839	1094	1138
Tier 4	1049	1046	1300	900	1200	1193	1050	1141
Tier 5	1178	1107	990	1117	1296	1056	1220	920
MW	1032,4	1127,0	1094,2	1088,6	1107,2	1043,0	1051,6	1061,4

Bucht	N7 - 1	N7 - 2	N7 - 3	N7 - 4	N7 - 5	N7 - 6	N7 - 7	N7 - 8
Tier 1	837	798	1420	1302	1177	1070	993	1217
Tier 2	936	850	1107	930	1258	1012	1366	1166
Tier 3	1051	1151	1070	899	1171	1359	970	1088
Tier 4	1067	1237	999	880	900	962	988	1205
Tier 5	1290	940	970	1250	1240	1032	1140	1108
MW	1036,2	995,2	1113,2	1052,2	1149,2	1087,0	1091,4	1156,8

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 26: Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 1 am Ende des dritten Wachstumsabschnittes (36. Lebenstag). Lebendmasse in g.

Bucht	N2 - 1	N2 - 2	N2 - 3	N2 - 4	N2 - 5	N2 - 6	N2 - 7	N2 - 8	
Tier 1	1510	2234	1238	2101	1748	1491	2187	1570	
Tier 2	1857	1490	1820	1781	1973	2024	2015	1585	
Tier 3	2171	1242	2107	1224	1716	1808	1753	1401	
Tier 4	1192	2050	1304	1934	1728	1937	1827	2179	
Tier 5	1326	1394		1303	1942	1762	1541	2138	
MW	1611	1682	1617	1668	1821	1804	1864	1774	MW
Ausgewähltes Tier	1510	1490	1820	1781	1748	1808	1827	1585	1696
Ganzkörper-Tiere	1510		1820	1781	1748	1808		1585	1709

Spreizer, aus Versuch genommen

Bucht	N3 - 1	N3 - 2	N3 - 3	N3 - 4	N3 - 5	N3 - 6	N3 - 7	N3 - 8	
Tier 1	2255	2243	2058	2002	1900	2448	1799	2085	
Tier 2	2651	1484	2443	1812	1810	2081	1470	2096	
Tier 3	1900	2324	2039	1451	1681	2184	1980	1688	
Tier 4	1550	2026	2299	2312	2298	1980	2468	1806	
Tier 5	1567	1564		1651	2034	1642	1361	2201	
MW	1984	1928	2209	1845	1944	2067	1815	1975	MW
Ausgewähltes Tier	1900	2026	2299	1812	1900	2081	1799	2085	1987
Ganzkörper -Tiere	1900	2026		1812	1900	2081		2085	1967

Bucht	N4 - 1	N4 - 2	N4 - 3	N4 - 4	N4 - 5	N4 - 6	N4 - 7	N4 - 8	
Tier 1	2716	1793	2142	1824	2106	2613	2280	2164	
Tier 2	2318	2567	2399	2701	2302	2231	2397	2201	
Tier 3	2247	2069	1943	2431	2511	2255	2034	2711	
Tier 4	2338	2680	2649	1822	2450	2503	2270	2288	
Tier 5	2131	2155	2775	2201	1751	1691	1788	2111	
MW	2350	2252	2381	2195	2224	2258	2153	2295	MW
Ausgewähltes Tier	2338	2155	2399	2201	2302	2255	2034	2288	2246
Ganzkörper -Tiere	2238	2155		2201	2302	2255		2288	2240

Bucht	N5 - 1	N5 - 2	N5 - 3	N5 - 4	N5 - 5	N5 - 6	N5 - 7	N5 - 8	
Tier 1	1799	2455	2663	2338	2426	2391	2736	2946	
Tier 2	1920	2151	2178	2571	2027	3004	2012	2290	
Tier 3	2901	2534	2847	1825	2548	2031	2216	2399	
Tier 4	3063	2110	2357	2361	2627	2526	2440	2302	
Tier 5	3010	2964	2305	2119	2044	3059	2427	2280	
MW	2538	2442	2470	2242	2334	2602	2366	2443	MW
Ausgewähltes Tier	2901	2455	2357	2338	2426	2526	2427	2399	2479
Ganzkörper-Tiere		2455	2357		2426	2526	2427	2399	2432

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 26 (Fortsetzung): Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 1 am Ende des dritten Wachstumsabschnittes (36. Lebensstag). Lebendmasse in g.

Bucht	N6 - 1	N6 - 2	N6 - 3	N6 - 4	N6 - 5	N6 - 6	N6 - 7	N6 - 8	
Tier 1	2845	2624	3018	2066	2183	2275	2457	2504	
Tier 2	2972	2830	2399	2659	2926	2481	2307	2909	
Tier 3	2364	3125	2979	2209	2147	2841	2545	2970	
Tier 4	2397	2615	2364	2726	2616	2171	2180	2885	
Tier 5	2188	2490	2238	2579	2969	2458	2889	2244	
MW	2553	2736	2599	2447	2568	2445	2475	2702	MW
Ausgewähltes Tier	2397	2830	2399	2579	2616	2458	2457	2885	2577
Ganzkörper - Tiere		2830	2399	2579	2616	2458	2457		2557

Bucht	N7 - 1	N7 - 2	N7 - 3	N7 - 4	N7 - 5	N7 - 6	N7 - 7	N7 - 8	
Tier 1	2939	2732	2530	2264	3085	2674	2526	2901	
Tier 2	2702	2622	3066	2509	2383	2620	2611	2702	
Tier 3	2330	2971	2488	2580	2857	2613	2566	2855	
Tier 4	2846	2402	2465	2919	2581	2691	3077	2740	
Tier 5	2369	2208	2587	2861	3038	2966	2917	2555	
MW	2637	2587	2627	2626	2788	2712	2739	2750	MW
Ausgewähltes Tier	2702	2622	2587	2580	2857	2691	2611	2740	2673
Ganzkörper - Tiere	2702	2622	2587			2691	2611	2740	2666

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 27: Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 1. Erster Wachstumsabschnitt (1.-12. Lebenstag).

Proben Nummer	Proben Bezeichnung	% TS	% XA	% N in TS	% XP in TS
3898	Ganzkörper N2 - 1	31,7673	9,8379	8,3602	52,2510
3899	Ganzkörper N2 - 2	31,0291	10,1334	7,5668	47,2923
3900	Ganzkörper N2 - 4	31,0745	10,0592	8,5507	53,4421
3901	Ganzkörper N2 - 6	31,4889	8,9185	7,5347	47,0920
3902	Ganzkörper N2 - 7	33,0273	8,7384	7,4696	46,6848
3903	Ganzkörper N2 - 8	30,2568	10,1510	8,5009	53,1306
3904	Ganzkörper N3 - 2	29,5638	10,8701	9,1399	57,1243
3905	Ganzkörper N3 - 3	31,8048	8,9469	8,3041	51,9006
3906	Ganzkörper N3 - 4	31,7545	9,4015	7,7170	48,2313
3907	Ganzkörper N3 - 5	32,2358	9,4881	8,2430	51,5188
3908	Ganzkörper N3 - 7	29,6156	9,5844	8,9362	55,8510
3909	Ganzkörper N3 - 8	30,1672	9,7662	8,5885	53,6779
3910	Ganzkörper N4 - 2	30,0369	9,8222	9,1774	57,3586
3911	Ganzkörper N4 - 3	29,9123	9,5178	8,8469	55,2929
3912	Ganzkörper N4 - 4	31,5417	10,0773	8,6555	54,0970
3913	Ganzkörper N4 - 5	30,3844	9,9951	8,9075	55,6721
3914	Ganzkörper N4 - 6	31,0887	10,4111	8,8720	55,4502
3915	Ganzkörper N4 - 7	29,5888	9,7253	9,1934	57,4585
3916	Ganzkörper N5 - 1	32,0638	8,7107	8,2719	51,6996
3917	Ganzkörper N5 - 2	31,4408	9,0346	8,5166	53,2290
3918	Ganzkörper N5 - 3	29,9992	9,8047	8,7309	54,5682
3919	Ganzkörper N5 - 4	31,6156	8,9830	8,0988	50,6178
3920	Ganzkörper N5 - 5	32,0981	8,8036	8,0625	50,3904
3921	Ganzkörper N5 - 6	32,2432	8,8677	8,3143	51,9645
3922	Ganzkörper N6 - 1	31,1520	8,3890	8,6922	54,3263
3923	Ganzkörper N6 - 4	30,6268	9,2027	9,0493	56,5580
3924	Ganzkörper N6 - 5	31,3934	8,5502	8,4129	52,5807
3925	Ganzkörper N6 - 6	29,7637	8,6034	9,0617	56,6357
3926	Ganzkörper N6 - 7	30,5653	8,7338	8,6546	54,0911
3927	Ganzkörper N6 - 8	29,4554	9,7559	9,0000	56,2503
3928	Ganzkörper N7 - 1	29,9250	8,1533	9,2996	58,1224
3929	Ganzkörper N7 - 2	28,4922	9,0815	9,8894	61,8086
3930	Ganzkörper N7 - 3	28,2823	9,3858	10,0720	62,9501
3931	Ganzkörper N7 - 6	28,6702	8,8308	9,7715	61,0717
3932	Ganzkörper N7 - 7	27,4422	8,8349	9,9602	62,2514
3933	Ganzkörper N7 - 8	27,8282	8,5156	10,0150	62,5939
3699	Ganzkörper 0 - 1/3	22,3794	8,4882	11,1920	69,9500
3700	Ganzkörper 0 - 2/3	22,5008	8,6417	10,8045	67,5280
3701	Ganzkörper 0 - 3/3	22,7312	8,4366	11,0240	68,9003

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 28: Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 1. Zweiter Wachstumsabschnitt (12.-24. Lebenstag).

Proben Nummer	Proben Bezeichnung	% TS	% XA	% N in TS	% XP in TS
3934	Ganzkörper N2 - 1	37,5281	9,3447	6,4112	40,0700
3935	Ganzkörper N2 - 2	37,4540	8,4595	7,0585	44,1158
3936	Ganzkörper N2 - 4	36,1683	7,6991	7,1098	44,4363
3937	Ganzkörper N2 - 5	39,8488	7,0458	6,3535	39,7095
3938	Ganzkörper N2 - 6	40,4720	7,8635	6,5762	41,1009
3939	Ganzkörper N2 - 8	39,9592	7,1794	5,6805	35,5034
3940	Ganzkörper N3 - 1	33,9111	8,5167	7,8378	48,9865
3941	Ganzkörper N3 - 2	34,9564	8,8302	8,3338	52,0864
3942	Ganzkörper N3 - 3	35,8820	8,7294	7,9382	49,6140
3943	Ganzkörper N3 - 4	34,7207	8,2970	8,3184	51,9899
3944	Ganzkörper N3 - 5	35,1680	8,1880	7,8048	48,7801
3945	Ganzkörper N3 - 6	35,4919	8,4269	8,0185	50,1153
3946	Ganzkörper N4 - 2	33,6877	8,6665	8,7053	54,4079
3947	Ganzkörper N4 - 3	33,8415	7,9126	8,1846	51,1539
3948	Ganzkörper N4 - 4	32,6638	8,3621	8,9601	56,0004
3949	Ganzkörper N4 - 6	33,4441	7,6061	8,3387	52,1169
3950	Ganzkörper N4 - 7	32,9293	7,8856	9,0719	56,6992
3951	Ganzkörper N4 - 8	33,8515	8,2284	8,8274	55,1712
3952	Ganzkörper N5 - 1	33,3767	7,5660	7,7752	48,5949
3953	Ganzkörper N5 - 2	35,3356	7,2765	8,3550	52,2190
3954	Ganzkörper N5 - 3	33,8700	8,8917	7,7650	48,5312
3955	Ganzkörper N5 - 4	33,2837	8,0536	8,5159	53,2242
3956	Ganzkörper N5 - 5	32,5221	7,9259	8,6861	54,2881
3957	Ganzkörper N5 - 8	34,0323	7,4519	8,2477	51,5484
3958	Ganzkörper N6 - 2	31,3623	7,7703	8,7768	54,8549
3959	Ganzkörper N6 - 3	31,8055	7,8323	9,0434	56,5213
3960	Ganzkörper N6 - 4	31,5974	7,7883	8,6694	54,1837
3961	Ganzkörper N6 - 5	31,7161	7,6629	9,1317	57,0728
3962	Ganzkörper N6 - 6	31,6371	7,5554	8,6658	54,1610
3963	Ganzkörper N6 - 7	31,9120	7,5733	8,8171	55,1066
3964	Ganzkörper N7 - 1	32,1850	7,2195	8,1342	50,8389
3965	Ganzkörper N7 - 2	30,3894	8,1364	9,9308	62,0673
3966	Ganzkörper N7 - 3	30,1800	8,0283	9,6806	60,5036
3967	Ganzkörper N7 - 4	32,6471	7,5349	8,8253	55,1580
3968	Ganzkörper N7 - 7	31,2685	8,2257	9,5588	59,7426
3969	Ganzkörper N7 - 8	32,3109	6,8055	8,9236	55,7726
3892	Ganzkörper 0 - 1/3	30,6985	8,7266	9,3119	58,1991
3893	Ganzkörper 0 - 2/3	31,1890	8,5141	8,8785	55,4903
3894	Ganzkörper 0 - 3/3	30,4369	8,6749	9,2835	58,0216

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 29: Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 1. Dritter Wachstumsabschnitt (25.-36. Lebenstag).

Proben Nummer	Proben Bezeichnung	% TS	% XA	% N in TS	% XP in TS
3970	Ganzkörper N2 - 1	39,8873	6,4824	6,5826	41,1410
3971	Ganzkörper N2 - 3	39,9302	6,4514	6,2311	38,9445
3972	Ganzkörper N2 - 4	38,3426	7,1439	7,5018	46,8865
3973	Ganzkörper N2 - 5	40,6692	6,3323	6,1454	38,4090
3974	Ganzkörper N2 - 6	39,3210	7,1691	6,9067	43,1671
3975	Ganzkörper N2 - 8	40,2272	6,9749	6,7487	42,1791
3976	Ganzkörper N3 - 1	36,7942	7,5030	7,4447	46,5291
3977	Ganzkörper N3 - 2	36,5631	7,6986	7,3856	46,1599
3978	Ganzkörper N3 - 4	36,7221	8,0847	7,8506	49,0662
3979	Ganzkörper N3 - 5	37,2488	7,1861	7,3769	46,1056
3980	Ganzkörper N3 - 6	36,8930	7,6058	7,7578	48,4865
3981	Ganzkörper N3 - 8	36,8724	7,6046	7,4929	46,8305
3982	Ganzkörper N4 - 1	35,7503	7,2673	7,8217	48,8859
3983	Ganzkörper N4 - 2	36,2979	6,5971	7,7145	48,2156
3984	Ganzkörper N4 - 3	37,4641	6,9597	7,4994	46,8715
3985	Ganzkörper N4 - 4	36,1203	6,7159	8,0010	50,0065
3986	Ganzkörper N4 - 5	36,1785	7,1222	7,5285	47,0532
3987	Ganzkörper N4 - 6	35,6890	6,9997	7,8716	49,1976
3988	Ganzkörper N5 - 1	36,0594	6,6839	7,8548	49,0926
3989	Ganzkörper N5 - 2	34,5474	7,4209	8,3581	52,2381
3990	Ganzkörper N5 - 3	35,9360	7,1855	7,8147	48,8420
3991	Ganzkörper N5 - 4	35,7584	6,7696	7,7711	48,5691
3992	Ganzkörper N5 - 5	35,4424	7,6300	8,3290	52,0563
3993	Ganzkörper N5 - 6	34,5911	7,7256	8,3492	52,1828
3994	Ganzkörper N6 - 1	33,6188	7,8688	8,4013	52,5078
3995	Ganzkörper N6 - 2	34,1310	7,1880	8,3118	51,9487
3996	Ganzkörper N6 - 3	35,1261	7,2590	8,8438	55,2740
3997	Ganzkörper N6 - 4	32,9081	7,2060	9,0823	56,7642
3998	Ganzkörper N6 - 5	32,8612	7,8698	9,2346	57,7162
3999	Ganzkörper N6 - 6			Glas kaputt	
4000	Ganzkörper N7 - 1	34,8917	7,5602	8,9460	55,9123
4001	Ganzkörper N7 - 2	33,2066	7,7605	9,4291	58,9321
4002	Ganzkörper N7 - 3	31,9543	8,0346	10,0146	62,5913
4003	Ganzkörper N7 - 6	33,3185	7,4285	9,3152	58,2202
4004	Ganzkörper N7 - 7	32,0093	7,8791	9,8365	61,4782
4005	Ganzkörper N7 - 8	33,6088	7,0281	8,9310	55,8188
3895	Ganzkörper 0 - 1/3	33,3401	7,0309	8,2804	51,7527
3896	Ganzkörper 0 - 2/3	34,9789	7,0134	8,1286	50,8038
3897	Ganzkörper 0 - 3/3	34,8951	6,7388	7,4223	46,3891

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 30: N-Aufnahme im Wachstumsversuch im ersten Wachstumsabschnitt (1.-12. LT). Experiment 1.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N- Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
N2-1	21,5	21516,6	93,09	20,03	20029,45	1,73	346,13	2108,78	0,16
N2-2	16,5	16450,0	93,09	15,31	15313,31	1,73	264,63	1683,27	0,16
N2-2	10,0	10000,0	93,09	9,31	9309,00	1,73	160,87	1060,70	0,15
N2-4	18,4	18416,6	93,09	17,14	17144,08	1,73	296,26	1908,87	0,16
N2-5	17,4	17350,0	93,09	16,15	16151,12	1,73	279,10	1491,12	0,19
N2-6	16,3	16266,6	93,09	15,14	15142,64	1,73	261,68	1628,45	0,16
N2-7	13,4	13366,6	93,09	12,44	12443,03	1,73	215,03	1340,89	0,16
N2-8	11,4	11400,0	93,09	10,61	10612,26	1,73	183,39	1143,60	0,16
N3-1	21,6	21600,0	89,72	19,38	19378,91	2,51	486,29	2311,89	0,21
N3-2	24,5	24483,3	89,72	21,97	21966,45	2,51	551,23	2828,24	0,19
N3-3	17,4	17366,6	89,72	15,581	15581,37	2,51	391,00	2007,69	0,19
N3-4	21,8	21816,6	89,72	19,574	19573,91	2,51	491,19	2341,59	0,21
N3-5	26,8	26750,0	89,72	24,000	24000,10	2,51	602,26	2885,02	0,21
N3-6	17,0	17033,3	89,72	15,282	15282,31	2,51	383,49	1697,27	0,23
N3-7	16,7	16666,6	89,72	14,95	14953,33	2,51	375,24	1943,26	0,19
N3-8	20,4	20383,3	89,72	18,29	18287,93	2,51	458,92	2081,47	0,22
N4-1	29,9	29933,3	90,26	27,02	27017,01	3,21	866,34	3429,08	0,25
N4-2	26,0	26033,3	90,26	23,50	23497,69	3,21	753,49	3126,06	0,24
N4-3	33,3	33366,6	90,26	30,12	30116,75	3,21	965,74	3810,58	0,25
N4-4	26,9	26950,0	90,26	24,33	24325,07	3,21	780,02	3095,50	0,25
N4-5	22,9	22933,3	90,26	20,70	20699,63	3,21	663,77	2655,06	0,25
N4-6	25,6	25600,0	90,26	23,11	23106,56	3,21	740,95	2978,02	0,25
N4-7	31,1	31116,6	90,26	28,09	28085,90	3,21	900,62	3655,01	0,25
N4-8	21,9	21933,3	90,26	19,80	19797,03	3,21	634,82	2630,79	0,24

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 30 (Fortsetzung): N-Aufnahme im Wachstumsversuch im ersten Wachstumsabschnitt (1.-12. LT). Experiment 1.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N- Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
N5-1	29,8	29850,0	89,25	26,64	26642,44	3,96	1055,78	3516,43	0,30
N5-2	29,0	29083,3	89,25	25,96	25956,88	3,96	1028,62	3417,67	0,30
N5-3	31,2	31283,3	89,25	27,92	27920,38	3,96	1106,42	3828,60	0,29
N5-4	31,6	31616,6	89,25	28,22	28217,88	3,96	1118,21	3693,13	0,30
N5-5	30,3	30333,3	89,25	27,07	27072,50	3,96	1072,82	3524,98	0,30
N5-6	25,7	25700,0	89,25	22,94	22937,25	3,96	908,95	3375,66	0,27
N5-7	27,1	27150,0	89,25	24,23	24231,38	3,96	960,24	3101,31	0,31
N5-8	35,7	35733,3	89,25	31,89	31892,00	3,96	1263,81	3890,59	0,32
N6-1	37,8	37850,0	90,57	34,28	34282,30	4,61	1582,01	4347,13	0,36
N6-2	33,6	33616,6	90,57	30,45	30446,62	4,61	1405,01	3829,50	0,37
N6-3	38,2	38233,3	90,57	34,63	34627,93	4,61	1597,96	3949,50	0,40
N6-4	34,9	34966,6	90,57	31,67	31669,31	4,61	1461,43	4335,53	0,34
N6-5	33,8	33850,0	90,57	30,66	30657,95	4,61	1414,76	3888,73	0,36
N6-6	36,7	36750,0	90,57	33,28	33284,48	4,61	1535,96	4439,80	0,35
N6-7	35,2	35250,0	90,57	31,93	31925,93	4,61	1473,27	3744,67	0,39
N6-8	33,1	33150,0	90,57	30,02	30023,96	4,61	1385,50	3929,50	0,35
N7-1	36,4	36450,0	89,93	32,78	32781,07	5,36	1757,77	4301,21	0,41
N7-2	34,6	34600,0	89,93	31,12	31115,78	5,36	1668,47	4156,08	0,40
N7-3	34,6	3400,00	89,93	31,12	31115,78	5,36	1668,47	4159,89	0,40
N7-4	35,4	35400,0	89,93	31,84	31835,22	5,36	1707,05	4355,33	0,39
N7-5	38,2	38200,0	89,93	34,35	34353,26	5,36	1842,07	4276,33	0,43
N7-6	33,3	33383,3	89,93	30,02	30021,63	5,36	1609,80	3998,44	0,40
N7-7	33,1	33116,6	89,93	29,78	29781,82	5,36	1596,94	4003,08	0,40
N7-8	31,7	31750,0	89,93	28,55	28552,78	5,36	1531,04	3831,81	0,40

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 31: N-Aufnahme im Wachstumsversuch im zweiten Wachstumsabschnitt (12.-24. LT). Experiment 1.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N- Aufn./d(mg)	N- Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
N2-1	70,36	70358,33	93,09	65,50	65495,22	1,73	1131,81	1627,56	0,70
N2-2	73,62	73616,67	93,09	68,53	68529,76	1,73	1184,25	1714,40	0,69
N2-2	69,60	69600,00	93,09	64,79	64790,64	1,73	1119,64	1646,88	0,68
N2-4	83,99	83991,67	93,09	78,19	78187,84	1,73	1351,15	1928,29	0,70
N2-5	71,53	71525,00	93,09	66,58	66582,62	1,73	1150,60	1685,36	0,68
N2-6	69,10	69100,00	93,09	64,33	64325,19	1,73	1111,59	1592,85	0,70
N2-7	72,97	72966,67	93,09	67,92	67924,67	1,73	1173,79	1632,84	0,72
N2-8	76,23	76233,33	93,09	70,97	70965,61	1,73	1226,34	1759,40	0,70
N3-1	68,91	68908,33	89,72	61,82	61822,63	2,51	1551,37	2152,90	0,72
N3-2	68,72	68716,67	89,72	61,65	61652,59	2,51	1547,11	2205,43	0,70
N3-3	98,66	98658,33	89,72	88,516	88516,26	2,51	2221,22	3074,41	0,72
N3-4	71,80	71800,00	89,72	64,419	64418,96	2,51	1616,53	2291,90	0,71
N3-5	92,50	92500,00	89,72	82,991	82991,00	2,51	2082,57	3018,03	0,69
N3-6	82,20	82200,00	89,72	73,750	73749,84	2,51	1850,68	2590,08	0,71
N3-7	82,63	82625,00	89,72	74,13	74131,15	2,51	1860,24	2616,81	0,71
N3-8	96,20	96200,00	89,72	86,31	86310,64	2,51	2165,88	2912,21	0,74
N4-1	103,07	103066,6	90,26	93,03	93025,17	3,21	2983,00	3390,60	0,88
N4-2	76,63	76625,00	90,26	69,16	69161,73	3,21	2217,78	2752,53	0,81
N4-3	93,68	93683,33	90,26	84,56	84558,58	3,21	2711,50	3221,47	0,84
N4-4	89,93	89925,00	90,26	81,17	81166,31	3,21	2602,72	3201,34	0,81
N4-5	74,69	74691,67	90,26	67,42	67416,70	3,21	2161,82	2821,23	0,77
N4-6	95,60	95600,00	90,26	86,29	86288,56	3,21	2766,98	3249,75	0,85
N4-7	76,82	76816,67	90,26	69,33	69334,72	3,21	2223,33	2788,64	0,80
N4-8	80,86	80858,33	90,26	72,98	72982,73	3,21	2340,30	2879,09	0,81
N5-1	94,82	94816,67	89,25	84,63	84628,04	3,96	3353,63	3881,44	0,86
N5-2	93,53	93525,00	89,25	83,47	83471,06	3,96	3307,78	3756,41	0,88

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 31 (Fortsetzung): N-Aufnahme im Wachstumsversuch im zweiten Wachstumsabschnitt (12.-24. LT). Experiment 1.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
N5-3	95,58	95583,33	89,25	85,31	85308,13	3,96	3380,58	3866,69	0,87
N5-4	91,62	91616,67	89,25	81,77	81767,88	3,96	3240,29	3610,76	0,90
N5-5	97,66	97658,33	89,25	87,16	87160,06	3,96	3453,97	3874,85	0,89
N5-6	99,81	99808,33	89,25	89,08	89078,94	3,96	3530,01	3840,70	0,92
N5-7	90,49	90491,67	89,25	80,76	80763,81	3,96	3200,50	3702,67	0,86
N5-8	94,43	94425,00	89,25	84,27	84274,31	3,96	3339,61	3722,03	0,90
N6-1	93,03	93025,00	90,57	84,26	84256,57	4,61	3888,15	4167,89	0,93
N6-2	90,13	90125,00	90,57	81,63	81626,21	4,61	3766,77	4034,77	0,93
N6-3	95,84	95841,67	90,57	86,80	86803,80	4,61	4005,69	4274,22	0,94
N6-4	97,86	97858,33	90,57	88,63	88630,29	4,61	4089,98	4261,89	0,96
N6-5	70,50	70500,00	90,57	63,85	63851,85	4,61	2946,54	3244,14	0,91
N6-6	100,34	100341,6	90,57	90,88	90879,45	4,61	4193,77	4383,79	0,96
N6-7	79,93	79933,33	90,57	72,40	72395,62	4,61	3340,81	3502,47	0,95
N6-8	106,89	106891,6	90,57	96,81	96811,78	4,61	4467,53	4493,76	0,99
N7-1	102,11	102108,3	89,93	91,83	91830,45	5,36	4924,07	4988,79	0,99
N7-2	102,92	102916,6	89,93	92,55	92552,96	5,36	4962,82	5019,47	0,99
N7-3	101,48	101483,3	89,93	91,26	91263,96	5,36	4893,70	4997,70	0,98
N7-4	101,32	101316,6	89,93	91,11	91114,08	5,36	4885,66	4864,82	1,00
N7-5	102,74	102741,6	89,93	92,40	92395,58	5,36	4954,38	5014,36	0,99
N7-6	105,85	105850,0	89,93	95,19	95190,91	5,36	5104,27	5074,73	1,01
N7-7	89,04	89041,67	89,93	80,08	80075,17	5,36	4293,74	4227,99	1,02
N7-8	109,42	109416,6	89,93	98,40	98398,41	5,36	5276,26	5299,00	1,00

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 32: N-Aufnahme im Wachstumsversuch im dritten Wachstumsabschnitt (25.-36. LT). Experiment 1.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N- Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
N2-1	115,43	115433,3	85,87	99,13	99127,01	1,73	1714,66	1408,50	1,22
N2-2	155,40	155400,0	85,87	133,45	133447,92	1,73	2308,33	1834,63	1,26
N2-2	139,50	139500,0	85,87	119,79	119793,98	1,73	2072,15	1687,25	1,23
N2-4	123,01	123008,3	85,87	105,63	105631,96	1,73	1827,18	1470,03	1,24
N2-5	160,88	160883,3	85,87	138,16	138156,67	1,73	2389,78	1828,31	1,31
N2-6	145,31	145308,3	85,87	124,78	124781,82	1,73	2158,43	1669,89	1,29
N2-7	158,79	158791,6	85,87	136,36	136360,47	1,73	2358,71	1784,63	1,32
N2-8	137,69	137691,6	85,87	118,24	118241,10	1,73	2045,29	1593,00	1,28
N3-1	166,23	166233,3	86,65	144,04	144041,27	2,43	3506,31	2664,23	1,32
N3-2	155,08	155075,0	86,65	134,37	134372,57	2,43	3270,95	2462,35	1,33
N3-3	166,30	166300,0	86,65	144,099	144099,04	2,43	3507,72	2492,46	1,41
N3-4	149,25	149250,0	86,65	129,325	129325,21	2,43	3148,09	2468,71	1,28
N3-5	153,42	153416,6	86,65	132,936	132935,62	2,43	3235,97	2467,94	1,31
N3-6	162,46	162458,3	86,65	140,770	140770,23	2,43	3426,69	2543,24	1,35
N3-7	139,19	139191,6	86,65	120,61	120609,65	2,43	2935,93	2304,38	1,27
N3-8	164,73	164725,0	86,65	142,73	142734,30	2,43	3474,50	2613,05	1,33
N4-1	171,34	171341,6	85,85	147,10	147101,74	3,15	4628,64	3246,99	1,43
N4-2	164,98	164983,3	85,85	141,64	141642,93	3,15	4456,88	3131,69	1,42
N4-3	184,76	184758,3	85,85	158,62	158620,33	3,15	4991,08	3480,53	1,43
N4-4	153,75	153750,0	85,85	132,00	131998,79	3,15	4153,42	2950,78	1,41
N4-5	165,65	165650,0	85,85	142,22	142215,28	3,15	4474,89	3211,27	1,39
N4-6	165,73	165733,3	85,85	142,29	142286,82	3,15	4477,14	3167,90	1,41
N4-7	161,01	161008,3	85,85	138,23	138230,27	3,15	4349,50	3170,28	1,37
N4-8	172,53	172525,0	85,85	148,12	148117,66	3,15	4660,61	3275,89	1,42
N5-1	222,30	222300,0	86,96	193,32	193320,37	3,85	7444,84	4941,32	1,51
N5-2	232,68	232683,3	86,96	202,35	202350,10	3,85	7792,58	5300,00	1,47

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 32 (Fortsetzung): N-Aufnahme im Wachstumsversuch im dritten Wachstumsabschnitt (25.-36. LT). Experiment 1.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N- Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
N5-3	188,47	188466,6	86,96	163,90	163897,64	3,85	6311,76	4298,36	1,47
N5-4	180,88	180883,3	86,96	157,30	157302,89	3,85	6057,80	4309,80	1,41
N5-5	196,73	196733,3	86,96	171,09	171086,64	3,85	6588,61	4601,95	1,43
N5-6	187,79	187791,6	86,96	163,31	163310,63	3,85	6289,16	4126,71	1,52
N5-7	186,91	186908,3	86,96	162,54	162542,45	3,85	6259,57	4364,77	1,43
N5-8	204,39	204391,6	86,96	177,75	177746,61	3,85	6845,09	4717,66	1,45
N6-1	236,78	236775,0	87,74	207,76	207757,03	4,58	9507,63	6429,92	1,48
N6-2	224,54	224541,6	87,74	197,02	197022,95	4,58	9016,40	5799,94	1,55
N6-3	191,93	191933,3	87,74	168,41	168410,94	4,58	7707,02	5109,40	1,51
N6-4	173,07	173066,6	87,74	151,86	151856,47	4,58	6949,44	4743,55	1,47
N6-5	196,24	196241,6	87,74	172,19	172191,26	4,58	7880,02	5241,60	1,50
N6-6	182,53	182525,0	87,74	160,16	160155,64	4,58	7329,23	5049,00	1,45
N6-7	173,18	173175,0	87,74	151,95	151951,53	4,58	6953,79	4754,81	1,46
N6-8	184,03	184033,3	87,74	161,48	161479,12	4,58	7389,80	4837,86	1,53
N7-1	200,71	200708,3	87,32	175,25	175250,74	5,31	9305,39	6191,97	1,50
N7-2	202,62	202616,6	87,32	176,92	176917,03	5,31	9393,87	6357,03	1,48
N7-3	195,83	195833,3	87,32	170,99	170994,08	5,31	9079,38	5968,85	1,52
N7-4	198,15	198150,0	87,32	173,02	173016,91	5,31	9186,78	6107,03	1,50
N7-5	183,62	183616,6	87,32	160,33	160326,96	5,31	8512,98	5406,76	1,57
N7-6	185,34	185341,6	87,32	161,83	161833,17	5,31	8592,95	5589,76	1,54
N7-7	210,66	210658,3	87,32	183,94	183938,70	5,31	9766,70	6318,79	1,55
N7-8	199,04	199041,6	87,32	173,80	173795,47	5,31	9228,12	5891,67	1,57

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 33: N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 1. Schritt: T-Korrektur.

Körperanalysen Gruppe N2 10% XP (Körpermassen vor und nach Autoklavieren)													
Proben-Nr.	Tier-Nr.	Glas leer [g]	Glas+Tier vor Autoklav. [g]	Glas+Tier n. Autoklav. [g]	Tier nüchtern [g]	Tier vor Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor Zerkleinern	Tier n. Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor Autoklav.	Körpermasse (g) nach Autoklavieren	
Nulltiere													
3699	0-I	583,0	814,5	810,2	231,0	231,5	0,5	1,002	227,2	0,0	0,981	226,71	
3700	0-II	581,5	814,5	810,0	232,0	233,0	1,0	1,004	228,5	-4,5	0,981	227,52	
3701	0-III	577,5	808,0	802,9	231,0	230,5	-0,5	0,998	225,4	-5,1	0,978	225,89	
Ende 12. Lebensstag													
3898	N2-1	601,5	675,5	670,9	74,0	74,0	0,0	1,000	69,4	-4,6	0,938	69,40	
3899	N2-2	565,0	637,0	633,4	72,0	72,0	0,0	1,000	68,4	-3,6	0,950	68,40	
3900	N2-4	611,5	677,0	672,7	65,5	65,5	0,0	1,000	61,2	-4,3	0,934	61,20	
3901	N2-6	590,0	666,0	662,2	76,0	76,0	0,0	1,000	72,2	-3,8	0,950	72,20	
3902	N2-7	567,0	638,0	635,1	71,0	71,0	0,0	1,000	68,1	-2,9	0,959	68,10	
3903	N2-8	575,0	643,0	640,8	68,0	68,0	0,0	1,000	65,8	-2,2	0,968	65,80	
Körperanalysen Gruppe N3 14% XP (Körpermassen vor und nach Autoklavieren)													
Proben-Nr.	Tier-Nr.	Glas leer [g]	Glas+Tier vor Autoklav. [g]	Glas+Tier n. Autoklav. [g]	Tier nüchtern [g]	Tier vor Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor Zerkleinern	Tier n. Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor Autoklav.	Körpermasse (g) nach Autoklavieren	
Nulltiere													
3699	0-I	583,0	814,5	810,2	231,0	231,5	0,5	1,002	227,2	0,0	0,981	226,71	
3700	0-II	581,5	814,5	810,0	232,0	233,0	1,0	1,004	228,5	-4,5	0,981	227,52	
3701	0-III	577,5	808,0	802,9	231,0	230,5	-0,5	0,998	225,4	-5,1	0,978	225,89	
Ende 12. Lebensstag													
3904	N3-2	589,5	693,5	690,0	104,0	104,0	0,0	1,000	100,5	-3,5	0,966	100,50	
3905	N3-3	582,0	691,5	687,0	109,0	109,5	0,5	1,005	105,0	-4,5	0,959	104,52	
3906	N3-4	581,5	709,0	704,8	127,5	127,5	0,0	1,000	123,3	-4,2	0,967	123,30	
3907	N3-5	584,0	718,0	714,8	134,5	134,0	-0,5	0,996	130,8	-3,2	0,976	131,29	
3908	N3-7	582,0	689,5	686,0	107,5	107,5	0,0	1,000	104,0	-3,5	0,967	104,00	
3909	N3-8	581,0	715,5	711,2	135,5	134,5	-1,0	0,993	130,2	-4,3	0,968	131,17	

A-Tabelle 33 (Fortsetzung): N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 1. Schritt: T-Korrektur.

Körperanalysen Gruppe N4 18% XP (Körpermassen vor und nach Autoklavieren)													
Proben-Nr.	Tier-Nr.	Glas leer [g]	Glas+Tier vor Autoklav. [g]	Glas+Tier n. Autoklav. [g]	Tier nüchtern [g]	Tier vor Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor Zerkleinern	Tier n. Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor Autoklav.	Körpermasse (g) nach Autoklavieren	
Nulltiere													
3699	0-I	583,0	814,5	810,2	231,0	231,5	0,5	1,002	227,2	0,0	0,981	226,71	
3700	0-II	581,5	814,5	810,0	232,0	233,0	1,0	1,004	228,5	-4,5	0,981	227,52	
3701	0-III	577,5	808,0	802,9	231,0	230,5	-0,5	0,998	225,4	-5,1	0,978	225,89	
Ende 12. Lebensstag													
3910	N4-2	567,0	733,5	729,7	167,0	166,5	-0,5	0,997	162,7	-3,8	0,977	163,19	
3911	N4-3	571,0	764,0	759,3	193,0	193,0	0,0	1,000	188,3	-4,7	0,976	188,30	
3912	N4-4	578,5	758,0	753,3	179,0	179,5	0,5	1,003	174,8	-4,7	0,974	174,31	
3913	N4-5	579,0	755,0	750,8	176,5	176,0	-0,5	0,997	171,8	-4,2	0,976	172,29	
3914	N4-6	571,0	744,5	741,0	173,5	173,5	0,0	1,000	170,0	-3,5	0,980	170,00	
3915	N4-7	580,0	755,0	751,4	173,5	175,0	1,5	1,009	171,4	-3,6	0,979	169,93	
Körperanalysen Gruppe N5 22% XP (Körpermassen vor und nach Autoklavieren)													
Proben-Nr.	Tier-Nr.	Glas leer [g]	Glas+Tier vor Autoklav. [g]	Glas+Tier n. Autoklav. [g]	Tier nüchtern [g]	Tier vor Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor Zerkleinern	Tier n. Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor Autoklav.	Körpermasse (g) nach Autoklavieren	
Nulltiere													
3699	0-I	583,0	814,5	810,2	231,0	231,5	0,5	1,002	227,2	0,0	0,981	226,71	
3700	0-II	581,5	814,5	810,0	232,0	233,0	1,0	1,004	228,5	-4,5	0,981	227,52	
3701	0-III	577,5	808,0	802,9	231,0	230,5	-0,5	0,998	225,4	-5,1	0,978	225,89	
Ende 12. Lebensstag													
3916	N5-1	566,5	825,5	821,0	259,5	259,0	-0,5	0,998	254,5	-4,5	0,983	254,99	
3917	N5-2	580,0	827,0	822,3	247,0	247,0	0,0	1,000	242,3	-4,7	0,981	242,30	
3918	N5-3	574,0	809,5	803,8	236,5	235,5	-1,0	0,996	229,8	-5,7	0,976	230,78	
3919	N5-4	560,0	832,0	826,0	271,5	272,0	0,5	1,002	266,0	-6,0	0,978	265,51	
3920	N5-5	582,0	844,5	829,4	262,5	262,5	0,0	1,000	247,4	-15,1	0,942	247,40	
3921	N5-6	637,5	899,5	893,1	261,5	262,0	0,5	1,002	255,6	-6,4	0,976	255,11	

A-Tabelle 33 (Fortsetzung): N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 1. Schritt: T-Korrektur.

Körperanalysen Gruppe N6 26% XP (Körpermassen vor und nach Autoklavieren)													
Proben-Nr.	Tier-Nr.	Glas leer [g]	Glas+Tier vor Autoklav. [g]	Glas+Tier n. Autoklav. [g]	Tier nüchtern [g]	Tier vor Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor Zerkleinern	Tier n. Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor Autoklav.	Körpermasse (g) nach Autoklavieren	
Nulltiere													
3699	0-I	583,0	814,5	810,2	231,0	231,5	0,5	1,002	227,2	0,0	0,981	226,71	
3700	0-II	581,5	814,5	810,0	232,0	233,0	1,0	1,004	228,5	-4,5	0,981	227,52	
3701	0-III	577,5	808,0	802,9	231,0	230,5	-0,5	0,998	225,4	-5,1	0,978	225,89	
Ende 12. Lebensstag													
3922	N6-1	720,5	1098,5	1089,6	378,0	378,0	0,0	1,000	369,1	-8,9	0,976	369,10	
3923	N6-4	726,5	1059,5	1050,5	333,0	333,0	0,0	1,000	324,0	-9,0	0,973	324,00	
3924	N6-5	797,0	1183,5	1173,1	386,5	386,5	0,0	1,000	376,1	-10,4	0,973	376,10	
3925	N6-6	699,0	1030,5	1022,6	331,5	331,5	0,0	1,000	323,6	-7,9	0,976	323,60	
3926	N6-7	715,5	1126,5	1117,0	415,0	411,0	-4,0	0,990	401,5	-9,5	0,977	405,41	
3927	N6-8	720,5	1060,5	1052,2	340,5	340,0	-0,5	0,999	331,7	-8,3	0,976	332,19	
Körperanalysen Gruppe N7 30% XP (Körpermassen vor und nach Autoklavieren)													
Proben-Nr.	Tier-Nr.	Glas leer [g]	Glas+Tier vor Autoklav. [g]	Glas+Tier n. Autoklav. [g]	Tier nüchtern [g]	Tier vor Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor Zerkleinern	Tier n. Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor Autoklav.	Körpermasse (g) nach Autoklavieren	
Nulltiere													
3699	0-I	583,0	814,5	810,2	231,0	231,5	0,5	1,002	227,2	0,0	0,981	226,71	
3700	0-II	581,5	814,5	810,0	232,0	233,0	1,0	1,004	228,5	-4,5	0,981	227,52	
3701	0-III	577,5	808,0	802,9	231,0	230,5	-0,5	0,998	225,4	-5,1	0,978	225,89	
Ende 12. Lebensstag													
3928	N7-1	623,0	1169,5	1161,0	431,5	546,5	115,0	1,267	538,0	-8,5	0,984	424,79	
3929	N7-2	711,5	1148,5	1139,2	438,5	437,0	-1,5	0,997	427,7	-9,3	0,979	429,17	
3930	N7-3	726,0	1147,0	1140,3	422,5	421,0	-1,5	0,996	414,3	-6,7	0,984	415,78	
3931	N7-6	710,0	1131,5	1122,8	422,0	421,5	-0,5	0,999	412,8	-8,7	0,979	413,29	
3932	N7-7	748,0	1157,0	1148,1	409,5	409,0	-0,5	0,999	400,1	-8,9	0,978	400,59	
3933	N7-8	737,0	1151,0	1142,7	414,5	414,0	-0,5	0,999	405,7	-8,3	0,980	406,19	

A-Tabelle 34: N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 2. Schritt: Nährstoffgehalte in Nulltieren.**Körperanalysen Nulltiere**

(Analysierte Rohnährstoffgehalte im Tierkörper zu Versuchsbeginn)

Versuchsbeginn (**Nulltiere**, 1. Lebenstag)

Tier-Nr.	Lebendmasse	Nüchternmasse	Differenz		Masse nach Autoklav.	T	T korr.*	XA	XP	XL + XX
	[g]	[g]	[g]	[%]	[g]	[%]	[%]	in % der T	in % der T	in % der T
0-I/1	49,5	45,5	-4,0	-8,08						
0-I/2	50,0	46,0	-4,0	-8,00						
0-I/3	50,0	48,5	-1,5	-3,00						
0-I/4	50,0	46,0	-4,0	-8,00						
0-I/5	50,5	45	-5,5	-10,89						
Σ I	250,0	231,0	-19,0	-7,60	226,71	22,3793	20,2945	8,4882	69,9500	21,5617
0-II/1	49,5	48,5	-1,0	-2,02						
0-II/2	50,0	48,5	-1,5	-3,00						
0-II/3	50,0	45,5	-4,5	-9,00						
0-II/4	50,5	45,5	-5,0	-9,90						
0-II/5	50	45,5	-4,5	-9,00						
Σ II	250,0	233,5	-16,5	-6,60	227,52	22,5008	20,4775	8,6416	67,5280	23,8303
0-III/1	50,0	45,5	-4,5	-9,00						
0-III/2	50,0	47,0	-3,0	-6,00						
0-III/3	50,0	45,5	-4,5	-9,00						
0-III/4	50,5	46,5	-4,0	-7,92						
0-III/5	49,5	46,5	-3,0	-6,06						
Σ III	250,0	231,0	-19,0	-7,60	225,89	22,7312	20,5389	8,4365	68,9002	22,6631
\bar{x}	50,00	46,37	-3,63	-7,26	226,71	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851
SD	0,33	1,22	1,36	2,69	0,82	0,18	0,13	0,11	1,21	1,13
SD%	0,65	2,62	-37,31	-37,05	0,36	0,79	0,62	1,25	1,77	5,00
SE	0,11	0,41	0,45	0,90	0,47	0,10	0,07	0,06	0,70	0,65

A-Tabelle 35: N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 3. Schritt: Nährstoffgehalte zu Versuchsende in den Ganzkörperanalysetieren.

Körperanalysen Gruppe N2 10% XP												
(Analysierte Rohnährstoffgehalte im Tierkörper am Ende der Growerperiode - ausgewählte KA-Tiere je Box)												
Ende 1. Wachstumsabschnitt (12. Lebenstag)												
Tier-Nr.	LM [g]	Nüchtern- masse [g]	Δ [g]	Faktor	Masse nach Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor	T [%]	T korr. [%]	XA in % der T	XP in % der T	XL + XX in % der T
N2-1	85,0	74,0	-11	0,87	69,4	-15,6	0,82	31,7673	25,9371	9,8379	52,2510	37,9111
N2-2	76,0	72,0	-4	0,95	68,4	-7,6	0,90	31,0291	27,9262	10,1334	47,2923	42,5743
N2-4	75,0	65,5	-9,5	0,87	61,2	-13,8	0,82	31,0745	25,3568	10,0592	53,4421	36,4987
N2-6	82,0	76,0	-6	0,93	72,2	-9,8	0,88	31,4889	27,7256	8,9185	47,0920	43,9895
N2-7	80,0	71,0	-9	0,89	68,1	-11,9	0,85	33,0273	28,1145	8,7384	46,6848	44,5768
N2-8	78,0	68,0	-10	0,87	65,8	-12,2	0,84	30,2568	25,5243	10,1510	53,1306	36,7184
MW	79,33	71,08	-8,25	0,90	67,52	11,82	0,85	31,44	26,76	9,64	49,98	40,38
SE	1,54	1,57	1,1	0,01	1,52	1,2	0,01	0,38	0,53	0,26	1,34	1,53
Körperanalysen Gruppe N3 14% XP												
(Analysierte Rohnährstoffgehalte im Tierkörper am Ende der Growerperiode - ausgewählte KA-Tiere je Box)												
Ende 1. Wachstumsabschnitt (12. Lebenstag)												
Tier-Nr.	LM [g]	Nüchtern- masse [g]	Δ [g]	Faktor	Masse nach Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor	T [%]	T korr. [%]	XA in % der T	XP in % der T	XL + XX in % der T
N3-2	124,0	104,0	-20	0,84	100,5	-23,5	0,81	29,5638	23,9610	10,8701	57,1243	32,0056
N3-3	127,0	109,0	-18	0,86	104,5	-22,5	0,82	31,8048	26,1752	8,9469	51,9006	39,1525
N3-4	142,0	127,5	-14,5	0,90	123,3	-18,7	0,87	31,7545	27,5728	9,4015	48,2313	42,3671
N3-5	154,0	134,5	-19,5	0,87	131,3	-22,7	0,85	32,2358	27,4817	9,4881	51,5188	38,9931
N3-7	120,0	107,5	-12,5	0,90	104,0	-16,0	0,87	29,6156	25,6669	9,5844	55,8510	34,5646
N3-8	156,0	135,5	-20,5	0,87	131,2	-24,8	0,84	30,1672	25,3652	9,7662	53,6779	36,5559
MW	137,17	119,67	-17,50	0,87	115,80	21,37	0,84	30,86	26,04	9,68	53,05	37,27
SE	6,41	5,89	1,3	0,01	5,87	1,4	0,01	0,49	0,56	0,26	1,31	1,51

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 35 (Fortsetzung): N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 3. Schritt: Nährstoffgehalte zu Versuchsende in den Ganzkörperanalysetieren.

Körperanalysen Gruppe N4 18% XP												
(Analysierte Roh Nährstoffgehalte im Tierkörper am Ende der Growerperiode - ausgewählte KA-Tiere je Box)												
Ende 1. Wachstumsabschnitt (12. Lebenstag)												
Tier-Nr.	LM [g]	Nüchtern- masse [g]	Δ [g]	Faktor	Masse nach Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor	T [%]	T korr. [%]	XA in % der T	XP in % der T	XL + XX in % der T
N4-2	193,0	167,0	-26	0,87	163,2	-29,8	0,85	30,0369	25,3973	9,8222	57,3586	32,8193
N4-3	216,0	193,0	-23	0,89	188,3	-27,7	0,87	29,9123	26,0763	9,5178	55,2929	35,1893
N4-4	206,0	179,0	-27	0,87	174,3	-31,7	0,85	31,5417	26,6900	10,0773	54,0970	35,8258
N4-5	199,0	176,5	-22,5	0,89	172,3	-26,7	0,87	30,3844	26,3059	9,9951	55,6721	34,3327
N4-6	192,0	173,5	-18,5	0,90	170,0	-22,0	0,89	31,0887	27,5264	10,4111	55,4502	34,1387
N4-7	199,0	173,5	-25,5	0,87	169,9	-29,1	0,85	29,5888	25,2665	9,7253	57,4585	32,8162
MW	200,83	177,08	-23,75	0,88	173,00	27,83	0,86	30,43	26,21	9,92	55,89	34,19
SE	3,66	3,58	1,3	0,01	3,42	1,4	0,01	0,31	0,34	0,13	0,53	0,50

Körperanalysen Gruppe N5 22% XP												
(Analysierte Roh Nährstoffgehalte im Tierkörper am Ende der Growerperiode - ausgewählte KA-Tiere je Box)												
Ende 1. Wachstumsabschnitt (12. Lebenstag)												
Tier-Nr.	LM [g]	Nüchtern- masse [g]	Δ [g]	Faktor	Masse nach Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor	T [%]	T korr. [%]	XA in % der T	XP in % der T	XL + XX in % der T
N5-1	290,0	259,5	-30,5	0,89	255,0	-35,0	0,88	32,0638	28,1931	8,7107	51,6996	39,5897
N5-2	276,0	247,0	-29	0,89	242,3	-33,7	0,88	31,4408	27,6018	9,0346	53,2290	37,7364
N5-3	266,0	236,5	-29,5	0,89	230,8	-35,2	0,87	29,9992	26,0266	9,8047	54,5682	35,6271
N5-4	307,0	271,5	-35,5	0,88	265,5	-41,5	0,86	31,6156	27,3430	8,9830	50,6178	40,3992
N5-5	293,0	262,5	-30,5	0,90	247,4	-45,6	0,84	32,0981	27,1026	8,8036	50,3904	40,8060
N5-6	297,0	261,5	-35,5	0,88	255,1	-41,9	0,86	32,2432	27,6957	8,8677	51,9645	39,1678
MW	288,17	256,42	-31,75	0,89	249,35	38,82	0,87	31,58	27,33	9,03	52,08	38,89
SE	6,05	5,12	1,2	0,00	4,91	2,0	0,01	0,34	0,30	0,16	0,65	0,79

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 35 (Fortsetzung): N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 3. Schritt: Nährstoffgehalte zu Versuchsende in den Ganzkörperanalysetieren.

Körperanalysen Gruppe N6 26% XP												
(Analysierte Rohrnährstoffgehalte im Tierkörper am Ende der Growerperiode - ausgewählte KA-Tiere je Box)												
Ende 1. Wachstumsabschnitt (12. Lebenstag)												
Tier-Nr.	LM [g]	Nüchtern- masse [g]	Δ [g]	Faktor	Masse nach Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor	T [%]	T korr. [%]	XA in % der T	XP in % der T	XL + XX in % der T
N6-1	419,0	378,0	-41	0,90	369,1	-49,9	0,88	31,1520	27,4420	8,3890	54,3263	37,2847
N6-4	379,0	333,0	-46	0,88	324,0	-55,0	0,85	30,6268	26,1822	9,2027	56,5580	34,2394
N6-5	426,0	386,5	-39,5	0,91	376,1	-49,9	0,88	31,3934	27,7161	8,5502	52,5807	38,8691
N6-6	373,0	331,5	-41,5	0,89	323,6	-49,4	0,87	29,7637	25,8218	8,6034	56,6357	34,7609
N6-7	460,0	415,0	-45	0,90	405,4	-54,6	0,88	30,5653	26,9378	8,7338	54,0911	37,1751
N6-8	382,0	340,5	-41,5	0,89	332,2	-49,8	0,87	29,4554	25,6145	9,7559	56,2503	33,9938
MW	406,50	364,08	-42,42	0,90	355,07	51,43	0,87	30,49	26,62	8,87	55,07	36,05
SE	14,00	13,99	1,0	0,00	13,73	1,1	0,00	0,31	0,36	0,21	0,68	0,81

Körperanalysen Gruppe N7 30% XP												
(Analysierte Rohrnährstoffgehalte im Tierkörper am Ende der Growerperiode - ausgewählte KA-Tiere je Box)												
Ende 1. Wachstumsabschnitt (12. Lebenstag)												
Tier-Nr.	LM [g]	Nüchtern- masse [g]	Δ [g]	Faktor	Masse nach Autoklav. [g]	Δ [g]	Faktor	T [%]	T korr. [%]	XA in % der T	XP in % der T	XL + XX in % der T
N7-1	472,0	431,5	-40,5	0,91	424,8	-47,2	0,90	29,9250	26,9318	8,1533	58,1224	33,7243
N7-2	486,0	438,5	-47,5	0,90	429,2	-56,8	0,88	28,4922	25,1604	9,0815	61,8086	29,1099
N7-3	455,0	422,5	-32,5	0,93	415,8	-39,2	0,91	28,2823	25,8442	9,3858	62,9501	27,6641
N7-6	464,0	422,0	-42	0,91	413,3	-50,7	0,89	28,6702	25,5368	8,8308	61,0717	30,0975
N7-7	457,0	409,5	-47,5	0,90	400,6	-56,4	0,88	27,4422	24,0548	8,8349	62,2514	28,9138
N7-8	463,0	414,5	-48,5	0,90	406,2	-56,8	0,88	27,8282	24,4137	8,5156	62,5939	28,8905
MW	466,17	423,08	-43,08	0,91	414,97	51,20	0,89	28,44	25,32	8,80	61,47	29,73
SE	4,66	4,35	2,5	0,01	4,42	2,9	0,01	0,35	0,42	0,18	0,72	0,86

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 36: N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 4. Schritt: Nährstoffgehalte zu Versuchsbeginn.

Körperanalysen Gruppe N2 10% XP											
(Prozentuale und absolute Rohrnährstoffgehalte im Tierkörper zu Versuchsbeginn)											
Versuchsbeginn (1. Lebenstag)											
Bucht Nr.	xLM(KA-Tiere) [g]	T [%]	T korrr.	XA [% d. TS]	XP [% TS]	XL+XX [% TS]	xLM (je Box) [g]	T korrr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
Mittelwerte KA-Tiere (Nullgruppe)											
N2 - 1	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N2 - 2	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N2 - 3	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N2 - 4	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N2 - 5	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N2 - 6	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N2 - 7	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N2 - 8	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181

Körperanalysen Gruppe N3 14% XP											
(Prozentuale und absolute Rohrnährstoffgehalte im Tierkörper zu Versuchsbeginn)											
Versuchsbeginn (1. Lebenstag)											
Bucht Nr.	xLM(KA-Tiere) [g]	T [%]	T korrr.	XA [% d. TS]	XP [% TS]	XL+XX [% TS]	xLM (je Box) [g]	T korrr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
Mittelwerte KA-Tiere (Nullgruppe)											
N3 - 1	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N3 - 2	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N3 - 3	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N3 - 4	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N3 - 5	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N3 - 6	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N3 - 7	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N3 - 8	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 36 (Fortsetzung) : N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 4. Schritt: Nährstoffgehalte zu Versuchsbeginn.

Körperanalysen Gruppe N4 18% XP											
(Prozentuale und absolute Rohrnährstoffgehalte im Tierkörper zu Versuchsbeginn)											
Versuchsbeginn (1. Lebenstag)											
Bucht Nr.	xLM(KA-Tiere) [g]	T [%]	T korr.	XA [% d. TS]	XP [% TS]	XL+XX [% TS]	xLM (je Box) [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
Mittelwerte KA-Tiere (Nullgruppe)											
N4 - 1	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N4 - 2	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N4 - 3	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N4 - 4	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N4 - 5	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N4 - 6	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N4 - 7	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N4 - 8	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181

Körperanalysen Gruppe N5 22% XP											
(Prozentuale und absolute Rohrnährstoffgehalte im Tierkörper zu Versuchsbeginn)											
Versuchsbeginn (1. Lebenstag)											
Bucht Nr.	xLM(KA-Tiere) [g]	T [%]	T korr.	XA [% d. TS]	XP [% TS]	XL+XX [% TS]	xLM (je Box) [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
Mittelwerte KA-Tiere (Nullgruppe)											
N5 - 1	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N5 - 2	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N5 - 3	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N5 - 4	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N5 - 5	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N5 - 6	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N5 - 7	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N5 - 8	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 36 (Fortsetzung) : N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 4. Schritt: Nährstoffgehalte zu Versuchsbeginn.

Körperanalysen Gruppe N6 26% XP											
(Prozentuale und absolute Rohrnährstoffgehalte im Tierkörper zu Versuchsbeginn)											
Versuchsbeginn (1. Lebenstag)											
Bucht Nr.	xLM(KA-Tiere) [g]	T [%]	T korr.	XA [% d. TS]	XP [% TS]	XL+XX [% TS]	xLM (je Box) [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
Mittelwerte KA-Tiere (Nullgruppe)											
N6 - 1	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N6 - 2	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N6 - 3	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N6 - 4	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N6 - 5	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N6 - 6	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N6 - 7	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N6 - 8	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
Körperanalysen Gruppe N7 30% XP											
(Prozentuale und absolute Rohrnährstoffgehalte im Tierkörper zu Versuchsbeginn)											
Versuchsbeginn (1. Lebenstag)											
Bucht Nr.	xLM(KA-Tiere) [g]	T [%]	T korr.	XA	XP	XL+XX	xLM (je Box) [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
Mittelwerte KA-Tiere (Nullgruppe)											
N7 - 1	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N7 - 2	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N7 - 3	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N7 - 4	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N7 - 5	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N7 - 6	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N7 - 7	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181
N7 - 8	50,00	22,5372	20,4370	8,5221	68,7928	22,6851	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 37: N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 5. Schritt: Nährstoffgehalte zu Versuchsende in den Versuchstieren.

Körperanalysen											
(Prozentuale und absolute Rohnährstoffgehalte im Tierkörper am Versuchsende)											
Gruppe B 10% XP											
Ende 1. Wachstumsabschnitt (12. Lebensstag)											
Bucht Nr.	xLM(KA-Tiere) [g]	T [%]	T korr.	XA [%TS]	XP [%TS]	XL+XX [%TS]	xLM (je Box) [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
Mittelwerte KA-Tiere											
N2 - 1	79,33	31,44	26,76	9,64	49,98	40,38	84,80	22,70	2,19	11,34	9,16
N2 - 2	79,33	31,44	26,76	9,64	49,98	40,38	76,40	20,45	1,97	10,22	8,26
N2 - 3	79,33	31,44	26,76	9,64	49,98	40,38	69,80	18,68	1,80	9,34	7,54
N2 - 4	79,33	31,44	26,76	9,64	49,98	40,38	74,00	19,81	1,91	9,90	8,00
N2 - 5	79,33	31,44	26,76	9,64	49,98	40,38	114,00	30,51	2,94	15,25	12,32
N2 - 6	79,33	31,44	26,76	9,64	49,98	40,38	80,60	21,57	2,08	10,78	8,71
N2 - 7	79,33	31,44	26,76	9,64	49,98	40,38	80,20	21,46	2,07	10,73	8,67
N2 - 8	79,33	31,44	26,76	9,64	49,98	40,38	80,20	21,46	2,07	10,73	8,67
Gruppe C 14% XP											
Ende 1. Wachstumsabschnitt (12. Lebensstag)											
Bucht Nr.	xLM(KA-Tiere) [g]	T [%]	T korr.	XA [%TS]	XP [%TS]	XL+XX [%TS]	xLM (je Box) [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
Mittelwerte KA-Tiere											
N3 - 1	137,17	30,86	26,04	9,68	53,05	37,27	145,20	37,81	3,66	20,06	14,09
N3 - 2	137,17	30,86	26,04	9,68	53,05	37,27	124,20	32,34	3,13	17,16	12,05
N3 - 3	137,17	30,86	26,04	9,68	53,05	37,27	124,00	32,29	3,12	17,13	12,03
N3 - 4	137,17	30,86	26,04	9,68	53,05	37,27	144,40	37,60	3,64	19,95	14,01
N3 - 5	137,17	30,86	26,04	9,68	53,05	37,27	143,00	37,23	3,60	19,75	13,88
N3 - 6	137,17	30,86	26,04	9,68	53,05	37,27	167,20	43,53	4,21	23,10	16,23
N3 - 7	137,17	30,86	26,04	9,68	53,05	37,27	121,80	31,71	3,07	16,82	11,82
N3 - 8	137,17	30,86	26,04	9,68	53,05	37,27	159,40	41,50	4,02	22,02	15,47

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 37 (Fortsetzung) : N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 5. Schritt: Nährstoffgehalte zu Versuchsende in den Versuchstieren.

Gruppe D 18% XP											
Ende 1. Wachstumsabschnitt (12. Lebensstag)											
Bucht Nr.	xLM(KA-Tiere) [g]	T [%]	T korr.	XA [%TS]	XP [%TS]	XL+XX [%TS]	xLM (je Box) [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
Mittelwerte KA-Tiere											
N4 - 1	200,83	30,43	26,21	9,92	55,89	34,19	206,60	54,15	5,37	30,26	18,51
N4 - 2	200,83	30,43	26,21	9,92	55,89	34,19	189,20	49,59	4,92	27,72	16,95
N4 - 3	200,83	30,43	26,21	9,92	55,89	34,19	207,80	54,47	5,41	30,44	18,62
N4 - 4	200,83	30,43	26,21	9,92	55,89	34,19	205,60	53,89	5,35	30,12	18,42
N4 - 5	200,83	30,43	26,21	9,92	55,89	34,19	202,60	53,10	5,27	29,68	18,15
N4 - 6	200,83	30,43	26,21	9,92	55,89	34,19	200,80	52,63	5,22	29,41	17,99
N4 - 7	200,83	30,43	26,21	9,92	55,89	34,19	197,20	51,69	5,13	28,89	17,67
N4 - 8	200,83	30,43	26,21	9,92	55,89	34,19	189,60	49,69	4,93	27,77	16,99
Gruppe E 22% XP											
Ende 1. Wachstumsabschnitt (12. Lebensstag)											
Bucht Nr.	xLM(KA-Tiere) [g]	T [%]	T korr.	XA [%TS]	XP [%TS]	XL+XX [%TS]	xLM (je Box) [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
Mittelwerte KA-Tiere											
N5 - 1	288,17	31,58	27,32	9,03	52,08	38,89	282,00	77,03	6,96	40,12	29,96
N5 - 2	288,17	31,58	27,32	9,03	52,08	38,89	283,20	77,36	6,99	40,29	30,08
N5 - 3	288,17	31,58	27,32	9,03	52,08	38,89	263,60	72,01	6,51	37,50	28,00
N5 - 4	288,17	31,58	27,32	9,03	52,08	38,89	286,20	78,18	7,06	40,72	30,40
N5 - 5	288,17	31,58	27,32	9,03	52,08	38,89	288,80	78,89	7,13	41,09	30,68
N5 - 6	288,17	31,58	27,32	9,03	52,08	38,89	232,20	63,43	5,73	33,03	24,67
N5 - 7	288,17	31,58	27,32	9,03	52,08	38,89	297,60	81,30	7,34	42,34	31,61
N5 - 8	288,17	31,58	27,32	9,03	52,08	38,89	323,40	88,34	7,98	46,01	34,35

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 37 (Fortsetzung) : N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 5. Schritt: Nährstoffgehalte zu Versuchsende in den Versuchstieren.

Gruppe F 26% XP											
Ende 1. Wachstumsabschnitt (12. Lebensstag)											
Bucht Nr.	xLM(KA-Tiere) [g]	T [%]	T korr.	XA [%TS]	XP [%TS]	XL+XX [%TS]	xLM (je Box) [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
Mittelwerte KA-Tiere											
N6 - 1	406,50	30,49	26,62	8,87	55,07	36,05	392,40	104,45	9,27	57,53	37,66
N6 - 2	406,50	30,49	26,62	8,87	55,07	36,05	397,80	105,89	9,40	58,32	38,18
N6 - 3	406,50	30,49	26,62	8,87	55,07	36,05	468,20	124,63	11,06	68,64	44,93
N6 - 4	406,50	30,49	26,62	8,87	55,07	36,05	344,60	91,73	8,14	50,52	33,07
N6 - 5	406,50	30,49	26,62	8,87	55,07	36,05	392,20	104,40	9,26	57,50	37,64
N6 - 6	406,50	30,49	26,62	8,87	55,07	36,05	360,20	95,88	8,51	52,81	34,57
N6 - 7	406,50	30,49	26,62	8,87	55,07	36,05	447,00	118,99	10,56	65,53	42,90
N6 - 8	406,50	30,49	26,62	8,87	55,07	36,05	372,00	99,02	8,79	54,54	35,70
Gruppe G 30% XP											
Ende 1. Wachstumsabschnitt (12. Lebensstag)											
Bucht Nr.	xLM(KA-Tiere) [g]	T [%]	T korr.	XA [%TS]	XP [%TS]	XL+XX [%TS]	xLM (je Box) [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
Mittelwerte KA-Tiere											
N7 - 1	472,00	28,44	25,32	8,80	61,47	29,73	476,00	120,54	10,61	74,09	35,84
N7 - 2	472,00	28,44	25,32	8,80	61,47	29,73	462,20	117,05	10,30	71,94	34,80
N7 - 3	472,00	28,44	25,32	8,80	61,47	29,73	461,50	116,87	10,28	71,83	34,75
N7 - 4	472,00	28,44	25,32	8,80	61,47	29,73	444,20	112,49	9,90	69,14	33,45
N7 - 5	472,00	28,44	25,32	8,80	61,47	29,73	519,00	131,43	11,57	80,78	39,08
N7 - 6	472,00	28,44	25,32	8,80	61,47	29,73	464,40	117,60	10,35	72,29	34,97
N7 - 7	472,00	28,44	25,32	8,80	61,47	29,73	457,40	115,83	10,19	71,20	34,44
N7 - 8	472,00	28,44	25,32	8,8	61,47	29,73	458,60	116,13	10,22	71,38	34,53

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 38-1: N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 6. Schritt: Ermittlung des N-Ansatzes (10% XP).

10% XP		Versuchsbeginn (1. Lebenstag)					Versuchsende (12. Lebenstag)					
Bucht Nr.	Tierzahl	xLM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]	Tierzahl	xLM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
N2 - 1	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	84,80	22,6959	2,1878	11,3439	9,1642
N2 - 2	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	76,40	20,4478	1,9711	10,2202	8,2564
N2 - 3	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	69,80	18,6813	1,8008	9,3373	7,5432
N2 - 4	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	74,00	19,8054	1,9092	9,8992	7,9971
N2 - 5	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	114,00	30,5111	2,9412	15,2501	12,3198
N2 - 6	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	80,60	21,5719	2,0795	10,7821	8,7103
N2 - 7	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	80,20	21,4648	2,0692	10,7286	8,6671
N2 - 8	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	80,20	21,4648	2,0692	10,7286	8,6671
MW		50,00	10,218	0,871	7,030	2,318		82,50	22,080	2,128	11,036	8,916
SE		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		3,91	1,05	0,10	0,52	0,42

Bucht Nr.	Ansatz je Versuchsperiode					Ansatz je Tier und Tag					N [g]	N [mg]	Anfangs-End-LM (g)	Anfangs-End-LM (kg)	Metabol. LM (kg)	N-Ansatz [mg/LM_{kg}^{0,67}]
	LM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]	LM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]						
N2 - 1	34,80	12,48	1,32	4,31	6,846	2,900	1,040	0,110	0,360	0,571	0,058	57,525	67,40	0,067	0,164	350,4704
N2 - 2	26,40	10,23	1,10	3,19	5,938	2,200	0,852	0,092	0,266	0,495	0,043	42,542	63,20	0,063	0,157	270,6063
N2 - 3	19,80	8,46	0,93	2,31	5,225	1,650	0,705	0,077	0,192	0,435	0,031	30,770	59,90	0,060	0,152	202,8861
N2 - 4	24,00	9,59	1,04	2,87	5,679	2,000	0,799	0,087	0,239	0,473	0,038	38,261	62,00	0,062	0,155	246,5231
N2 - 5	64,00	20,29	2,07	8,22	10,002	5,333	1,691	0,173	0,685	0,833	0,110	109,607	82,00	0,082	0,187	585,5742
N2 - 6	30,60	11,35	1,21	3,75	6,392	2,550	0,946	0,101	0,313	0,533	0,050	50,033	65,30	0,065	0,161	311,3633
N2 - 7	30,20	11,25	1,20	3,70	6,349	2,517	0,937	0,100	0,308	0,529	0,049	49,320	65,10	0,065	0,160	307,5549
N2 - 8	30,20	11,25	1,20	3,70	6,349	2,517	0,937	0,100	0,308	0,529	0,049	49,320	65,10	0,065	0,160	307,5549
MW	32,50	11,86	1,26	4,01	6,598	2,708	0,988	0,105	0,334	0,550	0,053	53,422	66,25	0,066	0,162	322,817
SE	3,91	1,05	0,10	0,52	0,42	0,33	0,09	0,01	0,04	0,04	0,01	6,97	1,95	0,00	0,00	33,33

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 38-2: N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 6. Schritt: Ermittlung des N-Ansatzes (14% XP).

14% XP		Versuchsbeginn (1. Lebenstag)					Versuchsende (12. Lebenstag)					
Bucht Nr.	Tierzahl	xLM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]	Tierzahl	xLM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
N3 - 1	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	145,20	37,8059	3,6582	20,0563	14,0914
N3 - 2	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	124,20	32,3381	3,1291	17,1556	12,0534
N3 - 3	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	124,00	32,2860	3,1241	17,1280	12,0340
N3 - 4	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	144,40	37,5976	3,6380	19,9458	14,0138
N3 - 5	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	143,00	37,2331	3,6028	19,7524	13,8779
N3 - 6	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	167,20	43,5341	4,2125	23,0951	16,2265
N3 - 7	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	121,80	31,7132	3,0686	16,8241	11,8205
N3 - 8	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	159,40	41,5032	4,0159	22,0177	15,4695
MW		50,00	10,218	0,871	7,030	2,318		141,15	36,751	3,556	19,497	13,698
SE		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		4,88	1,27	0,12	0,67	0,47

Bucht Nr.	Ansatz je Versuchsperiode					Ansatz je Tier und Tag					N [g]	N [mg]	Anfangs-End-LM (g)	Anfangs-End-LM (kg)	Metabol. LM (kg)	N-Ansatz [mg/LM _{kg} ^{0,67}]
	LM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]	LM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]						
N3 - 1	95,20	27,59	2,79	13,03	11,77	7,93	2,30	0,23	1,09	0,98	0,17	173,69	97,60	0,10	0,21	825,7373
N3 - 2	74,20	22,12	2,26	10,13	9,74	6,18	1,84	0,19	0,84	0,81	0,14	135,01	87,10	0,09	0,19	692,7310
N3 - 3	74,00	22,07	2,25	10,10	9,72	6,17	1,84	0,19	0,84	0,81	0,13	134,65	87,00	0,09	0,19	691,3730
N3 - 4	94,40	27,38	2,77	12,92	11,70	7,87	2,28	0,23	1,08	0,97	0,17	172,22	97,20	0,10	0,21	820,9886
N3 - 5	93,00	27,01	2,73	12,72	11,56	7,75	2,25	0,23	1,06	0,96	0,17	169,64	96,50	0,10	0,21	812,6225
N3 - 6	117,20	33,32	3,34	16,07	13,91	9,77	2,78	0,28	1,34	1,16	0,21	214,21	108,60	0,11	0,23	948,0428
N3 - 7	71,80	21,49	2,20	9,79	9,50	5,98	1,79	0,18	0,82	0,79	0,13	130,59	85,90	0,09	0,19	676,3092
N3 - 8	109,40	31,28	3,15	14,99	13,15	9,12	2,61	0,26	1,25	1,10	0,20	199,84	104,70	0,10	0,22	906,4043
MW	91,15	26,53	2,69	12,47	11,38	7,60	2,21	0,22	1,04	0,95	0,17	166,23	95,58	0,10	0,21	796,776
SE	4,88	1,27	0,12	0,67	0,47	0,41	0,11	0,01	0,06	0,04	0,01	8,98	2,44	0,00	0,00	29,48

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 38-3: N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 6. Schritt: Ermittlung des N-Ansatzes (18% XP).

18% XP		Versuchsbeginn (1. Lebenstag)					Versuchsende (12. Lebenstag)					
Bucht Nr.	Tierzahl	xLM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]	Tierzahl	xLM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
N4 - 1	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	206,60	54,1507	5,3743	30,2639	18,5125
N4 - 2	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	189,20	49,5901	4,9217	27,7150	16,9534
N4 - 3	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	207,80	54,4652	5,4056	30,4396	18,6200
N4 - 4	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	205,60	53,8886	5,3483	30,1174	18,4229
N4 - 5	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	202,60	53,1023	5,2703	29,6779	18,1541
N4 - 6	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	200,80	52,6305	5,2235	29,4143	17,9928
N4 - 7	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	197,20	51,6869	5,1298	28,8869	17,6702
N4 - 8	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	189,60	49,6949	4,9321	27,7736	16,9892
MW		50,00	10,218	0,871	7,030	2,318		199,93	52,401	5,201	29,286	17,914
SE		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		2,12	0,55	0,06	0,31	0,19

Bucht Nr.	Ansatz je Versuchsperiode					Ansatz je Tier und Tag					N [g]	N [mg]	Anfangs-End-LM (kg)	Metabol. LM (kg)	N-Ansatz [mg/LM_{kg}^{0,67}]
	LM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]	LM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]					
N4 - 1	156,60	43,93	4,50	23,23	16,19	13,05	3,66	0,38	1,94	1,35	0,31	309,79	0,13	0,25	1226,1858
N4 - 2	139,20	39,37	4,05	20,69	14,64	11,60	3,28	0,34	1,72	1,22	0,28	275,81	0,12	0,24	1144,2574
N4 - 3	157,80	44,25	4,53	23,41	16,30	13,15	3,69	0,38	1,95	1,36	0,31	312,13	0,13	0,25	1231,6067
N4 - 4	155,60	43,67	4,48	23,09	16,10	12,97	3,64	0,37	1,92	1,34	0,31	307,84	0,13	0,25	1221,6469
N4 - 5	152,60	42,88	4,40	22,65	15,84	12,72	3,57	0,37	1,89	1,32	0,30	301,98	0,13	0,25	1207,9113
N4 - 6	150,80	42,41	4,35	22,38	15,67	12,57	3,53	0,36	1,87	1,31	0,30	298,46	0,13	0,25	1199,5826
N4 - 7	147,20	41,47	4,26	21,86	15,35	12,27	3,46	0,35	1,82	1,28	0,29	291,43	0,12	0,25	1182,7240
N4 - 8	139,60	39,48	4,06	20,74	14,67	11,63	3,29	0,34	1,73	1,22	0,28	276,59	0,12	0,24	1146,2148
MW	149,93	42,18	4,33	22,26	15,60	12,49	3,52	0,36	1,85	1,30	0,30	296,75	0,12	0,25	1195,016
SE	2,12	0,55	0,06	0,31	0,19	0,18	0,05	0,00	0,03	0,02	0,00	4,13	0,00	0,00	9,95

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 38-4: N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 6. Schritt: Ermittlung des N-Ansatzes (22% XP).

22% XP		Versuchsbeginn (1. Lebenstag)					Versuchsende (12. Lebenstag)					
Bucht Nr.	Tierzahl	xLM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]	Tierzahl	xLM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
N5 - 1	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	282,00	77,0339	6,9593	40,1179	29,9567
N5 - 2	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	283,20	77,3617	6,9889	40,2886	30,0842
N5 - 3	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	263,60	72,0076	6,5052	37,5003	28,0021
N5 - 4	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	286,20	78,1812	7,0629	40,7154	30,4029
N5 - 5	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	288,80	78,8914	7,1271	41,0853	30,6791
N5 - 6	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	232,20	63,4300	5,7303	33,0332	24,6665
N5 - 7	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	297,60	81,2953	7,3443	42,3372	31,6139
N5 - 8	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	323,40	88,3431	7,9810	46,0075	34,3546
MW		50,00	10,218	0,871	7,030	2,318		282,13	77,068	6,962	40,136	29,970
SE		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		7,59	2,07	0,19	1,08	0,81

Bucht Nr.	Ansatz je Versuchsperiode					Ansatz je Tier und Tag					N [g]	N [mg]	Anfangs-End-LM (kg)	Metabol. LM (kg)	N-Ansatz [mg/LM _{kg} ^{0,67}]
	LM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]	LM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]					
N5 - 1	232,00	66,82	6,09	33,09	27,64	19,33	5,57	0,51	2,76	2,30	0,44	441,18	0,17	0,30	1469,4029
N5 - 2	233,20	67,14	6,12	33,26	27,77	19,43	5,60	0,51	2,77	2,31	0,44	443,45	0,17	0,30	1473,4180
N5 - 3	213,60	61,79	5,63	30,47	25,68	17,80	5,15	0,47	2,54	2,14	0,41	406,28	0,16	0,29	1405,8505
N5 - 4	236,20	67,96	6,19	33,69	28,08	19,68	5,66	0,52	2,81	2,34	0,45	449,14	0,17	0,30	1483,3900
N5 - 5	238,80	68,67	6,26	34,06	28,36	19,90	5,72	0,52	2,84	2,36	0,45	454,08	0,17	0,30	1491,9575
N5 - 6	182,20	53,21	4,86	26,00	22,35	15,18	4,43	0,40	2,17	1,86	0,35	346,72	0,14	0,27	1287,6272
N5 - 7	247,60	71,08	6,47	35,31	29,30	20,63	5,92	0,54	2,94	2,44	0,47	470,77	0,17	0,31	1520,4549
N5 - 8	273,40	78,12	7,11	38,98	32,04	22,78	6,51	0,59	3,25	2,67	0,52	519,71	0,19	0,32	1599,8936
MW	232,13	66,85	6,09	33,11	27,65	19,34	5,57	0,51	2,76	2,30	0,44	441,41	0,17	0,30	1466,4993
SE	7,59	2,07	0,19	1,08	0,81	0,63	0,17	0,02	0,09	0,07	0,01	14,40	0,00	0,00	26,13

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 38-5: N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 6. Schritt: Ermittlung des N-Ansatzes (26% XP).

26% XP		Versuchsbeginn (1. Lebenstag)					Versuchsende (12. Lebenstag)					
Bucht Nr.	Tierzahl	xLM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]	Tierzahl	xLM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
N6 - 1	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	392,40	104,4533	9,2676	57,5263	37,6594
N6 - 2	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	397,80	105,8907	9,3951	58,3179	38,1777
N6 - 3	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	468,20	124,6306	11,0578	68,6386	44,9341
N6 - 4	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	344,60	91,7294	8,1387	50,5187	33,0719
N6 - 5	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	392,20	104,4001	9,2629	57,4970	37,6402
N6 - 6	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	360,20	95,8819	8,5071	52,8057	34,5691
N6 - 7	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	447,00	118,9873	10,5571	65,5307	42,8995
N6 - 8	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	372,00	99,0230	8,7858	54,5356	35,7016
MW		50,00	10,218	0,871	7,030	2,318		396,80	105,625	9,372	58,171	38,082
SE		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		12,12	3,23	0,29	1,78	1,16

Bucht Nr.	Ansatz je Versuchsperiode					Ansatz je Tier und Tag					N [g]	N [mg]	Anfangs-End-LM (kg)	Metabol. LM (kg)	N-Ansatz [mg/LM_{kg}^{0,67}]
	LM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]	LM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]					
N6 - 1	342,40	94,23	8,40	50,50	35,34	28,53	7,85	0,70	4,21	2,95	0,67	673,29	0,22	0,36	1850,1020
N6 - 2	347,80	95,67	8,52	51,29	35,86	28,98	7,97	0,71	4,27	2,99	0,68	683,84	0,22	0,37	1863,8937
N6 - 3	418,20	114,41	10,19	61,61	42,62	34,85	9,53	0,85	5,13	3,55	0,82	821,45	0,26	0,40	2030,2997
N6 - 4	294,60	81,51	7,27	43,49	30,75	24,55	6,79	0,61	3,62	2,56	0,58	579,86	0,20	0,34	1720,2226
N6 - 5	342,20	94,18	8,39	50,47	35,32	28,52	7,85	0,70	4,21	2,94	0,67	672,90	0,22	0,36	1849,5880
N6 - 6	310,20	85,66	7,64	45,78	32,25	25,85	7,14	0,64	3,81	2,69	0,61	610,35	0,21	0,35	1764,2532
N6 - 7	397,00	108,77	9,69	58,50	40,58	33,08	9,06	0,81	4,88	3,38	0,78	780,01	0,25	0,39	1982,5959
N6 - 8	322,00	88,80	7,91	47,51	33,38	26,83	7,40	0,66	3,96	2,78	0,63	633,41	0,21	0,35	1796,4629
MW	346,80	95,41	8,50	51,14	35,76	28,90	7,95	0,71	4,26	2,98	0,68	681,89	0,22	0,37	1857,1772
SE	12,12	3,23	0,29	1,78	1,16	1,01	0,27	0,02	0,15	0,10	0,02	23,69	0,01	0,01	30,26

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 38-6: N-Ansatz im Tierkörper in Experiment 1, erster Wachstumsabschnitt. 6. Schritt: Ermittlung des N-Ansatzes (30% XP).

30% XP		Versuchsbeginn (1. Lebenstag)					Versuchsende (12. Lebenstag)					
Bucht Nr.	Tierzahl	xLM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]	Tierzahl	xLM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]
N7 - 1	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	476,00	120,5404	10,6079	74,0918	35,8407
N7 - 2	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	462,20	117,0457	10,3004	71,9437	34,8016
N7 - 3	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	4	461,50	116,8684	10,2848	71,8348	34,7489
N7 - 4	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	444,20	112,4875	9,8992	69,1419	33,4463
N7 - 5	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	4	519,00	131,4295	11,5662	80,7849	39,0784
N7 - 6	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	464,40	117,6028	10,3494	72,2862	34,9673
N7 - 7	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	457,40	115,8302	10,1934	71,1966	34,4402
N7 - 8	5	50,0	10,2185	0,8708	7,0296	2,3181	5	458,60	116,1341	10,2201	71,3834	34,5305
MW		50,00	10,218	0,871	7,030	2,318		467,91	118,492	10,428	72,833	35,232
SE		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		6,47	1,64	0,14	1,01	0,49

Ansatz je Versuchsperiode						Ansatz je Tier und Tag								N-Ansatz [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	
Bucht Nr.	LM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]	LM [g]	T korr. [g]	XA [g]	XP [g]	XL+XX [g]	N [g]	N [mg]	Anfangs-End-LM (kg)		Metabol. LM (kg)
N7 - 1	426,00	110,32	9,74	67,06	33,52	35,50	9,19	0,81	5,59	2,79	0,89	894,16	0,26	0,41	2187,9939
N7 - 2	412,20	106,83	9,43	64,91	32,48	34,35	8,90	0,79	5,41	2,71	0,87	865,52	0,26	0,40	2155,9748
N7 - 3	411,50	106,65	9,41	64,81	32,43	34,29	8,89	0,78	5,40	2,70	0,86	864,07	0,26	0,40	2154,3291
N7 - 4	394,20	102,27	9,03	62,11	31,13	32,85	8,52	0,75	5,18	2,59	0,83	828,16	0,25	0,39	2112,9637
N7 - 5	469,00	121,21	10,70	73,76	36,76	39,08	10,10	0,89	6,15	3,06	0,98	983,40	0,28	0,43	2282,9539
N7 - 6	414,40	107,38	9,48	65,26	32,65	34,53	8,95	0,79	5,44	2,72	0,87	870,09	0,26	0,40	2161,1334
N7 - 7	407,40	105,61	9,32	64,17	32,12	33,95	8,80	0,78	5,35	2,68	0,86	855,56	0,25	0,40	2144,6469
N7 - 8	408,60	105,92	9,35	64,35	32,21	34,05	8,83	0,78	5,36	2,68	0,86	858,05	0,25	0,40	2147,4883
MW	417,91	108,27	9,56	65,80	32,91	34,83	9,02	0,80	5,48	2,74	0,88	877,38	0,26	0,40	2168,4355
SE	6,47	1,64	0,14	1,01	0,49	0,54	0,14	0,01	0,08	0,04	0,01	13,44	0,00	0,00	14,63

Futtermischungen: **N2** = 10%, **N3** = 14%, **N4** = 18%, **N5** = 22%, **N6** = 26%, **N7** = 30% XP in FS

A-Tabelle 39: N-Ansatz im Tierkörper während des zweiten Wachstumsabschnittes (13.-24. LT). Experiment 1. [Verkürzte Darstellung].

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]
N2 - 1	783,1	N5 - 1	1891
N2 - 2	770,6	N5 - 2	1973
N2 - 3	698,1	N5 - 3	1949
N2 - 4	819,9	N5 - 4	2049
N2 - 5	712,4	N5 - 5	2022
N2 - 6	801,6	N5 - 6	2138
N2 - 7	918,8	N5 - 7	1904
N2 - 8	806,1	N5 - 8	2049

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]
N3 - 1	1195	N6 - 1	2328
N3 - 2	1079	N6 - 2	2303
N3 - 3	1199	N6 - 3	2342
N3 - 4	1101	N6 - 4	2442
N3 - 5	1006	N6 - 5	2214
N3 - 6	1155	N6 - 6	2421
N3 - 7	1135	N6 - 7	2315
N3 - 8	1327	N6 - 8	2580

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]
N4 - 1	2131	N7 - 1	2589
N4 - 2	1767	N7 - 2	2599
N4 - 3	1945	N7 - 3	2553
N4 - 4	1805	N7 - 4	2659
N4 - 5	1557	N7 - 5	2591
N4 - 6	1990	N7 - 6	2664
N4 - 7	1721	N7 - 7	2699
N4 - 8	1804	N7 - 8	2623

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 40: N-Ansatz im Tierkörper während des dritten Wachstumsabschnittes (25.-36. LT). Experiment 1. [Verkürzte Darstellung].

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]
N2 - 1	852,3958891	N5 - 1	2129,276
N2 - 2	831,3090159	N5 - 2	2089,2245
N2 - 3	804,1070477	N5 - 3	2182,4604
N2 - 4	883,3649445	N5 - 4	1915,4554
N2 - 5	978,1625552	N5 - 5	2021,5298
N2 - 6	1015,451067	N5 - 6	2197,9653
N2 - 7	1024,057995	N5 - 7	2101,9582
N2 - 8	973,4818179	N5 - 8	2221,0156

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]
N3 - 1	1565,412586	N6 - 1	2492,234
N3 - 2	1301,921768	N6 - 2	2513,1086
N3 - 3	1667,368998	N6 - 3	2426,7321
N3 - 4	1381,452834	N6 - 4	2267,9571
N3 - 5	1467,881061	N6 - 5	2368,3256
N3 - 6	1620,207986	N6 - 6	2351,6624
N3 - 7	1288,461196	N6 - 7	2369,587
N3 - 8	1444,587954	N6 - 8	2597,1959

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]
N4 - 1	2025,719063	N7 - 1	2796,5853
N4 - 2	1747,641648	N7 - 2	2820,6068
N4 - 3	2063,755505	N7 - 3	2639,1679
N4 - 4	1676,166419	N7 - 4	2754,0638
N4 - 5	1855,996741	N7 - 5	2750,4347
N4 - 6	1830,242952	N7 - 6	2783,0639
N4 - 7	1781,876091	N7 - 7	2803,7162
N4 - 8	1878,276058	N7 - 8	2695,2467

Futtermischungen: N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30% XP in FS

A-Tabelle 41: Einzeltierdaten aus Experiment 1. Sammelperiode I der Starterperiode (10.-15. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier-nr	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (% in TS)	N-Aufn.(mg)/ LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente/d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Ausscheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67}	N-Bilanz(mg)/ LM _{kg} ^{0,67}
N1																
1	(6%)	112	129	120,5	0,1205	0,2422	13,92	91,3622	12,7176	1,0338	542,7054	873,4674	4,9972	43,6486	180,1810	362,5244
2	N1	111	116	113,5	0,1135	0,2327	11,50	91,3622	10,5067	1,0338	466,6990	776,4706	5,5103	42,7860	183,8461	282,8529
3	N1	117	122	119,5	0,1195	0,2409	11,58	91,3622	10,5828	1,0338	454,1333	764,1772	4,8975	37,4255	155,3571	298,7762
4	N1	108	119	113,5	0,1135	0,2327	11,67	91,3622	10,6589	1,0338	473,4627	908,8773	4,5471	41,3280	177,5813	295,8815
5	N1	106	123	114,5	0,1145	0,2341	12,58	91,3622	11,4964	1,0338	507,6709	916,8463	3,5725	32,7545	139,9173	367,7536
6	N1	123	135	129	0,1290	0,2536	14,00	91,3622	12,7907	1,0338	521,4578	918,7522	4,0143	36,8816	145,4503	376,0075
N2																
7	(10%)	92	87	89,5	0,0895	0,1985	7,50	91,6228	6,8717	1,7312	599,3640	726,7440	7,7909	56,6202	285,2660	314,0980
8	N2	101	121	111	0,1110	0,2293	9,00	91,6228	8,2461	1,7312	622,6255	1207,0943	4,4656	53,9040	235,1011	387,5245
9	N2	0	0	0	0,0000	0,0000	0,000	91,6228	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	N2	98	118	108	0,1080	0,2251	11,92	91,6228	10,9214	1,7312	839,9108	1161,6472	3,9211	45,5499	202,3455	637,5653
N3																
11	(14%)	109	122	115,5	0,1155	0,2355	12,250	91,3819	11,1943	2,4362	1158,1700	1431,1591	3,9667	56,7698	241,0946	917,0754
12	N3	108	115	111,5	0,1115	0,2300	14,170	91,3819	12,9488	2,4362	1371,7085	938,7975	7,2550	68,1096	296,1653	1075,5432
13	N3	95	126	110,5	0,1105	0,2286	16,920	91,3819	15,4618	2,4362	1647,8352	1751,8573	4,3395	76,0215	332,5705	1315,2647
14	N3	102	115	108,5	0,1085	0,2258	12,250	91,3819	11,1943	2,4362	1207,7146	1469,4918	4,6399	68,1834	301,9540	905,7606
N4																
15	(18%)	115	145	130	0,1300	0,2549	16	91,9899	14,7184	3,1491	1818,4754	1623,2516	7,3316	119,0108	466,9220	1351,5534
16	N4	127	177	152	0,1520	0,2830	15,83	91,9899	14,5620	3,1491	1620,2246	2772,4251	4,8727	135,0909	477,2994	1142,9252
17	N4	104	159	131,5	0,1315	0,2569	24,08	91,9899	22,1512	3,1491	2715,8497	2251,6602	7,3545	165,5973	644,7228	2071,1269
18	N4	106	129	117,5	0,1175	0,2382	12,83	91,9899	11,8023	3,1491	1560,3815	1343,8394	7,5758	101,8065	427,4154	1132,9661
N5																
19	(22%)	183	286	234,5	0,2345	0,3784	22,33	92,3024	20,6142	3,8515	2097,9888	3377,9645	8,2004	277,0056	731,9693	1366,0195
20	N5	165	232	198,5	0,1985	0,3385	20,75	92,3024	19,1528	3,8515	2179,5351	2749,8333	8,1023	222,7992	658,2852	1521,2499
21	N5	182	252	217	0,2170	0,3593	21,75	92,3024	20,0758	3,8515	2152,1699	4714,7704	5,0917	240,0632	668,1863	1483,9836
22	N5	171	247	209	0,2090	0,3503	20,34	92,3024	18,7706	3,8515	2063,5397	3108,6437	7,8624	244,4138	697,6340	1365,9058
N6																
23	(26%)	227	332	279,5	0,2795	0,4257	26	92,2262	23,9788	4,5771	2578,3631	4188,1071	8,5193	356,7984	838,1989	1740,1642
24	N6	200	337	268,5	0,2685	0,4144	30,17	92,2262	27,8216	4,5771	3073,1318	5546,6606	8,5511	474,3000	1144,6177	1928,5141
25	N6	212	321	266,5	0,2665	0,4123	26,75	92,2262	24,6705	4,5771	2738,7550	4434,3936	8,8480	392,3535	951,6131	1787,1420
26	N6	225	407	316	0,3160	0,4622	37,58	92,2262	34,6617	4,5771	3432,8236	7794,3472	8,7156	679,3227	1469,8932	1962,9304
N7																
27	(30%)	309	588	448,5	0,4485	0,5844	55,75	92,4400	51,5353	5,3106	4683,4330	11273,2168	9,2250	1039,9563	1779,6486	2903,7844
28	N7	303	520	411,5	0,4115	0,5516	50,5	92,4400	46,6822	5,3106	4494,3187	9564,8289	9,0561	866,2024	1570,3324	2923,9863
29	N7	317	584	450,5	0,4505	0,5861	50,5	92,4400	46,6822	5,3106	4229,7641	10191,6108	9,3285	950,7233	1622,1037	2607,6603
30	N7	260	439	349,5	0,3495	0,4944	35	92,4400	32,3540	5,3106	3475,0312	6555,5293	9,3209	611,0370	1235,8276	2239,2036
31	N7	265	491	378	0,3780	0,5211	42,75	92,4400	39,5181	5,3106	4027,3270	9103,7511	8,8560	806,2310	1547,1770	2480,1500
32	N7	329	635	482	0,4820	0,6133	55,25	92,4400	51,0731	5,3106	4422,7363	11325,5609	9,4886	1074,6336	1752,3421	2670,3942
N8																
33	(34%)	314	615	464,5	0,4645	0,5982	51,17	92,1618	47,1561	6,0523	4770,6731	11621,6290	10,1182	1175,9013	1965,5787	2805,0944
34	N8	314	588	451	0,4510	0,5865	51,33	92,1618	47,3097	6,0523	4881,7344	13016,7166	10,1205	1317,3552	2245,9734	2635,7610
35	N8	328	628	478	0,4780	0,6098	53,75	92,1618	49,5370	6,0523	4916,2589	11168,0118	9,4287	1052,9974	1726,6750	3189,5839
36	N8	330	620	475	0,4750	0,6073	49,75	92,1618	45,8505	6,0523	4569,6331	13131,2295	9,5035	1247,9244	2054,9609	2514,6722

Tier aus Versuch genommen

Futtermischungen: N1= 6%, N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30, N8=34% XP in FS

A-Tabelle 42: Einzeltierdaten aus Experiment 1. Sammelperiode II der Starterperiode (15.-20. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier-nr.	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittel-Wert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM (LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (% in TS)	N-Aufn. (mg) /LM _{kg} ^{0,67}	Exkremete/d (mg) in TS	%N in Exkremete (TS)	N-Ausscheidung Exkremete/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremete (mg)/LM _{kg} ^{0,67}	N-Bilanz (mg)/LM _{kg} ^{0,67}
1	N1 (6%)	129	142	135,5	0,1355	0,2621	12,50	91,3622	11,4203	1,0338	450,5022	1068,5942	5,4681	58,4320	222,9726	227,5297
2	N1	116	124	120	0,1200	0,2416	9,83	91,3622	8,9839	1,0338	384,4462	919,5657	5,1720	47,5599	196,8745	187,5717
3	N1	122	132	127	0,1270	0,2509	10,83	91,3622	9,8976	1,0338	407,7555	911,6508	4,9463	45,0927	179,7040	228,0515
4	N1	119	122	120,5	0,1205	0,2422	12,33	91,3622	11,2680	1,0338	480,8453	983,4587	4,8561	47,7576	197,1429	283,7024
5	N1	123	128	125,5	0,1255	0,2489	12,83	91,3622	11,7248	1,0338	486,8940	1096,2999	2,3559	25,8280	103,7527	383,1413
6	N1	135	149	142	0,1420	0,2704	13,58	91,3622	12,4100	1,0338	474,4161	917,0280	3,6510	33,4806	123,8112	350,6049
7	N2 (10%)	87	74,5	80,75	0,0808	0,1853	6,43	91,6228	5,8900	1,7312	550,4017	536,7967	15,8501	85,0830	459,2586	91,1431
8	N2	121	131	126	0,1260	0,2496	16,08	91,6228	14,7360	1,7312	1022,0652	1239,2182	3,6914	45,7443	183,2689	838,7963
9	N2	0	0	0	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	1,7312	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	N2	118	131	124,5	0,1245	0,2476	14,08	91,6228	12,9035	1,7312	902,1792	1450,3958	3,7508	54,4019	219,7104	682,4688
11	N3 (14%)	122	155	138,5	0,1385	0,2659	17,00	91,3819	15,5349	2,4362	1423,1272	2039,1763	3,9838	81,2360	305,4761	1117,6511
12	N3	115	131	123	0,1230	0,2456	19,58	91,3819	17,8956	2,4362	1775,0735	1219,6353	7,4305	90,6255	368,9895	1406,0840
13	N3	126	149	137,5	0,1375	0,2646	15,58	91,3819	14,2404	2,4362	1310,8823	1378,0264	4,3149	59,4606	224,6811	1086,2012
14	N3	115	136	125,5	0,1255	0,2489	19,83	91,3819	18,1241	2,4362	1773,6608	1177,5976	4,1422	48,7784	195,9459	1577,7148
15	N4 (18%)	145	244	194,5	0,1945	0,3339	28,75	91,9899	26,4471	3,1491	2494,5443	3037,3565	6,7311	204,4466	612,3557	1882,1886
16	N4	177	226	201,5	0,2015	0,3419	21,33	91,9899	19,6245	3,1491	1807,6899	3100,1180	5,1331	159,1326	465,4734	1342,2165
17	N4	159	218	188,5	0,1885	0,3269	29,75	91,9899	27,3670	3,1491	2636,0756	3059,3987	7,3276	224,1796	685,7053	1950,3704
18	N4	129	175	152	0,1520	0,2830	26,42	91,9899	24,3037	3,1491	2704,1272	2714,7974	6,3409	172,1436	608,2130	2095,9142
19	N5 (22%)	286	429	357,5	0,3575	0,5020	33,58	92,3024	30,9982	3,8515	2378,3412	5161,4909	8,0316	414,5516	825,8167	1552,5246
20	N5	232	351	291,5	0,2915	0,4378	28,83	92,3024	26,6139	3,8515	2341,1667	4079,6503	7,1943	293,5008	670,3498	1670,8169
21	N5	252	370	311	0,3110	0,4572	28,50	92,3024	26,3062	3,8515	2215,8518	4624,8719	7,0481	325,9654	712,8892	1502,9626
22	N5	247	346	296,5	0,2965	0,4428	38,17	92,3024	35,2318	3,8515	3064,1564	4175,1371	7,3865	308,3985	696,3951	2367,7613
23	N6 (26%)	332	504	418	0,4180	0,5574	37,08	92,2262	34,2005	4,5771	2808,2592	6572,1451	8,8813	583,6926	1047,1191	1761,1401
24	N6	337	561	449	0,4490	0,5848	46,33	92,2262	42,7284	4,5771	3344,2889	8540,4031	8,7159	744,3748	1272,8775	2071,4114
25	N6	321	529	425	0,4250	0,5637	42,25	92,2262	38,9656	4,5771	3164,1180	7392,5853	8,4685	626,0430	1110,6663	2053,4517
26	N6	407	712	559,5	0,5595	0,6777	59,67	92,2262	55,0283	4,5771	3716,6550	11239,7967	6,6830	751,1584	1108,4228	2608,2322
27	N7 (30%)	588	950	769	0,7690	0,8386	72,83	92,4400	67,3271	5,3106	4263,4367	15852,8033	9,1828	1455,7321	1735,8445	2527,5922
28	N7	520	795	657,5	0,6575	0,7551	50,50	92,4400	46,6822	5,3106	3283,2315	11489,2664	9,1131	1047,0232	1386,6477	1896,5837
29	N7	584	935	759,5	0,7595	0,8317	68,17	92,4400	63,0133	5,3106	4023,6364	14840,4124	8,1558	1210,3571	1455,3247	2568,3116
30	N7	439	736	587,5	0,5875	0,7002	54	92,4400	49,9176	5,3106	3785,8096	10874,1532	8,5244	926,9568	1323,8056	2462,0039
31	N7	491	753	622	0,6220	0,7275	56,18	92,4400	51,9359	5,3106	3791,1260	9936,1695	8,5742	851,9448	1171,0405	2620,0856
32	N7	635	1004	819,5	0,8195	0,8751	71,5	92,4400	66,0946	5,3106	4010,7770	17239,4783	9,0921	1567,4274	1791,0579	2219,7191
33	N8 (34%)	615	959	787	0,7870	0,8517	69,17	92,1618	63,7453	6,0523	4529,6719	15838,6795	9,7040	1536,9888	1804,5446	2725,1272
34	N8	588	944	766	0,7660	0,8364	69,92	92,1618	64,4365	6,0523	4662,5168	17568,2048	9,6984	1703,8312	2037,0106	2625,5061
35	N8	628	1002	815	0,8150	0,8719	71,5	92,1618	65,8957	6,0523	4574,0764	17912,0824	9,3344	1671,9768	1917,5851	2656,4912
36	N8	620	802	711	0,7110	0,7957	64,83	92,1618	59,7516	6,0523	4544,8409	12668,3699	9,6150	1218,0670	1530,8003	3014,0406

Tier aus Versuch genommen

Futtermischungen: N1= 6%, N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30, N8=34% XP in FS

A-Tabelle 43: Einzeltierdaten aus Experiment 1. Sammelperiode I der Growerperiode (25.-30. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier-nr.	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM (LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (% in TS)	N-Aufn. (mg) /LM _{kg} ^{0,67}	Exkremete/d (mg) in TS	%N in Exkremete (TS)	N-Ausscheidung Exkremete/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremete (mg)/LM _{kg} ^{0,67}	N-Bilanz (mg)/LM _{kg} ^{0,67}
1	N1 (6%)	948	1007	977,5	0,9775	0,9849	69,92	62,9497	1,0330	660,235	4833,0336	5,0912	246,0618	249,8423	410,3932
2	N1	965,5	1008	986,75	0,9868	0,9911	61,92	55,7469	1,0330	581,012	4504,2857	7,2081	324,6717	327,5862	253,4259
3	N1	1028	1165	1096,5	1,0965	1,0637	89,58	80,6566	1,0330	783,281	6389,0448	5,7646	368,3052	346,2598	437,0216
4	N1	1004,5	1134	1069,2	1,0693	1,0459	75,25	67,7516	1,0330	669,144	6308,9898	5,1757	326,5360	312,2108	356,9335
5	N1	866	872	869	0,8690	0,9102	60,17	54,1712	1,0330	614,764	4549,9514	6,6704	303,4990	333,4372	281,3278
6	N1	987	1120	1053,5	1,0535	1,0355	81,08	73,0036	1,0330	728,220	5913,3481	4,9691	293,8429	283,7593	444,4611
7	N2 (10%)	1008,5	1231	1119,75	1,1198	1,0787	95,33	85,7732	1,7298	1375,391	8862,7038	5,8330	516,9596	479,2316	896,1595
8	N2	1044,5	1224	1134,25	1,1343	1,0881	84,42	75,9512	1,7298	1207,440	7819,9888	5,9362	464,2120	426,6399	780,8010
9	N2	981	1266	1123,5	1,1235	1,0811	85,50	76,9259	1,7298	1230,763	8342,1741	6,3645	530,9386	491,0892	739,6746
10	N2	1025,5	1260	1142,75	1,1428	1,0935	91,83	82,6242	1,7298	1306,969	7832,8767	5,8071	454,8600	415,9589	891,0110
11	N3 (14%)	1166,5	1476	1321,25	1,3213	1,2052	108,33	97,6742	2,4342	1972,801	11462,7935	6,8427	784,3675	650,8181	1321,9829
12	N3	1075,5	1306	1190,75	1,1908	1,1241	81,92	73,8567	2,4342	1599,387	8186,5908	7,3208	599,3240	533,1653	1066,2219
13	N3	1191	1463	1327	1,3270	1,2087	121,50	109,545	2,4342	220,1442	12652,3415	7,0349	890,0768	736,3833	1469,7609
14	N3	1002	1287	1144,5	1,1445	1,0946	93,250	84,0749	2,4342	1869,637	9902,6499	6,5405	647,6860	591,6869	1277,9505
15	N4 (18%)	1097,5	1523	1310,25	1,3103	1,1985	120,75	109,173	3,1466	2866,331	16133,3256	7,8851	1272,1275	1061,4593	1804,8726
16	N4	1164,5	1658	1411,25	1,4113	1,2596	130,00	117,536	3,1466	2936,130	17922,8340	7,8344	1404,1472	1114,7513	1821,3790
17	N4	907,5	1250	1078,75	1,0788	1,0521	79	71,4262	3,1466	2136,174	10314,3222	6,8611	707,6776	672,6335	1463,5412
18	N4	1125,5	1518	1321,75	1,3218	1,2055	115,58	104,502	3,1466	2727,669	16048,6403	7,7326	1240,9736	1029,4198	1698,2501
19	N5 (22%)	1106	1513	1309,5	1,3095	1,1980	103,58	94,4916	3,8510	3037,458	15062,5770	8,2933	1249,1775	1042,7098	1994,7490
20	N5	1195,5	1562	1378,75	1,3788	1,2401	102,33	93,3513	3,8510	2898,965	15810,3550	8,2879	1310,3466	1056,6493	1842,3160
21	N5	1278	1750	1514	1,5140	1,3203	122,42	111,671	3,8510	3257,147	18138,8387	8,4475	1532,2831	1160,5255	2096,6220
22	N5	1153,5	1467	1310,25	1,3103	1,1985	88,33	80,5801	3,8510	2589,277	13454,9544	7,9009	1063,0634	887,0169	1702,2602
23	N6 (26%)	1379,5	1845	1612,25	1,6123	1,3771	123,75	112,550	4,5763	3740,122	21177,5956	8,2945	1756,5688	1275,5147	2464,6078
24	N6	1362	2035	1698,5	1,6985	1,4261	127,75	116,189	4,5763	3728,527	23513,6472	8,7072	2047,3834	1435,6721	2292,8550
25	N6	1206,5	1513	1359,75	1,3598	1,2286	87,17	79,2783	4,5763	2952,930	15017,8899	8,4228	1264,9251	1029,5495	1923,3807
26	N6	1255	1659	1457	1,4570	1,2868	91,83	83,5227	4,5763	2970,316	16333,2395	8,7546	1429,9081	1111,1949	1859,1219
27	N7 (30%)	1230	1734	1482	1,4820	1,3016	112,42	102,8783	5,3098	4196,918	23139,0505	8,8884	2056,6940	1580,1612	2616,7575
28	N7	1312,5	1908	1610,25	1,6103	1,3760	118,42	108,3693	5,3098	4181,792	24610,6920	8,9811	2210,3046	1606,3257	2575,4666
29	N7	1197,5	1455	1326,25	1,3263	1,2083	80,17	73,3647	5,3098	3224,058	15903,6617	8,7778	1395,9976	1155,3822	2068,6767
30	N7	1369,5	1999	1684,25	1,6843	1,4181	134,42	123,0117	5,3098	4606,052	28308,8825	9,4124	2664,5578	1879,0258	2727,0266
31	N7	1335,5	1901	1618,25	1,6183	1,3806	113,75	104,0985	5,3098	4003,676	23383,3664	9,0846	2124,2773	1538,6883	2464,9883
32	N7	1331	1974	1652,5	1,6525	1,4001	130,5	119,4273	5,3098	4529,224	28822,0737	9,4881	2734,6779	1953,2211	2576,0037
33	N8 (34%)	1457	2205	1831	1,8310	1,4997	130,75	119,2287	6,0514	4810,970	30608,9170	10,1621	3110,5109	2074,1040	2736,8668
34	N8	1391	1979	1685	1,6850	1,4185	120,17	109,5780	6,0514	4674,706	29529,8699	10,1678	3002,5320	2116,7312	2557,9748
35	N8	1353,5	1997	1675,25	1,6753	1,4130	121,58	110,8698	6,0514	4748,242	27051,6283	10,4491	2826,6480	2000,4992	2747,7436
36	N8	1335,5	1999	1667,25	1,6673	1,4084	124,5	113,5295	6,0514	4877,767	32721,6523	9,6899	3170,7072	2251,2081	2626,5592

Futtermischungen: N1= 6%, N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30, N8=34% XP in FS

A-Tabelle 44: Einzeltierdaten aus Experiment 1. Sammelperiode II der Growerperiode (30.-35. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier-nr.	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittel-Wert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM (LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn. (mg) /LM _{kg} ^{0,67}	Exkremete/d (mg) in TS	%N in Exkremete (TS)	N-Ausscheidung Exkremete/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremete (mg)/LM _{kg} ^{0,67}	N-Bilanz (mg)/LM _{kg} ^{0,67}
N1																
1	(6%)	1007	1101	1054	1,0540	1,0359	74,50	90,0353	67,0763	1,0330	668,8819	4924,7813	4,4216	217,7523	210,2130	458,6689
2	N1	1008	1072	1040	1,0400	1,0266	69,92	90,0353	62,9497	1,0330	633,3806	5916,9157	5,3887	318,8468	310,5773	322,8033
3	N1	1165	1242	1203,5	1,2035	1,1321	92,42	90,0353	83,2076	1,0330	759,1853	7301,2779	5,3731	392,3020	346,5147	412,6706
4	N1	1134	1212	1173	1,1730	1,1128	70,50	90,0353	63,4749	1,0330	589,1906	6595,1566	4,7494	313,2324	281,4732	307,7175
5	N1	872	925	898,5	0,8985	0,9308	76,33	90,0353	68,7270	1,0330	762,6996	5034,8881	4,5356	228,3641	245,3413	517,3582
6	N1	1120	1253	1186,5	1,1865	1,1214	101,58	90,0353	91,4609	1,0330	842,4797	7535,3987	4,2927	323,4688	288,4516	554,0281
N2																
7	(10%)	1231	1411	1321	1,3210	1,2050	94,17	89,9719	84,7235	1,7298	1216,1436	8108,2389	5,9665	483,7788	401,4597	814,6839
8	N2	1224	1338	1281	1,2810	1,1805	83,00	89,9719	74,6766	1,7298	1094,2404	7356,1833	5,8529	430,5475	364,7230	729,5173
9	N2	1266	1336	1301	1,3010	1,1928	98,50	89,9719	88,6223	1,7298	1285,1771	10242,0877	5,1571	528,1997	442,8252	842,3519
10	N2	1260	1401	1330,5	1,3305	1,2108	96,25	89,9719	86,5979	1,7298	1237,0958	7846,5006	5,7168	448,5691	370,4583	866,6374
N3																
11	(14%)	1476	1724	1600	1,6000	1,3701	109,75	90,1608	98,9515	2,4342	1758,0259	11998,0386	6,9868	838,2730	611,8220	1146,2040
12	N3	1306	1555	1430,5	1,4305	1,2711	98,83	90,1608	89,1089	2,4342	1706,5056	11175,4446	6,9686	778,7712	612,6790	1093,8266
13	N3	1463	1762	1612,5	1,6125	1,3773	115,33	90,1608	103,9855	2,4342	1837,8547	13173,5543	6,9524	915,8746	664,9840	1172,8707
14	N3	1287	1493	1390	1,3900	1,2469	95,67	90,1608	86,2538	2,4342	1683,9216	10232,3067	7,0138	717,6750	575,5829	1108,3387
N4																
15	(18%)	1523	1929	1726	1,7260	1,4415	127	90,4129	114,8244	3,1466	2506,4152	17422,9173	7,9845	1391,1391	965,0576	1541,3576
16	N4	1658	2118	1888	1,8880	1,5308	151,25	90,4129	136,7496	3,1466	2810,8695	20702,1289	7,8249	1619,9232	1058,2130	1752,6565
17	N4	1250	1329	1289,5	1,2895	1,1857	77,75	90,4129	70,2961	3,1466	1865,4548	8906,3791	6,4751	576,6937	486,3657	1379,0891
18	N4	1518	1939	1728,5	1,7285	1,4429	129,75	90,4129	117,3108	3,1466	2558,2060	17866,2078	7,6197	1361,3600	943,4839	1614,7220
N5																
19	(22%)	1513	1867	1690	1,6900	1,4213	111,08	91,2228	101,3333	3,8510	2745,6553	16151,2842	8,6579	1398,3620	983,8650	1761,7903
20	N5	1562	2018	1790	1,7900	1,4771	103,92	91,2228	94,7956	3,8510	2471,4674	19765,5453	8,3992	1660,1570	1123,9258	1347,5416
a21	N5	1750	2227	1988,5	1,9885	1,5849	131,83	91,2228	120,2620	3,8510	2922,0947	20688,4079	8,6769	1795,1115	1132,6071	1789,4876
22	N5	1467	1769	1618	1,6180	1,3804	94,17	91,2228	85,9014	3,8510	2396,4192	15255,4210	8,1993	1250,8408	906,1215	1490,2977
N6																
23	(26%)	1845	2314	2079,5	2,0795	1,6332	121,08	90,9503	110,1256	4,5763	3085,8315	22887,2963	8,7232	1996,5038	1222,4685	1863,3630
24	N6	2035	2684	2359,5	2,3595	1,7774	150,33	90,9503	136,7286	4,5763	3520,3530	26269,1096	9,3547	2457,4020	1382,5690	2137,7840
25	N6	1513	2017	1765	1,7650	1,4633	106,58	90,9503	96,9378	4,5763	3031,7309	20241,6288	8,4686	1714,1850	1171,4904	1860,2405
26	N6	1659	2173	1916	1,9160	1,5460	116,08	90,9503	105,5781	4,5763	3125,2531	20999,8170	8,7871	1845,2820	1193,5971	1931,6560
N7																
27	(30%)	1734	2248	1991	1,9910	1,5863	124,67	91,5152	114,0890	5,3098	3818,9216	23878,1564	9,1250	2178,8748	1373,5818	2445,3398
28	N7	1908	2542	2225	2,2250	1,7089	148,00	91,5152	135,4425	5,3098	4208,4168	32285,6145	9,3375	3014,6787	1764,1273	2444,2895
29	N7	1455	1864	1659,5	1,6595	1,4041	84,92	91,5152	77,7117	5,3098	2938,8426	17981,5651	9,1590	1646,9352	1172,9831	1765,8595
30	N7	1999	2594	2296,5	2,2965	1,7455	156,25	91,5152	142,9925	5,3098	4349,8437	34467,8803	9,4685	3263,5935	1869,7414	2480,1023
31	N7	1901	2549	2225	2,2250	1,7089	141,25	91,5152	129,2652	5,3098	4016,4789	28868,3320	9,8794	2852,0304	1668,9489	2347,5300
32	N7	1974	2560	2267	2,2670	1,7304	141,33	91,5152	129,3415	5,3098	3968,8093	30031,4059	9,6510	2898,3168	1674,9172	2293,8921
N8																
33	(34%)	2205	2667	2436	2,4360	1,8158	149,83	91,1883	136,6305	6,0514	4553,3065	40436,1950	10,4863	4240,2722	2335,1778	2218,1286
34	N8	1979	2562	2270,5	2,2705	1,7322	139,50	91,1883	127,2077	6,0514	4443,9076	31747,1725	10,7923	3426,2527	1977,9622	2465,9454
35	N8	1997	2528	2262,5	2,2625	1,7281	143,17	91,1883	130,5513	6,0514	4571,5111	36356,0988	11,2634	4094,9352	2369,5871	2201,9240
36	N8	1999	2646	2322,5	2,3225	1,7587	150,5	91,1883	137,2384	6,0514	4722,1349	38656,2781	10,3481	4000,2020	2274,5296	2447,6053

Futtermischungen: N1= 6%, N2 = 10%, N3 = 14%, N4 = 18%, N5 = 22%, N6 = 26%, N7 = 30, N8=34% XP in FS

Anhangs-Tabellen des Experiments 2

A-Tabelle 45: Lebendmasse (g) der Eintagsküken (Nulltiere) in Experiment 2 für die Ganzkörperanalyse vor und nach 24-stündiger Fastenzeit. Hierbei wurden jeweils fünf Einzeltiere zu einer Sammelprobe zusammengefasst.

Körperanalyse Eintagsküken (Nulltiere)		
	LM (g) am 28.03.2012	LM (g) am 29.03.2012
Tier 1	46,5	43,0
Tier 2	48,5	45,5
Tier 3	47,0	45,0
Tier 4	47,0	44,0
Tier 5	48,0	45,0
<i>Summe</i>	237,0	222,5
<i>Mittelwert</i>	47,40	44,50
Tier 1	47,0	44,0
Tier 2	47,0	44,0
Tier 3	48,5	45,0
Tier 4	50,0	46,0
Tier 5	47,0	43,5
<i>Summe</i>	239,5	222,5
<i>Mittelwert</i>	47,90	44,50
Tier 1	47,0	42,0
Tier 2	48,5	45,5
Tier 3	47,5	45,0
Tier 4	47,0	44,0
Tier 5	47,0	44,0
<i>Summe</i>	237,0	220,5
<i>Mittelwert</i>	47,40	44,10
Ges.Mittel	47,57	44,37

A-Tabelle 46: Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Tiere im Wachstumsversuch in Experiment 2 zu Beginn der Starterperiode (1. Lebenstag).

Bucht	BK-1	BK-2	BK-3	BK-4	BK-5	BK-6	BK-7	BK-8	BK-9	
Tier 1	50	48	48	48	51	50	47	48	51	
Tier 2	49	47	50	48	48	48	49	48	46	
Tier 3	49	50	49	47	48	50	50	48	51	
Tier 4	48	48	46	50	46	47	49	48	47	
Tier 5	45	48	48	48	49	46	45	49	47	
Σ	240	240	240	240	240	240	240	240	240	
MW	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	47,9	47,9	48,0	
Bucht	LYS-1	LYS-2	LYS-3	LYS-4	LYS-5	LYS-6	LYS-7	LYS-8	LYS-9	
Tier 1	50	49	50	48	49	46	48	48	49	
Tier 2	47	47	48	48	49	48	47	47	50	
Tier 3	49	47	46	46	47	46	47	48	48	
Tier 4	48	47	47	49	49	49	48	47	48	
Tier 5	47	51	50	50	47	52	50	51	47	
Σ	240	240	240	240	240	240	240	240	240	
MW	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	
Bucht	LEU-1	LEU-2	LEU-3	LEU-4	LEU-5	LEU-6	LEU-7	LEU-8	LEU-9	LEU-10
Tier 1	48	51	48	49	49	48	47	47	47	50
Tier 2	47	51	47	48	49	48	49	49	47	48
Tier 3	48	49	49	47	48	47	50	46	47	47
Tier 4	48	47	49	48	51	49	48	49	50	47
Tier 5	51	43	49	48	44	49	47	51	50	50
Σ	240	240	240	240	240	240	240	241	240	240
MW	48,0	48,0	48,0	47,9	48,0	48,0	48,0	48,1	48,0	48,0
Bucht	ILE*1	ILE*2	ILE*3	ILE*4	ILE*5	ILE*6	ILE*7	ILE*8	ILE*9	ILE*10
Tier 1	50	48	46	47	51	47	47	51	50	47
Tier 2	48	49	48	51	47	48	48	50	49	49
Tier 3	48	50	49	48	48	50	48	51	48	50
Tier 4	50	51	46	47	48	47	49	47	48	48
Tier 5	45	44	52	49	48	49	49	43	46	47
Σ	240	241	240	240	240	240	240	240	240	240
MW	48,0	48,1	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0
Bucht	VAL*1	VAL*2	VAL*3	VAL*4	VAL*5	VAL*6	VAL*7	VAL*8	VAL*9	VAL*10
Tier 1	47	46	50	49	51	48	46	49	50	49
Tier 2	50	50	50	48	48	51	47	49	49	50
Tier 3	46	48	49	48	47	50	48	49	50	47
Tier 4	51	48	49	50	48	48	47	51	48	49
Tier 5	47	49	44	45	48	45	54	43	44	47
Σ	240	240	240	240	240	240	241	240	240	240
MW	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,1	47,9	48,0	48,0

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%),
LEU = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 47: Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 2 am Ende der Starterperiode (21. Lebenstag). Lebendmasse in g.

Bucht	BK-1	BK-2	BK-3	BK-4	BK-5	BK-6	BK-7	BK-8	BK-9
Tier 1	1170	955	1223	1179	1336	1317	996	1396	1471
Tier 2	1208	1320	875	1200	1215	1219	1485	1018	772
Tier 3	1342	1177	1256	1138	1132	1232	1005	1166	1080
Tier 4	1151	1003	1266	1135	789	1115	1249	1299	1242
Tier 5	1209	1343	1235			1193	1308	760	
MW	1216	1159,6	1171	1163	1118	1215,2	1208,6	1127,8	1141,25
Ausgewähltes Tier	1209	1177	1223	1179	1132	1219	1249	1166	1242
Ganzkörper-Tiere	1209	1177	1223	1179		1219	1249	1166	

Bucht	LYS-1	LYS-2	LYS-3	LYS-4	LYS-5	LYS-6	LYS-7	LYS-8	LYS-9
Tier 1	434	562	968	553	322	345	632	722	286
Tier 2	321	332	469	735	483	336	638	299	364
Tier 3	519	447	642	526	611	519	402	506	554
Tier 4	463	393	449	581	692	417	327	509	378
Tier 5	435	370	326	427	322	622	521	478	476
MW	434,4	420,8	570,8	564,4	486	447,8	504	502,8	411,6
Ausgewähltes Tier	434	447	642	553	486	417	521	506	378
Ganzkörper-Tiere	434	447		553	486	417	521	506	

Bucht	LEU-1	LEU-2	LEU-3	LEU-4	LEU-5	LEU-6	LEU-7	LEU-8	LEU-9	LEU-10
Tier 1	707	1083	1117	913	1298	1277	786	754	1305	1049
Tier 2	862	663	1133	746	878	772	1002	805	851	1089
Tier 3	1039	833	814	939	748	813	711	962	841	696
Tier 4	1127	786	645	1083	1025	576	866	1040	762	1148
Tier 5	775	667	660	797	915	727	682	582	718	621
MW	902	806,4	873,8	895,6	972,8	833	809,4	828,6	895,4	920,6
Ausgewähltes Tier	862	833	814	913	915	813	786	805	851	1049
Ganzkörper-Tiere	862	833	814	913		813		805	851	

Bucht	ILE*1	ILE*2	ILE*3	ILE*4	ILE*5	ILE*6	ILE*7	ILE*8	ILE*9	ILE*10
Tier 1	1113	1069	1144	1212	1142	1128	1116	919	1258	1200
Tier 2	1104	1173	1231	1124	1054	987	1390	932	1419	933
Tier 3	1220	1014	898	1149	1207	1388	1250	969	1104	1044
Tier 4	969	1261	1433	1208	1024	692	1124	984	1417	844
Tier 5	1301	1022	945	1428	-	805	1307	1100	781	661
MW	1141,4	1107,8	1130,2	1224,2	1106,75	1000	1237,4	980,8	1195,8	936,4
Ausgewähltes Tier	1113	1069	1144	1208	1142	987	1250	984	1258	933
Ganzkörper-Tiere	1113	1069	1144	1208	1142	987		984		

Bucht	VAL*1	VAL*2	VAL*3	VAL*4	VAL*5	VAL*6	VAL*7	VAL*8	VAL*9	VAL*10
Tier 1	1018	1103	1079	926	947	1190	1371	1191	1379	1247
Tier 2	1138	879	1198	1308	1071	1234	859	1356	1139	1121
Tier 3	1233	1152	1168	1279	1322	1090	1323	1290	1044	1060
Tier 4	1162	1030	944	1377	1157	1147	864	1102	941	995
Tier 5	1321	1003	847	1320	1315	1185	1054	1028	1178	845
MW	1174	1033	1047	1242	1162	1169	1094	1193	1136	1053
Ausgewähltes Tier	1162	1030	1079	1279	1157	1185	1054	1191	1139	1060
Ganzkörper-Tiere	1162		1079		1157	1185	1054	1191	1139	

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 48: Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Tiere des Wachstumsversuches in Experiment 2 zu Beginn der Growerperiode (21. Lebenstag).

Bucht	BK-1	BK-2	BK-3	BK-4	BK-5	BK-6	BK-7	BK-8	BK-9
Tier 1	855	666	661	648	798	744	601	861	641
Tier 2	694	890	755	644	594	667	511	785	784
Tier 3	865	876	637	551	634	770	529	906	639
Tier 4	835	542	605	598	624	688	504	597	661
Tier 5	511	566	618	836	664	612	648	921	635
Σ	3760	3540	3276	3277	3314	3481	2793	4070	3360
MW	752,0	708,0	655,2	655,4	662,8	696,2	558,6	814,0	672,0

Bucht	LYS-1	LYS-2	LYS-3	LYS-4	LYS-5	LYS-6	LYS-7	LYS-8	LYS-9
Tier 1	605	561	560	895	646	697	846	791	539
Tier 2	656	678	585	790	713	629	604	636	584
Tier 3	499	573	864	782	567	812	509	798	607
Tier 4	773	598	792	708	724	802	694	641	544
Tier 5	659	881	661	784	705	802	668	644	960
Σ	3192	3291	3462	3959	3355	3742	3321	3510	3234
MW	638,4	658,2	692,4	791,8	671,0	748,4	664,2	702,0	646,8

Bucht	LEU-1	LEU-2	LEU-3	LEU-4	LEU-5	LEU-6	LEU-7	LEU-8	LEU-9	LEU-10
Tier 1	722	611	761	571	622	731	779	693	587	600
Tier 2	865	864	709	583	633	902	670	668	679	574
Tier 3	639	640	664	549	622	908	592	670	595	558
Tier 4	590	530	811	564	691	657	584	801	832	807
Tier 5	737	817	997	540	674	540	605	734	726	546
Σ	3553	3462	3942	2807	3242	3738	3230	3566	3419	3085
MW	710,6	692,4	788,4	561,4	648,4	747,6	646,0	713,2	683,8	617,0

Bucht	ILE*1	ILE*2	ILE*3	ILE*4	ILE*5	ILE*6	ILE*7	ILE*8	ILE*9	ILE*10
Tier 1	604	653	660	613	685	693	612	731	667	523
Tier 2	841	801	842	831	770	607	590	514	601	684
Tier 3	644	704	754	773	693	944	663	757	841	739
Tier 4	508	666	650	751	777	757	636	737	657	658
Tier 5	607	655	546	702	604	606	726	688	842	797
Σ	3204	3479	3452	3670	3529	3607	3227	3427	3608	3401
MW	640,8	695,8	690,4	734,0	705,8	721,4	645,4	685,4	721,6	680,2

Bucht	VAL*1	VAL*2	VAL*3	VAL*4	VAL*5	VAL*6	VAL*7	VAL*8	VAL*9	VAL*10
Tier 1	641	521	558	704	665	716	817	703	531	602
Tier 2	781	727	581	945	578	801	764	752	765	578
Tier 3	786	625	551	848	683	734	683	615	599	694
Tier 4	610	553	702	793	677	541	703	647	580	622
Tier 5	776	559	613	763	901	601	902	790	601	591
Σ	3594	2985	3005	4053	3504	3393	3869	3507	3076	3087
MW	718,8	597,0	601,0	810,6	700,8	678,6	773,8	701,4	615,2	617,4

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 49: Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 2 am Ende der Growerperiode (35. Lebenstag). Lebendmasse in g.

Bucht	BK-1	BK-2	BK-3	BK-4	BK-5	BK-6	BK-7	BK-8	BK-9	
Tier 1	1568	2570	2099	2079	2063	2210	1817	2401	2045	
Tier 2	2190	1748	2001	1799	2082	2173	2162	2544	2069	
Tier 3	2578	1681	2185	2133	1742	1829	1885	2456	1946	
Tier 4	2293	2203	2283	1855	2355	2097	1798	2109	2003	
Tier 5	2376	1709	2019	1957	2032	2052	1724	2191	1882	
MW	2201	1982,2	2117,4	1964,6	2054,8	2072,2	1877,2	2340,2	1989	
Ausgewähltes Tier	2190	1709	2185	1957	2063	2052	1885	2401	2003	
Ganzkörper-Tiere	2190		2185	1957	2063	2052	1885		2003	
Bucht	LYS-1	LYS-2	LYS-3	LYS-4	LYS-5	LYS-6	LYS-7	LYS-8	LYS-9	
Tier 1	1661	2189	1815	1882	1633	1776	1360	2195	1360	
Tier 2	1430	1489	2170	2170	1591	2013	1711	1618	1775	
Tier 3	1976	1469	1747	2250	1831	1350	1195	2243	1278	
Tier 4	1545	1801	1821	1487	1577	1711	1589	1611	1293	
Tier 5	2370	1324	1356	1753	1868		2034	1832	2072	
MW	1796,4	1654,4	1781,8	1908,4	1700	1712,5	1577,8	1899,8	1555,6	
Ausgewähltes Tier	1661	1801	1747	1882	1633	1711	1589	1832	1360	
Ganzkörper -Tiere	1661	1801	1747		1633	1711	1589	1832		
Bucht	LEU-1	LEU-2	LEU-3	LEU-4	LEU-5	LEU-6	LEU-7	LEU-8	LEU-9	LEU-10
Tier 1	1825	2215	2097	1451	1618	1694	1153	1799	1637	1201
Tier 2	1531	1480	1364	1409	1552	2203	2219	1853	1561	1898
Tier 3	1898	1307	2166	1780	1746	1485	1273	1620	1718	1337
Tier 4	2060	1177	1643	1327	1371	1999	1639	1603	1944	1405
Tier 5	1723	1968	1880	1273	1715	1358	1345	1708	2195	1477
MW	1807,4	1629,4	1830	1448	1600,4	1747,8	1525,8	1716,6	1811	1463,6
Ausgewähltes Tier	1825	1480	1880	1451	1618	1694	1639	1708	1718	1477
Ganzkörper-Tiere		1480			1618	1694	1639	1708	1718	1477
Bucht	ILE*1	ILE*2	ILE*3	ILE*4	ILE*5	ILE*6	ILE*7	ILE*8	ILE*9	ILE*10
Tier 1	2034	2321	1851	2316	2019	2031	1765	2199	2201	1818
Tier 2	1894	1744	2029	2451	2096	2464	1534	1878	1794	1503
Tier 3	2335	2306	1752	1728	2006	2329	1821	1998	2542	1953
Tier 4	2324	2032	2260	2267	2299	2083	2015	2252	2164	2115
Tier 5	1538	1739	1812	2049	2352	2144	1825	2248	1898	2018
MW	2025	2028,4	1940,8	2162,2	2154,4	2210,2	1792	2115	2119,8	1881,4
Ausgewähltes Tier	2034	2032	2029	2267	2096	2144	1765	1998	2164	1818
Ganzkörper -Tiere	2034	2032	2029		2096	2144			2164	1818
Bucht	VAL*1	VAL*2	VAL*3	VAL*4	VAL*5	VAL*6	VAL*7	VAL*8	VAL*9	VAL*10
Tier 1	2340	1979	1994	2152	1732	2097	2194	2139	1621	1903
Tier 2	2179	1779	1742	2360	2082	1922	1716	1811	2270	2109
Tier 3	1971	1794	2078	2540	1680	1745	2060	2222	1713	2162
Tier 4	2334	1865	2071	2176	2538	1550	2550	2034	1769	1722
Tier 5	2150	1970	2143	2346	2028	2305	2410	2048	1985	2114
MW	2194,8	1877,4	2005,6	2314,8	2012	1923,8	2186	2050,8	1871,6	2002
Ausgewähltes Tier	2179	1877	1994	2346	2028	1922	2194	2048	1985	1903
Ganzkörper -Tiere	2179		1994		2028	1922	2194	2048	1985	
Falsch ausgewähltes Tier										

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 50: Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 2. Starterperiode (1.-21. Lebenstag).

Proben Nummer	Proben Bezeichnung	% TS	% XA	% N in TS	% XP in TS
4051	Ganzkörper BK-1	30,7500	8,7524	9,2556	57,8476
4052	Ganzkörper BK-2	32,6435	8,3460	8,3098	51,9361
4053	Ganzkörper BK-3	32,1127	7,8350	9,0618	56,6364
4054	Ganzkörper BK-4	32,9863	8,0504	8,8852	55,5325
4055	Ganzkörper BK-6	31,5289	8,4159	9,2093	57,5583
4056	Ganzkörper BK-8	34,0478	7,2502	7,8225	48,8908
4057	Ganzkörper LYS-1	29,8574	9,9885	9,7041	60,6508
4058	Ganzkörper LYS-2	30,3727	9,8387	9,1223	57,0146
4059	Ganzkörper LYS-5	29,9709	11,1940	9,6387	60,2418
4060	Ganzkörper LYS-	29,3562	10,9086	9,9727	62,3292
4061	Ganzkörper LYS-	30,4310	10,8447	8,9442	55,9010
4062	Ganzkörper LYS_	31,3699	9,4014	8,7645	54,7779
4063	Ganzkörper LEU-	30,3091	9,1316	9,4829	59,2684
4064	Ganzkörper LEU-	31,6329	9,3634	9,3362	58,3511
4065	Ganzkörper LEU-	30,9620	9,6783	9,2546	57,8411
4066	Ganzkörper LEU-	30,4980	10,5640	9,6380	60,2376
4067	Ganzkörper LEU-	31,3672	9,2758	9,5543	59,7141
4068	Ganzkörper LEU-	30,7191	9,4859	8,8779	55,4866
4069	Ganzkörper ILE*	32,4293	8,2790	9,1112	56,9450
4070	Ganzkörper ILE*	32,0100	8,3727	8,8041	55,0258
4071	Ganzkörper ILE*	33,6155	8,2102	8,8227	55,1419
4072	Ganzkörper ILE*	32,8054	8,3268	9,2082	57,5515
4073	Ganzkörper ILE*	32,6080	8,8418	9,3811	58,6321
4074	Ganzkörper ILE*	30,1198	8,8918	9,9878	62,4236
4075	Ganzkörper VAL*	31,1975	8,5826	9,1636	57,2722
4076	Ganzkörper VAL*	32,5541	7,9837	8,9629	56,0182
4077	Ganzkörper VAL*	31,9086	7,9801	9,0894	56,8087
4078	Ganzkörper VAL*	32,5246	8,4284	8,9203	55,7521
4079	Ganzkörper VAL*	32,7532	8,1171	9,1145	56,9659
4080	Ganzkörper VAL*	32,0593	8,2778	9,5610	59,7564
4045	Ganzkörper 0 - 1/3	22,6669	8,5484	11,2860	70,5378
4046	Ganzkörper 0 - 2/3	22,9715	8,5944	11,2439	70,2745
4047	Ganzkörper 0 - 3/3	22,7380	8,5008	11,4729	71,7053

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%),
LEU = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 51: Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 2. Growerperiode (21.-35. Lebenstag).

Proben Nummer	Proben Bezeichnung	% TS	% XA	% N in TS	% XP in TS
4081	Ganzkörper BK-1	34,8611	7,5962	8,5944	53,7149
4082	Ganzkörper BK-3	34,4252	7,6404	8,1551	50,9692
4083	Ganzkörper BK-4	33,3595	8,0435	8,6938	54,3361
4084	Ganzkörper BK-5	33,5757	7,9184	8,7590	54,7439
4085	Ganzkörper BK-6	32,3971	8,5851	9,2789	57,9931
4086	Ganzkörper BK-9	33,4166	8,2314	8,8157	55,0980
4087	Ganzkörper LYS-1	33,8173	8,6007	8,3099	51,9371
4088	Ganzkörper LYS-2	34,4128	8,5134	8,6456	54,0351
4089	Ganzkörper LYS-3	33,6711	8,6820	8,6454	54,0337
4090	Ganzkörper LYS-5	33,3927	9,7986	8,9031	55,6447
4091	Ganzkörper LYS-6	32,9377	9,0473	9,2362	57,7264
4092	Ganzkörper LYS-8	35,4118	7,7384	7,6904	48,0648
4093	Ganzkörper LEU-2	32,3635	8,7124	9,1297	57,0609
4094	Ganzkörper LEU-5	32,5871	9,2330	9,5050	59,4063
4095	Ganzkörper LEU-6	31,7079	9,2571	9,3730	58,5815
4096	Ganzkörper LEU-7	32,4151	9,1294	9,2398	57,7490
4097	Ganzkörper LEU-8	32,6283	9,2044	9,1531	57,2069
4098	Ganzkörper LEU-10	31,4911	10,7512	10,1279	63,2996
4099	Ganzkörper ILE*1	33,6803	7,9079	8,6959	54,3493
4100	Ganzkörper ILE*2	33,7296	8,0720	9,1427	57,1419
4101	Ganzkörper ILE*3	34,8192	8,1176	8,5809	53,6306
4102	Ganzkörper ILE*5	33,2753	8,5774	9,0463	56,5397
4103	Ganzkörper ILE*6	33,4320	7,9435	8,6184	53,8649
4104	Ganzkörper ILE*9	35,5356	7,6002	8,3260	52,0376
4105	Ganzkörper VAL*1	35,1699	7,8237	8,0688	50,4301
4106	Ganzkörper VAL*3	32,9164	9,0062	8,8746	55,4662
4107	Ganzkörper VAL*5	34,7126	7,3559	8,5672	53,5451
4108	Ganzkörper VAL*7	34,5211	7,4803	8,6443	54,0267
4109	Ganzkörper VAL*8	33,4704	8,1274	8,9174	55,7339
4110	Ganzkörper VAL*9	33,8879	7,6685	8,0235	50,1469
4048	Ganzkörper 0 - 1/3	31,8597	9,4034	9,3042	58,1515
4049	Ganzkörper 0 - 2/3	31,4621	9,4398	9,5626	59,7663
4050	Ganzkörper0 - 3/3	31,0564	9,0115	9,9967	62,4791

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%),
LEU = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 52: N-Ansatz im Tierkörper während der Starterperiode (1.-21. LT) und daraus ermittelte *b*-Werte. Experiment 2.

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
BK-1	1926,4028	113	2039,4028	4705	3790,1747	149,9133
BK-2	1890,5936	113	2003,5936	4705	3684,5621	150,5887
BK-3	1897,9383	113	2010,9383	4705	3746,7362	148,8164
BK-4	1892,7899	113	2005,7899	4705	3609,5377	153,9440
BK-5	1863,3088	113	1976,3088	4705	3635,9622	149,8376
BK-6	1925,9039	113	2038,9039	4705	3688,4552	153,9969
BK-7	1922,0344	113	2035,0344	4705	3714,4183	152,5300
BK-8	1870,0735	113	1983,0735	4705	3483,2977	157,1172
BK-9	1878,6531	113	1991,6531	4705	3786,2177	145,3807

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
LYS-1	1106,3608	113	1219,3608	4705	2922,4496	102,6448
LYS-2	1087,9892	113	1200,9892	4705	2713,6252	108,6066
LYS-3	1267,5625	113	1380,5625	4705	3018,4626	115,0670
LYS-4	1260,7736	113	1373,7736	4705	3021,6065	114,2721
LYS-5	1171,8388	113	1284,8388	4705	3024,8661	105,4387
LYS-6	1123,9824	113	1236,9824	4705	2620,7763	116,3940
LYS-7	1193,2811	113	1306,2811	4705	3227,5841	100,7649
LYS-8	1191,8721	113	1304,8721	4705	2964,5864	109,5643
LYS-9	1075,2675	113	1188,2675	4705	2578,9329	112,8736

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
LEU-1	1691,6346	113	1804,6346	4705	3234,6921	149,5626
LEU-2	1613,6103	113	1726,6103	4705	3189,1709	143,3736
LEU-3	1669,3340	113	1782,3340	4705	3077,8680	154,6946
LEU-4	1686,9284	113	1799,9284	4705	3246,8033	148,5054
LEU-5	1745,2825	113	1858,2825	4705	3430,9472	146,4491
LEU-6	1636,0316	113	1749,0316	4705	3249,1570	143,0523
LEU-7	1616,1684	113	1729,1684	4705	3061,6246	149,6272
LEU-8	1632,0427	113	1745,0427	4705	3090,0389	149,9822
LEU-9	1686,4655	113	1799,4655	4705	3204,8773	150,3984
LEU-10	1706,0423	113	1819,0423	4705	3377,6485	144,7069

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%),
LEU = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 52 (Fortsetzung): N-Ansatz im Tierkörper während der Starterperiode (1.-21.LT) und daraus ermittelte *b*-Werte. Experiment 2.

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
ILE*1	1987,7478	113	2100,7478	4705	3602,4282	164,1893
ILE*2	1964,0614	113	2077,0614	4705	3551,9452	163,9738
ILE*3	1980,0042	113	2093,0042	4705	3744,8947	157,1503
ILE*4	2043,2513	113	2156,2513	4705	3732,6771	164,2315
ILE*5	1963,5972	113	2076,5972	4705	3714,1851	156,7637
ILE*6	1885,3091	113	1998,3091	4705	3477,8108	158,9790
ILE*7	2051,8313	113	2164,8313	4705	3723,1875	165,5558
ILE*8	1870,5438	113	1983,5438	4705	3441,3520	159,0824
ILE*9	2024,5481	113	2137,5481	4705	3675,3776	164,8026
ILE*10	1835,5110	113	1948,5110	4705	3462,6056	154,4120

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
VAL*1	1984,5029	113	2097,5029	4705	3695,6748	159,7097
VAL*2	1885,9011	113	1998,9011	4705	3493,8229	158,3130
VAL*3	1895,9967	113	2008,9967	4705	3592,9207	154,9868
VAL*4	2028,5623	113	2141,5623	4705	4022,0344	150,9874
VAL*5	1976,4791	113	2089,4791	4705	3782,9216	155,2140
VAL*6	1981,0337	113	2094,0337	4705	3819,1513	154,1980
VAL*7	1929,3455	113	2042,3455	4705	3692,3196	154,1855
VAL*8	1997,3417	113	2110,3417	4705	3601,9565	165,2355
VAL*9	1958,7362	113	2071,7362	4705	3527,7123	164,5264
VAL*10	1900,6436	113	2013,6436	4705	3524,0253	158,5064

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%),
LEU = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 53: N-Ansatz im Tierkörper während der Growerperiode (21.-35. LT) und daraus ermittelte *b*-Werte. Experiment 2.

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
BK-1	2041,0363	215	2256,0363	4516	3617,7910	191,3538
BK-2	1907,3732	215	2122,3732	4516	3333,3968	190,4414
BK-3	2155,2181	215	2370,2181	4516	3651,1367	203,8058
BK-4	1999,6583	215	2214,6583	4516	3209,3270	210,0547
BK-5	2076,9020	215	2291,9020	4516	3583,6071	197,6431
BK-6	2025,0421	215	2240,0421	4516	3382,6986	202,5677
BK-7	2122,0245	215	2337,0245	4516	3576,1469	203,7869
BK-8	2055,5983	215	2270,5983	4516	3576,8225	195,3528
BK-9	1989,9045	215	2204,9045	4516	3460,3883	193,5924

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
LYS-1	1929,3807	215	2144,3807	4516	3477,8954	185,1849
LYS-2	1714,8198	215	1929,8198	4516	3302,1905	168,8106
LYS-3	1793,0564	215	2008,0564	4516	3405,6407	172,7027
LYS-4	1731,0841	215	1946,0841	4516	3608,7409	156,2189
LYS-5	1742,1889	215	1957,1889	4516	3222,4706	176,2883
LYS-6	1588,6938	215	1803,6938	4516	3257,3392	156,5165
LYS-7	1603,8051	215	1818,8051	4516	2977,1138	173,1255
LYS-8	1907,7872	215	2122,7872	4516	3479,0746	182,5169
LYS-9	1614,9691	215	1829,9691	4516	3515,2259	147,8033

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
LEU-1	1957,3879	215	2172,3879	4516	3132,3722	209,4046
LEU-2	1771,7294	215	1986,7294	4516	2949,1239	196,5654
LEU-3	1818,3319	215	2033,3319	4516	2884,0228	207,4508
LEU-4	1839,4465	215	2054,4465	4516	3039,9543	199,6194
LEU-5	1834,9979	215	2049,9979	4516	2973,6846	203,4608
LEU-6	1802,6166	215	2017,6166	4516	3084,9403	191,8944
LEU-7	1739,3928	215	1954,3928	4516	2861,4514	198,1483
LEU-8	1838,3902	215	2053,3902	4516	3122,1044	194,2296
LEU-9	2020,9755	215	2235,9755	4516	3131,5541	218,2432
LEU-10	1722,2052	215	1937,2052	4516	3020,1141	185,5243

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%),
LEU = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 53 (Fortsetzung): N-Ansatz im Tierkörper während der Growerperiode (21.-35. LT) und daraus ermittelte *b*-Werte. Experiment 2.

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
ILE*1	2219,9473	215	2434,9473	4516	3549,2581	218,2858
ILE*2	2106,0595	215	2321,0595	4516	3534,2107	204,1394
ILE*3	2022,5194	215	2237,5194	4516	3473,1582	196,9728
ILE*4	2166,4775	215	2381,4775	4516	3644,5224	205,6192
ILE*5	2216,0704	215	2431,0704	4516	3713,6452	208,1221
ILE*6	2240,2676	215	2455,2676	4516	3700,0653	212,0409
ILE*7	1952,1158	215	2167,1158	4516	3330,5697	196,2686
ILE*8	2218,2302	215	2433,2302	4516	3638,7223	212,6922
ILE*9	2148,2778	215	2363,2778	4516	3540,4774	209,2637
ILE*10	1978,0784	215	2193,0784	4516	3428,6906	193,8935

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
VAL*1	2125,6472	215	2340,6472	4516	3893,3329	187,6119
VAL*2	2058,8090	215	2273,8090	4516	3436,6561	203,7368
VAL*3	2184,1087	215	2399,1087	4516	3598,6453	210,5453
VAL*4	2062,9259	215	2277,9259	4516	3606,7006	194,6408
VAL*5	1977,4827	215	2192,4827	4516	3431,1694	193,6787
VAL*6	1930,2276	215	2145,2276	4516	3301,7210	195,1742
VAL*7	2008,0485	215	2223,0485	4516	3671,8075	184,5921
VAL*8	2016,5897	215	2231,5897	4516	3428,5491	198,7776
VAL*9	2011,7779	215	2226,7779	4516	3459,9201	196,3671
VAL*10	2144,5720	215	2359,5720	4516	3579,2372	206,5171

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%),
LEU = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 54: N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der ersten Lebenswoche (1.-7. LT). Starterperiode. Experiment 2.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
BK-1	25,23	25228,57	92,29	23,28	23284,58	3,81	886,4533	3390,193604	0,26
BK-2	23,86	23857,14	92,29	22,02	22018,83	3,81	838,2656	3231,604462	0,26
BK-3	25,14	25142,86	92,29	23,21	23205,47	3,81	883,4416	3357,058411	0,26
BK-4	24,67	24671,43	92,29	22,77	22770,37	3,81	866,8771	3266,879514	0,27
BK-5	23,93	23928,57	92,29	22,08	22084,75	3,81	840,7754	3241,279924	0,26
BK-6	26,34	26342,86	92,29	24,31	24313,01	3,81	925,6059	3418,858037	0,27
BK-7	27,26	27257,14	92,29	25,16	25156,84	3,81	957,7310	3526,727890	0,27
BK-8	23,63	23628,57	92,29	21,81	21807,87	3,81	830,2343	3192,633449	0,26
BK-9	24,99	24985,71	92,29	23,06	23060,44	3,81	877,9201	3325,463648	0,26
LYS-1	14,33	14328,57	92,24	13,22	13216,46	3,81	502,9443	2625,135652	0,19
LYS-2	12,83	12828,57	92,24	11,833	11832,88	3,81	450,2931	2454,050814	0,18
LYS-3	15,29	15285,71	92,24	14,099	14099,31	3,81	536,5408	2687,150277	0,20
LYS-4	17,61	17614,29	92,24	16,247	16247,15	3,81	618,2755	2944,400995	0,21
LYS-5	16,29	16285,71	92,24	15,022	15021,70	3,81	571,6416	2912,865493	0,20
LYS-6	15,60	15600,00	92,24	14,39	14389,20	3,81	547,5725	2841,281555	0,19
LYS-7	16,00	16000,00	92,24	14,76	14758,16	3,81	561,6128	2957,082900	0,19
LYS-8	15,76	15757,14	92,24	14,53	14534,15	3,81	553,0883	2748,651963	0,20
LYS-9	14,84	14842,86	92,24	13,69	13690,83	3,81	520,9962	2785,699736	0,19
LEU-1	18,89	18885,71	91,94	17,36	17363,07	3,81	660,9636	2811,111719	0,24
LEU-2	18,13	18128,57	91,94	16,67	16666,97	3,81	634,4650	2833,432956	0,22
LEU-3	19,80	19800,00	91,94	18,20	18203,65	3,81	692,9618	2946,345488	0,24
LEU-4	22,67	22671,43	91,94	20,84	20843,57	3,81	793,4563	3258,191942	0,24
LEU-5	23,04	23042,86	91,94	21,19	21185,05	3,81	806,4556	3210,510386	0,25
LEU-6	19,91	19914,29	91,94	18,31	18308,72	3,81	696,9616	2908,672374	0,24
LEU-7	19,30	19300,00	91,94	17,74	17743,96	3,81	675,4628	2925,741212	0,23
LEU-8	18,59	18585,71	91,94	17,09	17087,26	3,81	650,4642	2869,111770	0,23
LEU-9	19,00	19000,00	91,94	17,47	17468,14	3,81	664,9634	2887,166773	0,23
LEU-10	19,67	19671,43	91,94	18,09	18085,44	3,81	688,4621	2953,008527	0,23

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 54 (Fortsetzung): N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der ersten Lebenswoche (1.-7. LT). Starterperiode. Experiment 2.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
ILE*1	23,53	23528,57	91,87	21,62	21615,92	3,81	822,8922	3228,500740	0,25
ILE*2	22,10	22100,00	91,87	20,30	20303,48	3,81	772,9291	3045,835161	0,25
ILE*3	26,84	26842,86	91,87	24,66	24660,79	3,81	938,8066	3544,835226	0,26
ILE*4	26,89	26885,71	91,87	24,70	24700,16	3,81	940,3055	3424,135913	0,27
ILE*5	23,81	23814,29	91,87	21,88	21878,41	3,81	832,8848	3421,042085	0,24
ILE*6	24,33	24328,57	91,87	22,35	22350,89	3,81	850,8715	3306,818018	0,26
ILE*7	24,96	24957,14	91,87	22,93	22928,36	3,81	872,8553	3273,540186	0,27
ILE*8	22,94	22942,86	91,87	21,08	21077,82	3,81	802,4073	3149,754803	0,25
ILE*9	26,00	26000,00	91,87	23,89	23886,45	3,81	909,3283	3435,200788	0,26
ILE*10	22,39	22385,71	91,87	20,57	20565,97	3,81	782,9217	3172,199982	0,25
VAL*1	24,01	24014,29	92,52	22,22	22216,97	3,81	845,7377	3244,951138	0,26
VAL*2	23,64	23642,86	92,52	21,87	21873,34	3,81	832,6567	3244,276081	0,26
VAL*3	23,43	23428,57	92,52	21,68	21675,09	3,81	825,1099	3169,757607	0,26
VAL*4	27,17	27171,43	92,52	25,14	25137,82	3,81	956,9263	3420,295040	0,28
VAL*5	26,39	26385,71	92,52	24,41	24410,91	3,81	929,2549	3457,624353	0,27
VAL*6	27,39	27385,71	92,52	25,34	25336,06	3,81	964,4730	3516,196926	0,27
VAL*7	27,07	27071,43	92,52	25,05	25045,30	3,81	953,4044	3544,949740	0,27
VAL*8	23,14	23142,86	92,52	21,41	21410,76	3,81	815,0476	3139,732481	0,26
VAL*9	24,24	24242,86	92,52	22,43	22428,43	3,81	853,7875	3239,599658	0,26
VAL*10	24,83	24828,57	92,52	22,97	22970,31	3,81	874,4153	3310,568936	0,26

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%),
VAL* = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 55: N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der zweiten Lebenswoche (8.-14.LT). Starterperiode. Experiment 2.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
BK-1	60,00	60000,00	92,29	55,38	55376,69	3,81	2108,21	3927,208281	0,54
BK-2	60,00	60000,00	92,29	55,38	55376,69	3,81	2108,21	3947,312217	0,53
BK-3	59,76	59757,14	92,29	55,15	55152,55	3,81	2099,68	3854,655600	0,54
BK-4	60,00	60000,00	92,29	55,38	55376,69	3,81	2108,21	3801,258746	0,55
BK-5	59,54	59539,29	92,29	54,95	54951,48	3,81	2092,02	3899,201904	0,54
BK-6	60,00	60000,00	92,29	55,38	55376,69	3,81	2108,21	3853,715857	0,55
BK-7	59,93	59928,57	92,29	55,31	55310,77	3,81	2105,70	3760,979593	0,56
BK-8	57,06	57057,14	92,29	52,66	52660,60	3,81	2004,81	3696,761363	0,54
BK-9	58,51	58514,29	92,29	54,01	54005,46	3,81	2056,01	3935,076960	0,52
LYS-1	33,46	33457,14	92,24	30,86	30860,36	3,81	1174,37	3746,828129	0,31
LYS-2	25,79	25785,71	92,24	23,784	23784,35	3,81	905,10	3055,389033	0,30
LYS-3	34,76	34757,14	92,24	32,059	32059,46	3,81	1220,00	3477,816830	0,35
LYS-4	33,70	33700,00	92,24	31,084	31084,37	3,81	1182,90	3180,949920	0,37
LYS-5	34,00	34000,00	92,24	31,361	31361,08	3,81	1193,43	3489,403496	0,34
LYS-6	21,79	21785,71	92,24	20,09	20094,81	3,81	764,70	2377,606354	0,32
LYS-7	31,09	31085,71	92,24	28,67	28672,99	3,81	1091,13	3426,982378	0,32
LYS-8	29,84	29842,86	92,24	27,53	27526,60	3,81	1047,51	3091,329233	0,34
LYS-9	21,07	21071,43	92,24	19,44	19435,97	3,81	739,62	2439,842497	0,30
LEU-1	46,17	46171,43	91,94	42,45	42448,91	3,81	1615,91	3526,797183	0,46
LEU-2	39,24	39242,86	91,94	36,08	36078,94	3,81	1373,42	3262,156113	0,42
LEU-3	40,47	40471,43	91,94	37,21	37208,46	3,81	1416,42	3005,041948	0,47
LEU-4	43,90	43900,00	91,94	40,36	40360,61	3,81	1536,42	3259,113396	0,47
LEU-5	45,84	45842,86	91,94	42,15	42146,82	3,81	1604,41	3335,045797	0,48
LEU-6	46,04	46042,86	91,94	42,33	42330,70	3,81	1611,41	3498,217520	0,46
LEU-7	37,30	37300,00	91,94	34,29	34292,73	3,81	1305,43	2978,490827	0,44
LEU-8	37,83	37828,57	91,94	34,78	34778,68	3,81	1323,93	3043,439774	0,44
LEU-9	41,21	41214,29	91,94	37,89	37891,43	3,81	1442,42	3211,215243	0,45

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 55 (Fortsetzung): N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der zweiten Lebenswoche (8.-14. LT). Starterperiode. Experiment 2.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
ILE*1	54,87	54871,43	91,87	50,41	50410,90	3,81	1919,08	3669,121317	0,52
ILE*2	58,93	58928,57	91,87	54,14	54138,24	3,81	2060,98	3881,785629	0,53
ILE*3	60,00	60000,00	91,87	55,12	55122,57	3,81	2098,45	3891,883230	0,54
ILE*4	60,00	60000,00	91,87	55,12	55122,57	3,81	2098,45	3729,930928	0,56
ILE*5	60,88	60875,00	91,87	55,93	55926,44	3,81	2129,05	3983,779069	0,53
ILE*6	54,01	54014,29	91,87	49,62	49623,44	3,81	1889,10	3656,083767	0,52
ILE*7	60,00	60000,00	91,87	55,12	55122,57	3,81	2098,45	3830,189441	0,55
ILE*8	51,51	51514,29	91,87	47,33	47326,66	3,81	1801,67	3593,771109	0,50
ILE*9	59,73	59728,57	91,87	54,87	54873,20	3,81	2088,96	3735,830147	0,56
ILE*10	47,93	47928,57	91,87	44,03	44032,43	3,81	1676,26	3518,916428	0,48
VAL*1	60,00	60000,00	92,52	55,51	55509,37	3,81	2113,09	3909,485366	0,54
VAL* 2	53,37	53371,43	92,52	49,38	49376,91	3,81	1879,64	3659,476770	0,51
VAL* 3	56,49	56485,71	92,52	52,26	52258,11	3,81	1989,32	3854,880884	0,52
VAL* 4	60,00	60000,00	92,52	55,51	55509,37	3,81	2113,09	3731,796188	0,57
VAL* 5	60,00	60000,00	92,52	55,51	55509,37	3,81	2113,09	3866,768571	0,55
VAL* 6	60,00	60000,00	92,52	55,51	55509,37	3,81	2113,09	3834,859380	0,55
VAL* 7	58,57	58571,43	92,52	54,19	54187,72	3,81	2062,77	3793,515610	0,54
VAL* 8	59,46	59457,14	92,52	55,01	55007,14	3,81	2093,97	3840,348097	0,55
VAL* 9	56,61	56614,29	92,52	52,38	52377,06	3,81	1993,85	3591,136678	0,56
VAL* 10	51,77	51771,43	92,52	47,90	47896,66	3,81	1823,29	3509,524035	0,52

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 56: N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der dritten Lebenswoche (15.-21. LT). Starterperiode. Experiment 2.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) TS	N-Aufn./d(mg)	N-Aufn. (mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM (LM _{kg} ^{0,67})
BK-1	106,85	106857,14	92,29	98,62	98623,26	3,81	3754,63	4053,12	0,93
BK-2	99,87	99871,43	92,29	92,18	92175,83	3,81	3509,17	3874,77	0,91
BK-3	105,00	105000,00	92,29	96,91	96909,21	3,81	3689,37	4028,49	0,92
BK-4	98,41	98410,71	92,29	90,83	90827,67	3,81	3457,85	3760,47	0,92
BK-5	95,73	95732,14	92,29	88,36	88355,49	3,81	3363,73	3767,40	0,89
BK-6	100,27	100271,43	92,29	92,55	92545,00	3,81	3523,23	3792,79	0,93
BK-7	102,714	102714,29	92,29	94,80	94799,63	3,81	3609,06	3855,55	0,94
BK-8	91,24	91242,86	92,29	84,21	84212,13	3,81	3205,99	3560,50	0,90
BK-9	103,53	103535,71	92,29	95,56	95557,76	3,81	3637,92	4098,11	0,89
LYS-1	32,68	32685,71	92,24	30,15	30148,81	3,81	1147,29	2395,39	0,48
LYS-2	34,75	34757,14	92,24	32,059	32059,46	3,81	1220,00	2631,44	0,46
LYS-3	46,67	46671,43	92,24	43,049	43049,02	3,81	1638,20	2890,42	0,57
LYS-4	48,11	48114,29	92,24	44,380	44379,89	3,81	1688,85	2939,47	0,57
LYS-5	39,85	39857,14	92,24	36,764	36763,62	3,81	1399,02	2672,33	0,52
LYS-6	37,00	37000,00	92,24	34,13	34128,24	3,81	1298,73	2643,44	0,49
LYS-7	48,57	48571,43	92,24	44,80	44801,55	3,81	1704,90	3298,69	0,52
LYS-8	45,72	45728,57	92,24	42,18	42179,34	3,81	1605,11	3053,78	0,53
LYS-9	33,08	33085,71	92,24	30,52	30517,76	3,81	1161,34	2511,26	0,46
LEU-1	73,67	73671,43	91,94	67,73	67731,75	3,81	2578,36	3366,17	0,77
LEU-2	70,05	70057,14	91,94	64,41	64408,86	3,81	2451,86	3471,92	0,71
LEU-3	71,78	71785,71	91,94	66,00	65998,07	3,81	2512,36	3282,22	0,77
LEU-4	70,82	70828,57	91,94	65,12	65118,09	3,81	2478,86	3223,10	0,77
LEU-5	85,81	85814,29	91,94	78,90	78895,60	3,81	3003,33	3747,29	0,80
LEU-6	70,51	70514,29	91,94	64,83	64829,14	3,81	2467,86	3340,58	0,74
LEU-7	67,20	67200,00	91,94	61,78	61782,07	3,81	2351,87	3280,64	0,72
LEU-8	69,48	69485,71	91,94	63,88	63883,50	3,81	2431,87	3357,57	0,72
LEU-9	76,27	76271,43	91,94	70,12	70122,12	3,81	2669,35	3516,25	0,76
LEU-10	79,52	79528,57	91,94	73,12	73116,66	3,81	2783,35	3576,58	0,78

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 56 (Fortsetzung): N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der dritten Lebenswoche (15.-21. LT). Starterperiode. Experiment 2.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
ILE*1	99,84	99842,9	91,87	91,73	91726,58	3,81	3491,92	3909,66	0,89
ILE*2	94,65	94657,1	91,87	86,96	86962,41	3,81	3310,55	3728,21	0,89
ILE*3	97,32	97328,6	91,87	89,42	89416,68	3,81	3403,99	3797,97	0,90
ILE*4	108,91	108914,3	91,87	100,06	100060,58	3,81	3809,19	4043,96	0,94
ILE*5	95,73	95732,1	91,87	87,95	87950,03	3,81	3348,15	3737,73	0,90
ILE*6	82,95	82957,1	91,87	76,21	76213,51	3,81	2901,36	3470,53	0,84
ILE*7	109,21	109214,3	91,87	100,34	100336,20	3,81	3819,68	4065,83	0,94
ILE*8	83,77	83771,4	91,87	76,96	76961,60	3,81	2929,84	3580,53	0,82
ILE*9	103,04	103042,9	91,87	94,67	94666,45	3,81	3603,84	3855,10	0,93
ILE*10	83,14	83142,9	91,87	76,38	76384,13	3,81	2907,85	3696,70	0,79
VAL*1	102,18	102185,7	92,52	94,54	94537,75	3,81	3598,79	3932,59	0,92
VAL* 2	85,95	85957,1	92,52	79,52	79523,78	3,81	3027,25	3577,72	0,85
VAL* 3	90,71	90714,2	92,52	83,92	83924,88	3,81	3194,79	3754,12	0,85
VAL* 4	132,28	132285,7	92,52	122,38	122384,95	3,81	4658,85	4914,01	0,95
VAL* 5	104,11	104114,2	92,52	96,32	96321,98	3,81	3666,71	4024,37	0,91
VAL* 6	106,57	106571,4	92,52	98,60	98595,22	3,81	3753,24	4106,40	0,91
VAL* 7	93,92	93928,5	92,52	86,90	86898,60	3,81	3307,99	3738,49	0,88
VAL* 8	100,58	100585,7	92,52	93,06	93057,50	3,81	3542,44	3825,79	0,93
VAL* 9	97,12	97128,5	92,52	89,86	89859,10	3,81	3420,68	3752,40	0,91
VAL* 10	90,97	90971,4	92,52	84,16	84162,78	3,81	3203,84	3751,98	0,85

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 57: N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der vierten Lebenswoche (22.-28. LT). Growerperiode. Experiment 2.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
BK-1	118,93	118928,57	91,23	108,50	108503,72	3,50	3796,94	3655,9507464	1,04
BK-2	100,80	100800,00	91,23	91,96	91964,23	3,50	3218,16	3292,4737391	0,98
BK-3	112,91	112914,29	91,23	103,02	103016,62	3,50	3604,92	3691,7516086	0,98
BK-4	103,70	103700,00	91,23	94,61	94610,03	3,50	3310,75	3458,0336153	0,96
BK-5	113,69	113685,71	91,23	103,72	103720,43	3,50	3629,55	3718,5226576	0,98
BK-6	105,37	105371,43	91,23	96,13	96134,94	3,50	3364,11	3403,2091971	0,99
BK-7	103,61	103614,29	91,23	94,53	94531,83	3,50	3308,01	3705,2184789	0,89
BK-8	124,47	124471,43	91,23	113,56	113560,71	3,50	3973,90	3620,5701306	1,10
BK-9	102,07	102071,43	91,23	93,12	93124,21	3,50	3258,75	3392,7587475	0,96
LYS-1	100,36	100357,14	90,96	91,29	91287,75	3,50	3193,32	3449,5215615	0,93
LYS-2	95,19	95185,71	90,96	86,584	86583,67	3,50	3028,77	3289,0984694	0,92
LYS-3	111,70	111700,00	90,96	101,606	101605,54	3,50	3554,24	3621,0219703	0,98
LYS-4	113,30	113300,00	90,96	103,061	103060,94	3,50	3605,15	3493,2226724	1,03
LYS-5	102,26	102257,14	90,96	93,016	93016,04	3,50	3253,78	3449,5214042	0,94
LYS-6	111,39	111385,71	90,96	101,32	101319,65	3,50	3544,24	3617,8151928	0,98
LYS-7	91,49	91485,71	90,96	83,22	83218,04	3,50	2911,03	3198,4345164	0,91
LYS-8	104,13	104128,57	90,96	94,72	94718,35	3,50	3313,32	3418,8099222	0,97
LYS-9	101,40	101400,00	90,96	92,24	92236,36	3,50	3226,50	3601,0761144	0,90
LEU-1	94,09	94085,71	90,65	85,29	85292,28	3,50	2984,27	3121,0564737	0,96
LEU-2	82,69	82685,71	90,65	74,96	74957,74	3,50	2622,68	2864,6302038	0,92
LEU-3	87,81	87814,29	90,65	79,61	79606,99	3,50	2785,35	2718,8964256	1,02
LEU-4	81,20	81200,00	90,65	73,61	73610,89	3,50	2575,56	3106,1541617	0,83
LEU-5	85,33	85328,57	90,65	77,35	77353,59	3,50	2706,51	3022,3865580	0,90
LEU-6	89,29	89285,71	90,65	80,94	80940,89	3,50	2832,02	2923,6249644	0,97
LEU-7	77,91	77914,29	90,65	70,63	70632,26	3,50	2471,34	2829,2554454	0,87
LEU-8	89,90	89900,00	90,65	81,50	81497,77	3,50	2851,51	3032,3722682	0,94
LEU-9	96,04	96042,86	90,65	87,07	87066,50	3,50	3046,35	3194,6819077	0,95
LEU-10	87,50	87500,00	90,65	79,32	79322,08	3,50	2775,38	3192,7986475	0,87

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%),
VAL* = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 57 (Fortsetzung): N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der vierten Lebenswoche (22.-28. LT). Growerperiode. Experiment 2.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
ILE*1	110,00	110000,00	90,58	99,63	99634,06	3,50	3486,39	3629,8280377	0,96
ILE*2	106,91	106914,29	90,58	96,84	96839,13	3,50	3388,59	3485,2304719	0,97
ILE*3	104,37	104371,43	90,58	94,54	94535,90	3,50	3308,00	3431,6518598	0,96
ILE*4	127,86	127857,14	90,58	115,81	115808,41	3,50	4052,37	3915,7961264	1,03
ILE*5	127,04	127042,86	90,58	115,07	115070,86	3,50	4026,56	3929,9808446	1,02
ILE*6	126,64	126642,86	90,58	114,71	114708,56	3,50	4013,88	3910,5351833	1,03
ILE*7	104,27	104271,43	90,58	94,45	94445,32	3,50	3304,83	3514,9630618	0,94
ILE*8	117,60	117600,00	90,58	106,52	106517,86	3,50	3727,27	3721,2915779	1,00
ILE*9	112,66	112657,14	90,58	102,04	102040,80	3,50	3570,61	3541,0164843	1,01
ILE*10	107,37	107371,43	90,58	97,25	97253,19	3,50	3403,08	3538,5585372	0,96
VAL*1	132,39	132385,71	91,02	120,50	120495,64	3,50	4216,19	4056,8129650	1,04
VAL* 2	94,71	94714,29	91,02	86,21	86207,63	3,50	3016,44	3359,9996164	0,90
VAL* 3	107,86	107857,14	91,02	98,17	98170,07	3,50	3435,01	3661,2231460	0,94
VAL* 4	128,07	128071,43	91,02	116,57	116568,83	3,50	4078,79	3727,8826825	1,09
VAL* 5	111,91	111914,29	91,02	101,86	101862,83	3,50	3564,22	3575,7297255	1,00
VAL* 6	97,49	97485,71	91,02	88,73	88730,14	3,50	3104,70	3250,7318883	0,96
VAL* 7	128,26	128257,14	91,02	116,74	116737,87	3,50	4084,70	3861,9493607	1,06
VAL* 8	110,89	110885,71	91,02	100,93	100926,64	3,50	3531,46	3548,8416993	1,00
VAL* 9	98,90	98900,00	91,02	90,02	90017,40	3,50	3149,75	3472,2356399	0,91
VAL* 10	103,49	103485,71	91,02	94,19	94191,26	3,50	3295,79	3540,2801372	0,93

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 58: N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der fünften Lebenswoche (29.-35. LT). Growerperiode. Experiment 2.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
BK-1	165,16	165157,14	91,23	150,68	150680,06	3,50	5272,84	3579,63	1,47
BK-2	145,03	145028,57	91,23	132,32	132315,88	3,50	4630,21	3374,32	1,37
BK-3	161,13	161128,57	91,23	147,00	147004,61	3,50	5144,22	3610,52	1,42
BK-4	126,61	126614,29	91,23	115,52	115515,73	3,50	4042,31	2960,62	1,37
BK-5	151,73	151728,57	91,23	138,43	138428,58	3,50	4844,11	3448,69	1,40
BK-6	148,54	148542,86	91,23	135,52	135522,12	3,50	4742,41	3362,19	1,41
BK-7	141,90	141900,00	91,23	129,46	129461,55	3,50	4530,33	3447,08	1,31
BK-8	170,86	170857,14	91,23	155,88	155880,41	3,50	5454,82	3533,07	1,54
BK-9	151,41	151414,29	91,23	138,14	138141,85	3,50	4834,08	3528,02	1,37
LYS-1	142,66	142657,14	90,96	129,77	129765,05	3,50	4539,29	3506,27	1,29
LYS-2	129,43	129428,57	90,96	117,732	117731,96	3,50	4118,36	3315,28	1,24
LYS-3	132,57	132571,43	90,96	120,591	120590,79	3,50	4218,36	3190,26	1,32
LYS-4	160,80	160800,00	90,96	146,268	146268,31	3,50	5116,58	3724,26	1,37
LYS-5	119,69	119685,71	90,96	108,870	108869,57	3,50	3808,34	2995,42	1,27
LYS-6	116,88	116875,00	90,96	106,31	106312,87	3,50	3718,91	2896,86	1,28
LYS-7	104,61	104614,29	90,96	95,16	95160,17	3,50	3328,78	2755,79	1,21
LYS-8	149,40	149400,00	90,96	135,90	135898,54	3,50	4753,84	3539,34	1,34
LYS-9	128,70	128700,00	90,96	117,07	117069,23	3,50	4095,18	3429,38	1,19
LEU-1	129,10	129100,00	90,65	117,03	117034,06	3,50	4094,88	3143,69	1,30
LEU-2	116,66	116657,14	90,65	105,75	105754,13	3,50	3700,21	3033,62	1,22
LEU-3	129,36	129357,14	90,65	117,27	117267,17	3,50	4103,04	3049,15	1,35
LEU-4	105,90	105900,00	90,65	96,00	96002,38	3,50	3359,01	2973,75	1,13
LEU-5	111,30	111300,00	90,65	100,90	100897,68	3,50	3530,29	2924,98	1,21
LEU-6	131,50	131500,00	90,65	119,21	119209,75	3,50	4171,01	3246,26	1,28
LEU-7	106,34	106342,86	90,65	96,40	96403,84	3,50	3373,05	2893,65	1,17
LEU-8	127,71	127714,29	90,65	115,78	115777,85	3,50	4050,93	3211,84	1,26
LEU-9	126,66	126657,14	90,65	114,82	114819,51	3,50	4017,40	3068,43	1,31
LEU-10	103,39	103385,71	90,65	93,72	93723,08	3,50	3279,26	2847,43	1,15

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 58 (Fortsetzung): N-Aufnahme im Wachstumsversuch in der fünften Lebenswoche (29.-35. LT). Growerperiode. Experiment 2.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d(mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM(LM _{kg} ^{0,67})
ILE*1	152,06	152057,14	90,58	137,73	137727,91	3,50	4819,37	3468,69	1,39
ILE*2	156,53	156528,57	90,58	141,78	141777,97	3,50	4961,09	3583,19	1,38
ILE*3	150,14	150142,86	90,58	135,99	135994,02	3,50	4758,70	3514,66	1,35
ILE*4	155,83	155828,57	90,58	141,14	141143,93	3,50	4938,91	3373,25	1,46
ILE*5	161,23	161228,57	90,58	146,04	146035,06	3,50	5110,06	3497,31	1,46
ILE*6	162,27	162271,43	90,58	146,98	146979,64	3,50	5143,11	3489,60	1,47
ILE*7	129,40	129400,00	90,58	117,21	117205,88	3,50	4101,27	3146,18	1,30
ILE*8	161,19	161185,71	90,58	146,00	145996,24	3,50	5108,70	3556,15	1,44
ILE*9	160,10	160100,00	90,58	145,01	145012,84	3,50	5074,29	3539,94	1,43
ILE*10	140,09	140085,71	90,58	126,88	126884,62	3,50	4439,95	3318,82	1,34
VAL*1	173,46	173457,14	91,02	157,88	157878,28	3,50	5524,22	3729,85	1,48
VAL* 2	144,20	144200,00	91,02	131,25	131248,83	3,50	4592,45	3513,31	1,31
VAL* 3	152,86	152857,14	91,02	139,13	139128,45	3,50	4868,16	3536,07	1,38
VAL* 4	168,00	168000,00	91,02	152,91	152911,26	3,50	5350,43	3485,52	1,54
VAL* 5	144,39	144385,71	91,02	131,42	131417,87	3,50	4598,36	3286,61	1,40
VAL* 6	141,59	141585,71	91,02	128,87	128869,35	3,50	4509,19	3352,71	1,34
VAL* 7	161,69	161685,71	91,02	147,16	147164,09	3,50	5149,33	3481,67	1,48
VAL* 8	146,31	146314,29	91,02	133,17	133173,23	3,50	4659,78	3308,26	1,41
VAL* 9	141,59	141585,71	91,02	128,87	128869,35	3,50	4509,19	3447,60	1,31
VAL* 10	155,07	155071,43	91,02	141,14	141143,86	3,50	4938,68	3618,19	1,36

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE*** = BK abgesenkt in Ile (80%), **VAL*** = BK abgesenkt in Val (80%)

A-Tabelle 59: Einzeltierdaten aus Experiment 2. Sammelperiode I der Starterperiode (10.-15. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg) /LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente/d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Ausscheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/ LMkg _{0,67/d}
1	BK- 1	217	443	330	0,3300	0,4758	42,35	92,5520	39,1979	3,8070	3136,4505	5507,3076	7,4439	409,9560	861,6540	2274,7965
2	BK-2	205	431	318	0,3180	0,4641	42,07	92,5520	38,9329	3,8070	3193,5262	6121,2528	7,8290	479,2308	1032,5677	2160,9585
3	BK-3	204	428	316	0,3160	0,4622	41,96	92,5520	38,8318	3,8070	3198,7189	5630,7218	7,4000	416,6720	901,5794	2297,1395
4	BK-4	199	408	303,5	0,3035	0,4498	42,07	92,5520	38,9385	3,8070	3295,4314	6076,4667	7,4570	453,1215	1007,3221	2288,1093
5	BK-5	205	413,5	309,25	0,3093	0,4555	42,33	92,5520	39,1751	3,8070	3274,0271	5873,2979	8,2014	481,6923	1057,4557	2216,5713
6	BK-6	177,5	396,5	287	0,2870	0,4333	42,19	92,5520	39,0465	3,8070	3430,6813	5905,5605	7,0164	414,3566	956,2983	2474,3829
7	BK-7	218,5	435	326,75	0,3268	0,4726	42,29	92,5520	39,1372	3,8070	3152,4227	5990,4988	7,4344	445,3571	942,2886	2210,1341
8	BK-8	201	429	315	0,3150	0,4612	42,41	92,5520	39,2547	3,8070	3240,4341	6121,9414	7,2281	442,5030	959,5070	2280,9271
9	LYS-1	169,5	253	211,25	0,2113	0,3529	23,69	92,3943	21,8853	3,8054	2360,1343	3442,6434	8,5898	295,7157	838,0320	1522,1023
10	LYS-2	188	354	271	0,2710	0,4170	39,70	92,3943	36,6795	3,8054	3347,5867	5338,8123	8,8419	472,0512	1132,1388	2215,4479
11	LYS-3	184,5	365,5	275	0,2750	0,4211	38,48	92,3943	35,5552	3,8054	3213,2776	6087,0645	8,2816	504,1068	1197,2081	2016,0695
12	LYS-4	180,5	279,5	230	0,2300	0,3736	25,95	92,3943	23,9808	3,8054	2442,8911	3089,7717	9,3735	289,6208	775,3041	1667,5870
13	LYS-5	185	253	219	0,2190	0,3615	19,74	92,3943	18,2390	3,8054	1919,9965	2350,5808	7,5284	176,9622	489,5341	1430,4624
14	LYS-6	183,5	277,5	230,5	0,2305	0,3741	23,40	92,3943	21,6183	3,8054	2199,0223	3009,8246	8,6648	260,7950	697,1235	1501,8988
15	LYS-7	177,5	277	227,25	0,2273	0,3706	24,09	92,3943	22,2539	3,8054	2285,3229	3019,2118	8,7554	264,3435	713,3637	1571,9592
16	LEU- 1	203	423,5	313,25	0,3133	0,4595	42,08	92,2262	38,8128	3,8066	3215,6505	6279,2914	7,5533	474,2968	1032,2934	2183,3571
17	LEU-2	226,5	463,5	345	0,3450	0,4902	42,48	92,2262	39,1772	3,8066	3042,5404	5765,6880	7,9054	455,8008	929,9001	2112,6403
18	LEU-3	207	430,5	318,75	0,3188	0,4648	42,39	92,2262	39,0967	3,8066	3201,6197	5546,9063	7,9616	441,6216	950,0330	2251,5867
19	LEU-4	210,5	440,5	325,5	0,3255	0,4714	41,85	92,2262	38,5989	3,8066	3116,7883	5215,9916	7,7294	403,1667	855,2154	2261,5730
20	LEU-5	137,5	201,5	169,5	0,1695	0,3045	16,17	92,2262	14,9114	3,8066	1864,2973	1741,0488	6,5883	114,7057	376,7396	1487,5577
21	LEU-6	172,5	313,5	243	0,2430	0,3876	28,50	92,2262	26,2824	3,8066	2581,3717	3361,8052	6,8150	229,1065	591,1276	1990,2441
22	LEU-7	197	404	300,5	0,3005	0,4468	41,79	92,2262	38,5453	3,8066	3283,6512	7285,1779	7,6714	558,8775	1250,7221	2032,9291

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%), **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

A-Tabelle 59 (Fortsetzung): Einzeltierdaten aus Experiment 2. Sammelperiode I der Starterperiode (10.-15. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Aufn./d (mg)	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	Exkreme/d (mg) in TS	%N in Exkreme (TS)	N-Ausscheidung Exkreme/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkreme (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/LMkg0,67/d
23	ILE-1	169	346,5	257,75	0,2578	0,4032	37,31	92,5033	34,5130	1313,8409	3258,6647	4955,7090	8,1197	402,3881	998,0265	2260,6382
24	ILE-2	100,5	222	161,25	0,1613	0,2945	23,15	92,5033	21,4130	815,1495	2768,2955	3284,8372	8,5413	280,5664	952,8200	1815,4756
25	ILE-3	196	396	296	0,2960	0,4423	42,15	92,5033	38,9917	1484,3362	3355,5742	6060,3404	7,6842	465,6916	1052,7687	2302,8055
26	ILE-4	203	371	287	0,2870	0,4333	37,42	92,5033	34,6147	1317,7145	3041,1683	5552,7567	8,3501	463,6632	1070,0936	1971,0747
27	ILE-5	190	386	288	0,2880	0,4343	41,86	92,5033	38,7219	1474,0654	3394,0934	6600,4202	8,4847	560,0280	1289,4864	2104,6070
28	ILE-6	211,5	416	313,75	0,3138	0,4600	42,32	92,5033	39,1443	1490,1466	3239,7976	6587,9584	8,3223	548,2668	1192,0126	2047,7850
29	ILE-7	161	242	201,5	0,2015	0,3419	18,46	92,5033	17,0776	650,1124	1901,6218	2200,2705	7,3619	161,9808	473,8046	1427,8173
30	VAL- 1	220	415,5	317,75	0,3178	0,4639	41,96	92,4609	38,7928	1476,6820	3183,3885	6214,5196	8,6822	539,5600	1163,1679	2020,2206
31	VAL-2	143,5	197	170,25	0,1703	0,3054	17,23	92,4609	15,9309	606,4251	1985,8608	1993,2941	8,0072	159,6070	522,6652	1463,1956
32	VAL-3	213,5	401,5	307,5	0,3075	0,4538	41,73	92,4609	38,5829	1468,6901	3236,4875	6000,1152	8,5410	512,4708	1129,3093	2107,1783
33	VAL-4	116,5	189	152,75	0,1528	0,2840	17,48	92,4609	16,1641	615,2992	2166,8005	2363,5819	8,5930	203,1015	715,2300	1451,5706
34	VAL-5	179	300	239,5	0,2395	0,3838	27,63	92,4609	25,5440	972,3535	2533,3166	3981,5301	8,3294	331,6358	864,0258	1669,2908
35	VAL-6	159	348,5	253,75	0,2538	0,3990	39,34	92,4609	36,3786	1384,7828	3470,8001	5646,8008	9,2835	524,2200	1313,8976	2156,9025
36	VAL-7	210,5	408,5	309,5	0,3095	0,4558	42,27	92,4609	39,0867	1487,8696	3264,5418	6562,3694	9,0225	592,0892	1299,1057	1965,4360

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%), **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

A-Tabelle 60: Einzeltierdaten aus Experiment 2. Sammelperiode II der Starterperiode (15.-20. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente/d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Ausscheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/LMkg ^{0,67/d}
1	BK-1	443	815	629	0,6290	0,7330	78,26	92,5520	72,4278	3,8070	3761,7420	10293,4076	8,1165	835,4646	1139,8091	2621,9329
2	BK2-	431	803	617	0,6170	0,7236	80,09	92,5520	74,1225	3,8070	3899,7630	11582,8657	8,5653	992,1029	1371,0890	2528,6740
3	BK-3	428	803	615,5	0,6155	0,7224	81,16	92,5520	75,1189	3,8070	3958,6407	11562,7222	7,8728	910,3088	1260,1027	2698,5380
4	BK-4	408	776	592	0,5920	0,7038	77,29	92,5520	71,5338	3,8070	3869,3238	11383,9655	8,1687	929,9184	1321,2631	2548,0607
5	BK-5	413,5	760	586,75	0,5868	0,6996	73,16	92,5520	67,7114	3,8070	3684,4913	9941,3612	8,6334	858,2772	1226,7724	2457,7189
6	BK-6	396,5	778	587,25	0,5873	0,7000	80,83	92,5520	74,8064	3,8070	4068,2430	11727,3741	7,2769	853,3902	1219,0913	2849,1518
7	BK-7	435	830	632,5	0,6325	0,7357	80,59	92,5520	74,5852	3,8070	3859,4167	13840,8729	7,6658	1061,0120	1442,1477	2417,2690
8	BK-8	429	828	628,5	0,6285	0,7326	80,26	92,5520	74,2795	3,8070	3859,9691	11293,5334	7,4690	843,5196	1151,4117	2708,5574
9	LYS-1	253	384	318,5	0,3185	0,4646	33,96	92,3943	31,3785	3,8054	2570,0824	4650,9923	8,8685	412,4745	887,7972	1682,2852
10	LYS-2	354	625	489,5	0,4895	0,6196	60,75	92,3943	56,1322	3,8054	3447,2735	8474,1164	9,2445	783,3868	1264,2761	2182,9974
11	LYS-3	365,5	620	492,75	0,4928	0,6224	57,94	92,3943	53,5294	3,8054	3272,8864	9303,3356	8,6084	800,8704	1286,7744	1986,1120
12	LYS-4	279,5	449	364,25	0,3643	0,5083	40,16	92,3943	37,1011	3,8054	2777,4563	4926,3674	9,2727	456,8049	898,6551	1878,8012
13	LYS-5	253	342	297,5	0,2975	0,4439	23,77	92,3943	21,9620	3,8054	1882,9265	3347,5465	8,1179	271,7516	612,2599	1270,6666
14	LYS-6	277,5	373	325,25	0,3253	0,4712	28,88	92,3943	26,6869	3,8054	2155,3125	4103,1477	8,4226	345,5926	733,4641	1421,8484
15	LYS-7	277	399	338	0,3380	0,4835	34,14	92,3943	31,5479	3,8054	2483,1006	4849,3627	8,9553	434,2728	898,2318	1584,8688
16	LEU-1	423,5	770	596,75	0,5968	0,7076	75,74	92,2262	69,8544	3,8066	3757,9787	11120,7615	7,7883	866,1202	1224,0446	2533,9341
17	LEU-2	463,5	790	626,75	0,6268	0,7312	71,11	92,2262	65,5819	3,8066	3414,0672	10140,8180	7,8550	796,5562	1089,3394	2324,7278
18	LEU-3	430,5	705	567,75	0,5678	0,6844	67,60	92,2262	62,3489	3,8066	3468,0479	9221,1395	8,0010	737,7832	1078,0613	2389,9866
19	LEU-4	440,5	711	575,75	0,5758	0,6908	59,71	92,2262	55,0719	3,8066	3034,6901	9061,5723	8,0071	725,5688	1050,3205	1984,3696
20	LEU-5	201,5	361	281,25	0,2813	0,4275	32,52	92,2262	29,9903	3,8066	2670,7296	3327,1505	7,1055	236,4100	553,0620	2117,6675
21	LEU-6	313,5	441	377,25	0,3773	0,5204	34,89	92,2262	32,1749	3,8066	2353,5176	4706,3074	7,4249	349,4385	671,4739	1682,0436
22	LEU-7	404	664	534	0,5340	0,6568	58,77	92,2262	54,2041	3,8066	3141,3847	7527,9842	7,6786	578,0408	880,0469	2261,3378

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%), **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

A-Tabelle 60 (Fortsetzung): Einzeltierdaten aus Experiment 2. Sammelperiode II der Starterperiode (15.-20. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg) /LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente/d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Ausscheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/LMkg ^{0,67/d}
23	ILE-1	346,5	550	448,25	0,4483	0,5841	51,60	92,5033	47,7317	3,8068	3110,6320	7077,2249	8,8725	627,9253	1074,9528	2035,6792
24	ILE-2	222	374	298	0,2980	0,4443	41,99	92,5033	38,8421	3,8068	3327,6567	6237,0151	8,1919	510,9300	1149,8376	2177,8191
25	ILE-3	396	691	543,5	0,5435	0,6646	65,35	92,5033	60,4509	3,8068	3462,4175	6497,4269	7,9030	513,4947	772,5957	2689,8218
26	ILE-4	371	611	491	0,4910	0,6209	58,16	92,5033	53,7999	3,8068	3298,5064	9176,2149	8,7383	801,8475	1291,4190	2007,0874
27	ILE-5	386	728	557	0,5570	0,6757	79,00	92,5033	73,0776	3,8068	4117,3866	12127,3428	8,7847	1065,3552	1576,7813	2540,6053
28	ILE-6	416	743	579,5	0,5795	0,6938	73,40	92,5033	67,8943	3,8068	3725,1869	11534,9658	8,0035	923,1986	1330,6056	2394,5813
29	ILE-7	242	437	339,5	0,3395	0,4849	40,37	92,5033	37,3436	3,8068	2931,6602	5754,3318	8,1528	469,1374	967,4698	1964,1904
30	VAL-1	415,5	760	587,75	0,5878	0,7004	76,57	92,4609	70,7961	3,8066	3847,5651	12106,6230	8,6506	1047,3012	1495,2456	2352,3195
31	VAL-2	197	320	258,5	0,2585	0,4040	27,88	92,4609	25,7741	3,8066	2428,6799	3803,2600	9,4463	359,2689	889,3466	1539,3333
32	VAL-3	401,5	637	519,25	0,5193	0,6446	59,58	92,4609	55,0923	3,8066	3253,3020	9212,3998	9,1306	841,1496	1304,8812	1948,4208
33	VAL-4	189	285	237	0,2370	0,3811	26,52	92,4609	24,5227	3,8066	2449,1920	4001,6791	9,4369	377,6364	990,8147	1458,3772
34	VAL-5	300	478	389	0,3890	0,5312	43,22	92,4609	39,9597	3,8066	2863,4615	6236,9993	9,1924	573,3300	1079,2907	1784,1708
35	VAL-6	348,5	604	476,25	0,4763	0,6083	61,34	92,4609	56,7189	3,8066	3549,0643	9261,8771	9,5403	883,6092	1452,4821	2096,5822
36	VAL-7	408,5	710	559,25	0,5593	0,6775	66,38	92,4609	61,3750	3,8066	3448,5052	9758,3749	9,5091	927,9366	1369,6900	2078,8152

Ausreißer

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%), **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

A-Tabelle 61: Einzeltierdaten aus Experiment 2. Sammelperiode I der Growerperiode (25.-30. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente/d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Ausscheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/LMkg ^{0,67/d}
1	BK-1	882,5	1423	1152,75	1,1528	1,0999	124,76	91,3452	113,9668	3,4994	3625,8392	17727,9244	6,2976	1116,4299	1015,0067	2610,8324
2	BK-2	887,5	1430	1158,75	1,1588	1,1038	130,98	91,3452	119,6423	3,4994	3793,1874	19450,5030	6,5338	1270,8642	1151,3994	2641,7880
3	BK-3	947	1587,5	1267,25	1,2673	1,1720	143,17	91,3452	130,7781	3,4994	3904,9005	20033,2791	7,4979	1502,0759	1281,6639	2623,2366
4	BK-4	1009	1453	1231	1,2310	1,1494	117,62	91,3452	107,4444	3,4994	3271,1743	17194,3559	6,8569	1179,0002	1025,7487	2245,4255
5	BK-5	935	1438	1186,5	1,1865	1,1214	116,72	91,3452	106,6188	3,4994	3327,1100	14720,4087	6,6502	978,9378	872,9627	2454,1473
6	BK-6	968	1355	1161,5	1,1615	1,1055	105,94	91,3452	96,7729	3,4994	3063,2585	13822,5087	6,8207	942,7964	852,8154	2210,4431
7	BK-7	865	1392	1128,5	1,1285	1,0844	119,64	91,3452	109,2868	3,4994	3526,8285	15822,8094	6,2539	989,5476	912,5583	2614,2701
8	BK-8	930,5	1424	1177,25	1,1773	1,1155	117,69	91,3452	107,5017	3,4994	3372,2988	20152,7207	5,4391	1096,1191	982,5976	2389,7012
9	LYS-1	840	1284	1062	1,0620	1,0411	115,86	91,3241	105,8078	3,4980	3554,9691	15149,6986	9,4801	1436,1995	1379,4671	2175,5021
10	LYS-2	843	1136	989,5	0,9895	0,9930	85,62	91,3241	78,1886	3,4980	2754,4600	10868,2653	8,7073	946,3278	953,0441	1801,4158
11	LYS-3	816	1162,5	989,25	0,9893	0,9928	99,96	91,3241	91,2868	3,4980	3216,4326	14094,8584	8,9147	1256,5200	1265,6521	1950,7805
12	LYS-4	846,5	1201	1023,75	1,0238	1,0159	96,40	91,3241	88,0397	3,4980	3031,5872	10861,9830	8,2318	894,1400	880,1883	2151,3989
13	LYS-5	897	1172,5	1034,75	1,0348	1,0232	87,05	91,3241	79,5017	3,4980	2718,0559	10963,7518	9,2595	1015,1852	992,2144	1725,8415
14	LYS-6	1054,5	1392	1223,25	1,2233	1,1446	100,14	91,3241	91,4504	3,4980	2794,9362	12915,1508	8,9348	1153,9472	1008,2094	1786,7268
15	LYS-7	950	1215	1082,5	1,0825	1,0545	88,44	91,3241	80,7652	3,4980	2679,0405	10946,9867	9,0742	993,3525	941,9692	1737,0713
16	LEU-1	896	1182	1039	1,0390	1,0260	81,75	91,6072	74,8878	3,4990	2554,0454	9864,0458	9,1553	903,0862	880,2313	1673,8142
17	LEU-2	870	1065	967,5	0,9675	0,9781	63,98	91,6072	58,6062	3,4990	2096,5595	7629,1054	9,0152	687,7770	703,1719	1393,3876
18	LEU-3	856,5	1031	943,75	0,9438	0,9620	54,91	91,6072	50,2997	3,4990	1829,6220	7090,8853	7,6301	541,0405	562,4392	1267,1828
19	LEU-4	932	1206	1069	1,0690	1,0457	72,18	91,6072	66,1235	3,4990	2212,5378	8368,4270	8,6701	725,5537	693,8322	1518,7055
20	LEU-5	887	1152	1019,5	1,0195	1,0130	67,54	91,6072	61,8726	3,4990	2137,1182	7514,0438	7,9661	598,5769	590,8817	1546,2366
21	LEU-6	818,5	941,5	880	0,8800	0,9179	53,18	91,6072	48,7136	3,4990	1856,9367	6356,6667	8,4898	539,6683	587,9271	1269,0096
22	LEU-7	936,5	1372	1154,25	1,1543	1,1009	106,18	91,6072	97,2673	3,4990	3091,5480	16674,0590	8,2471	1375,1210	1249,1080	1842,4400

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%), **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

A-Tabelle 61 (Fortsetzung): Einzeltierdaten aus Experiment 2. Sammelperiode I der Growerperiode (25.-30. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg) /LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente/d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Ausscheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/ LMkg ^{0,67/d}
23	ILE-1	781	831,5	806,25	0,8063	0,8656	39,36	91,3192	35,9440	3,4992	1452,9990	4933,3745	9,1843	453,0936	523,4235	929,5755
24	ILE-2	960	1234	1097	1,0970	1,0640	88,58	91,3192	80,8871	3,4992	2660,1994	12438,5432	8,8051	1095,2256	1029,3549	1630,8445
25	ILE-3	874,5	994	934,25	0,9343	0,9555	63,27	91,3192	57,7736	3,4992	2115,8867	7456,9345	6,8184	508,4417	532,1461	1583,7406
26	ILE-4	836,5	1299	1067,75	1,0678	1,0449	114,62	91,3192	104,6690	3,4992	3505,2348	15833,4551	8,9778	1421,4968	1360,4145	2144,8203
27	ILE-5	930	1132	1031	1,0310	1,0207	70,01	91,3192	63,9311	3,4992	2191,8064	8181,5666	8,2573	675,5736	661,8954	1529,9110
28	ILE-6	958	1316	1137	1,1370	1,0898	97,97	91,3192	89,4691	3,4992	2872,6789	12251,8773	8,3565	1023,8292	939,4377	1933,2411
29	ILE-7	908	1204	1056	1,0560	1,0372	85,00	91,3192	77,6181	3,4992	2618,6772	9653,0589	7,7854	751,5326	724,5911	1894,0861
30	VAL-1	771,5	835	803,25	0,8033	0,8635	37,61	91,3610	34,3613	3,4887	1388,3165	4830,3200	9,9375	480,0110	555,9058	832,4107
31	VAL-2	960	1342,5	1151,25	1,1513	1,0990	102,10	91,3610	93,2797	3,4887	2961,2289	13229,3196	9,5078	1257,8139	1144,5446	1816,6842
32	VAL-3	821,5	946	883,75	0,8838	0,9205	53,96	91,3610	49,2997	3,4887	1868,4101	6321,5156	9,7423	615,8607	669,0241	1199,3860
33	VAL-4	814	1003,5	908,75	0,9088	0,9379	67,21	91,3610	61,3998	3,4887	2283,9035	9241,2980	9,8997	914,8648	975,4368	1308,4666
34	VAL-5	863,5	1334	1098,75	1,0988	1,0651	121,77	91,3610	111,2528	3,4887	3643,9894	17988,5679	8,6588	1557,6000	1462,3579	2181,6315
35	VAL-6	824,5	1040	932,25	0,9323	0,9541	66,05	91,3610	60,3417	3,4887	2206,4754	7771,7468	8,0191	623,2207	653,2135	1553,2618
36	VAL-7	866	1112	989	0,9890	0,9926	80,82	91,3610	73,8409	3,4887	2595,2770	10747,8483	9,5210	1023,3072	1030,9189	1564,3580

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%), **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

A-Tabelle 62: Einzeltierdaten aus Experiment 2. Sammelperiode II der Growerperiode (30.-35. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg) /LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente/d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Ausscheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/ LMkg0,67/d
1	BK-1	1423	2037	1730	1,7300	1,4437	156,90	91,3452	143,3179	3,4994	3473,7796	26978,0474	5,1136	1379,5491	955,5343	2518,2453
2	BK-2	1430	1976	1703	1,7030	1,4286	143,14	91,3452	130,7477	3,4994	3202,6743	25420,3710	5,8435	1485,4424	1039,7813	2162,8930
3	BK-3	1587,5	2213,5	1900,5	1,9005	1,5376	173,39	91,3452	158,3871	3,4994	3604,7160	26469,4258	5,8343	1544,2930	1004,3573	2600,3587
4	BK-4	1453	2009	1731	1,7310	1,4443	139,25	91,3452	127,1960	3,4994	3081,8192	20469,2807	5,8599	1199,4864	830,4936	2251,3256
5	BK-5	1438	1950	1694	1,6940	1,4235	134,39	91,3452	122,7557	3,4994	3017,6047	16470,3443	5,8658	966,1120	678,6651	2338,9396
6	BK-6	1355	1772	1563,5	1,5635	1,3491	106,63	91,3452	97,4016	3,4994	2526,4633	14113,4822	6,7416	951,4700	705,2604	1821,2028
7	BK-7	1392	1974	1683	1,6830	1,4173	146,99	91,3452	134,2691	3,4994	3315,0678	19860,2010	6,4401	1279,0113	902,3978	2412,6700
8	BK-8	1424	1875	1649,5	1,6495	1,3984	133,55	91,3452	121,9898	3,4994	3052,7411	20688,0417	6,3166	1306,7892	934,5004	2118,2407
9	LYS-1	1284	1678	1481	1,4810	1,3010	114,63	91,3241	104,6842	3,4980	2814,6919	15073,8921	8,0879	1219,1683	937,1126	1877,5793
10	LYS-2	1136	1513	1324,5	1,3245	1,2072	103,51	91,3241	94,5277	3,4980	2739,0871	13175,2310	9,4097	1239,7456	1026,9700	1712,1171
11	LYS-3	1162,5	1542	1352,25	1,3523	1,2241	115,83	91,3241	105,7825	3,4980	3022,9232	20754,9114	6,6325	1376,5733	1124,5821	1898,3411
12	LYS-4	1201	1605,5	1403,25	1,4033	1,2548	111,15	91,3241	101,5021	3,4980	2829,5423	19149,7965	6,0811	1164,5139	928,0346	1901,5076
13	LYS-5	1172,5	1440	1306,25	1,3063	1,1960	85,12	91,3241	77,7388	3,4980	2273,6406	11162,9433	7,2686	811,3944	678,4133	1595,2273
14	LYS-6	1392	1839	1615,5	1,6155	1,3790	117,15	91,3241	106,9834	3,4980	2713,7650	15788,8958	7,5482	1191,7724	864,2267	1849,5384
15	LYS-7	1215	1552	1383,5	1,3835	1,2430	103,52	91,3241	94,5410	3,4980	2660,6368	13382,8532	8,1691	1093,2627	879,5661	1781,0707
16	LEU- 1	1182	1435	1308,5	1,3085	1,1974	90,84	91,6072	83,2159	3,4990	2431,7425	11607,3628	8,5391	991,1680	827,7685	1603,9740
17	LEU-2	1065	1242	1153,5	1,1535	1,1004	63,28	91,6072	57,9679	3,4990	1843,2549	7698,2126	8,5422	657,6000	597,5992	1245,6557
18	LEU-3	1031	1421	1226	1,2260	1,1463	88,40	91,6072	80,9804	3,4990	2471,9589	11704,7946	6,1910	724,6482	632,1769	1839,7821
19	LEU-4	1206	1567	1386,5	1,3865	1,2448	88,30	91,6072	80,8898	3,4990	2273,8278	12728,3693	7,9067	1006,3958	808,5046	1465,3231
20	LEU-5	1152	1551,5	1351,75	1,3518	1,2238	96,02	91,6072	87,9634	3,4990	2515,0764	13237,2350	8,0332	1063,3775	868,9342	1646,1422
21	LEU-6	941,5	1071,5	1006,5	1,0065	1,0044	57,59	91,6072	52,7603	3,4990	1838,1118	5742,8019	7,8521	450,9288	448,9756	1389,1362
22	LEU-7	1372	1877	1624,5	1,6245	1,3841	130,78	91,6072	119,8012	3,4990	3028,5090	16935,2442	8,5027	1439,9597	1040,3228	1988,1862

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%), **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

A-Tabelle 62 (Fortsetzung): Einzeltierdaten aus Experiment 2. Sammelperiode II der Growerperiode (30.-35. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg) /LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente/d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Aus-scheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Aus-scheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/ LMkg0,67/d
23	ILE-1	831,5	1003	917,25	0,9173	0,9438	51,09	91,3192	46,6535	3,4992	1729,7794	6664,0665	8,6827	578,6220	613,0956	1116,6838
24	ILE-2	1234	1563	1398,5	1,3985	1,2520	99,62	91,3192	90,9742	3,4992	2542,7161	14401,7515	8,0596	1160,7288	927,1220	1615,5941
25	ILE-3	994	1130	1062	1,0620	1,0411	53,62	91,3192	48,9626	3,4992	1645,6400	6425,6401	8,5754	551,0255	529,2590	1116,3810
26	ILE-4	1299	1675	1487	1,4870	1,3045	124,00	91,3192	113,2370	3,4992	3037,4823	19242,4783	6,3940	1230,3648	943,1604	2094,3219
27	ILE-5	1132	1449	1290,5	1,2905	1,1863	82,10	91,3192	74,9696	3,4992	2211,3180	11426,7837	8,4311	963,4040	812,0833	1399,2347
28	ILE-6	1316	1788	1552	1,5520	1,3424	116,66	91,3192	106,5339	3,4992	2776,9240	16841,4319	7,5176	1266,0635	943,1006	1833,8234
29	ILE-7	1204	1529	1366,5	1,3665	1,2327	102,83	91,3192	93,9003	3,4992	2665,5225	11567,8320	9,0290	1044,4565	847,2897	1818,2328
30	VAL-1	835	980	907,5	0,9075	0,9370	54,34	91,3610	49,6482	3,4887	1848,4800	7366,5187	10,0009	736,7150	786,2167	1062,2633
31	VAL-2	1342,5	1720	1531,25	1,5313	1,3304	112,71	91,3610	102,9720	3,4887	2700,2653	15278,2463	9,9752	1524,0330	1145,5485	1554,7168
32	VAL-3	946	1187	1066,5	1,0665	1,0441	74,79	91,3610	68,3273	3,4887	2283,1217	10185,6243	9,5458	972,2988	931,2493	1351,8724
33	VAL-4	1003,5	1159	1081,25	1,0813	1,0537	68,65	91,3610	62,7186	3,4887	2076,5117	13135,1286	7,6495	1004,7720	953,5358	1122,9758
34	VAL-5	1334	1674	1504	1,5040	1,3145	122,08	91,3610	111,5354	3,4887	2960,2257	18688,3289	9,5130	1777,8243	1352,4860	1607,7397
35	VAL-6	1040	1269	1154,5	1,1545	1,1010	80,37	91,3610	73,4266	3,4887	2326,5784	10650,5021	8,9446	952,6395	865,2162	1461,3621
36	VAL-7	1112	1340	1226	1,2260	1,1463	84,31	91,3610	77,0240	3,4887	2344,2612	12427,0519	9,4574	1175,2741	1025,2990	1318,9622

Ausreißer

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%), **LEU** = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%), **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

A-Tabelle 63: Proteinqualität (b-Wert) der Starterperiode, Sammelperiode I + II (10.-20. LT). Experiment 2. Bilanzversuch.

Diät	N-Aufnahme (mg/LM _{kg0,67})	N-Bilanz (mg/LM _{kg0,67})	NMR (mg/LM _{kg0,67})	N-Retention (mg/LM _{kg0,67})	NR _{max} T (mg/LM _{kg0,67})	b-Wert (b*10 ⁶)
BK I	3136,4505	2274,7965	113	2387,7965	4705	226
BK	3193,5262	2160,9585	113	2273,9585	4705	207
BK	3198,7189	2297,1395	113	2410,1395	4705	224
BK	3295,4314	2288,1093	113	2401,1093	4705	217
BK	3274,0271	2216,5713	113	2329,5713	4705	209
BK	3430,6813	2474,3829	113	2587,3829	4705	233
BK	3152,4227	2210,1341	113	2323,1341	4705	216
BK	3240,4341	2280,9271	113	2393,9271	4705	219
BK II	3761,7420	2621,9329	113	2734,9329	4705	231
BK	3899,7630	2528,6740	113	2641,6740	4705	211
BK	3958,6407	2698,5380	113	2811,5380	4705	230
BK	3869,3238	2548,0607	113	2661,0607	4705	215
BK	3684,4913	2457,7189	113	2570,7189	4705	215
BK	4068,2430	2849,1518	113	2962,1518	4705	244
BK	3859,4167	2417,2690	113	2530,2690	4705	200
BK	3859,9691	2708,5574	113	2821,5574	4705	237
LYS I	2360,1343	1522,1023	113	1635,1023	4705	181
LYS	3347,5867	2215,4479	113	2328,4479	4705	204
LYS	3213,2776	2016,0695	113	2129,0695	4705	187
LYS	2442,8911	1667,5870	113	1780,5870	4705	195
LYS	1919,9965	1430,4624	113	1543,4624	4705	207
LYS	2199,0223	1501,8988	113	1614,8988	4705	191
LYS	2285,3229	1571,9592	113	1684,9592	4705	194
LYS II	2570,0824	1682,2852	113	1795,2852	4705	187
LYS	3447,2735	2182,9974	113	2295,9974	4705	194
LYS	3272,8864	1986,1120	113	2099,1120	4705	181
LYS	2777,4563	1878,8012	113	1991,8012	4705	198
LYS	1882,9265	1270,6666	113	1383,6666	4705	185
LYS	2155,3125	1421,8484	113	1534,8484	4705	183
LYS	2483,1006	1584,8688	113	1697,8688	4705	180
LEU I	3215,6505	2183,3571	113	2296,3571	4705	208
LEU	3042,5404	2112,6403	113	2225,6403	4705	211
LEU	3201,6197	2251,5867	113	2364,5867	4705	218
LEU	3116,7883	2261,5730	113	2374,5730	4705	225
LEU	1864,2973	1487,5577	113	1600,5577	4705	223
LEU	2581,3717	1990,2441	113	2103,2441	4705	230
LEU	3283,6512	2032,9291	113	2145,9291	4705	185
LEU II	3757,9787	2533,9341	113	2646,9341	4705	220
LEU	3414,0672	2324,7278	113	2437,7278	4705	214
LEU	3468,0479	2389,9866	113	2502,9866	4705	219
LEU	3034,6901	1984,3696	113	2097,3696	4705	194
LEU	2670,7296	2117,6675	113	2230,6675	4705	241
LEU	2353,5176	1682,0436	113	1795,0436	4705	204
LEU	3141,3847	2261,3378	113	2374,3378	4705	224

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%),
LEU = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%), **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

A-Tabelle 63 (Fortsetzung): Proteinqualität (b-Wert) der Starterperiode, Sammelperiode I + II (10.-20. LT), Experiment 2.

Diät	N-Aufnahme (mg/LM _{kg0,67})	N-Bilanz (mg/LM _{kg0,67})	NMR (mg/LM _{kg0,67})	N-Retention (mg/LM _{kg0,67})	NR _{maxT} (mg/LM _{kg0,67})	b-Wert (b*10 ⁶)
ILE	2768,2955	1815,4756	113	1928,4756	4705	191
ILE	3355,5742	2302,8055	113	2415,8055	4705	215
ILE	3041,1683	1971,0747	113	2084,0747	4705	192
ILE	3394,0934	2104,6070	113	2217,6070	4705	188
ILE	3239,7976	2047,7850	113	2160,7850	4705	190
ILE	1901,6218	1427,8173	113	1540,8173	4705	209
ILE II	3110,6320	2035,6792	113	2148,6792	4705	196
ILE	3327,6567	2177,8191	113	2290,8191	4705	201
ILE	3462,4175	2689,8218	113	2802,8218	4705	276
ILE	3298,5064	2007,0874	113	2120,0874	4705	182
ILE	4117,3866	2540,6053	113	2653,6053	4705	202
ILE	3725,1869	2394,5813	113	2507,5813	4705	204
ILE	2931,6602	1964,1904	113	2077,1904	4705	199
VAL I	3183,3885	2020,2206	113	2133,2206	4705	190
VAL	1985,8608	1463,1956	113	1576,1956	4705	205
VAL	3236,4875	2107,1783	113	2220,1783	4705	197
VAL	2166,8005	1451,5706	113	1564,5706	4705	187
VAL	2533,3166	1669,2908	113	1782,2908	4705	188
VAL	3470,8001	2156,9025	113	2269,9025	4705	190
VAL	3264,5418	1965,4360	113	2078,4360	4705	179
VAL II	3847,5651	2352,3195	113	2465,3195	4705	193
VAL	2428,6799	1539,3333	113	1652,3333	4705	178
VAL	3253,3020	1948,4208	113	2061,4208	4705	177
VAL	2449,1920	1458,3772	113	1571,3772	4705	166
VAL	2863,4615	1784,1708	113	1897,1708	4705	180
VAL	3549,0643	2096,5822	113	2209,5822	4705	179
VAL	3448,5052	2078,8152	113	2191,8152	4705	182

Ausreißer

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%),
LEU = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%), **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

A-Tabelle 64: Proteinqualität (*b*-Wert) der Growerperiode, Sammelperiode I + II (25.-35. LT). Experiment 2.

Diät	N-Aufnahme (mg/LM _{kg0,67})	N-Bilanz (mg/LM _{kg0,67})	NMR (mg/LM _{kg0,67})	N-Retention (mg/LM _{kg0,67})	NR _{maxT} (mg/LM _{kg0,67})	<i>b</i> -Wert (<i>b</i> *10 ⁶)
BK I	3793,1874	2641,7880	215	2856,7880	4516	264
BK	3904,9005	2623,2366	215	2838,2366	4516	254
BK	3271,1743	2245,4255	215	2460,4255	4516	241
BK	3327,1100	2454,1473	215	2669,1473	4516	269
BK	3063,2585	2210,4431	215	2425,4431	4516	251
BK	3526,8285	2614,2701	215	2829,2701	4516	279
BK	3372,2988	2389,7012	215	2604,7012	4516	255
BK	3473,7796	2518,2453	215	2733,2453	4516	268
BK II	3202,6743	2162,8930	215	2377,8930	4516	233
BK	3604,7160	2600,3587	215	2815,3587	4516	271
BK	3081,8192	2251,3256	215	2466,3256	4516	256
BK	3017,6047	2338,9396	215	2553,9396	4516	276
BK	2526,4633	1821,2028	215	2036,2028	4516	237
BK	3315,0678	2412,6700	215	2627,6700	4516	263
BK	3052,7411	2118,2407	215	2333,2407	4516	238
BK	3554,9691	2175,5021	215	2390,5021	4516	212
LYS I	2754,4600	1801,4158	215	2016,4158	4516	215
LYS	3216,4326	1950,7805	215	2165,7805	4516	203
LYS	3031,5872	2151,3989	215	2366,3989	4516	245
LYS	2718,0559	1725,8415	215	1897,1790	4516	200
LYS	2794,9362	1786,7268	215	2001,7268	4516	210
LYS	2679,0405	1737,0713	215	1952,0713	4516	211
LYS	2814,6919	1877,5793	215	2092,5793	4516	221
LYS II	2739,0871	1712,1171	215	1927,1171	4516	203
LYS	3022,9232	1898,3411	215	2113,3411	4516	209
LYS	2829,5423	1901,5076	215	2116,5076	4516	223
LYS	2273,6406	1595,2273	215	1810,2273	4516	225
LYS	2713,7650	1849,5384	215	2064,5384	4516	225
LYS	2660,6368	1781,0707	215	1996,0707	4516	219
LYS	2554,0454	1673,8142	215	1888,8142	4516	212
LEU I	2096,5595	1393,3876	215	1608,3876	4516	210
LEU	1829,6220	1267,1828	215	1482,1828	4516	217
LEU	2212,5378	1518,7055	215	1733,7055	4516	219
LEU	2137,1182	1546,2366	215	1761,2366	4516	231
LEU	1856,9367	1269,0096	215	1484,0096	4516	215
LEU	3091,5480	1842,4400	215	2057,4400	4516	197
LEU	2431,7425	1603,9740	215	1818,9740	4516	212
LEU II	1843,2549	1245,6557	215	1460,6557	4516	212
LEU	2471,9589	1839,7821	215	2054,7821	4516	246
LEU	2273,8278	1465,3231	215	1680,3231	4516	205
LEU	2515,0764	1646,1422	215	1861,1422	4516	211
LEU	1838,1118	1389,1362	215	1604,1362	4516	239
LEU	3028,5090	1988,1862	215	2203,1862	4516	221

=

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%),
LEU = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%), **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

A-Tabelle 64 (Fortsetzung): Proteinqualität (b-Wert) der Growerperiode, Sammelperiode I + II (25.-35. LT), Experiment 2.

Diät	N-Aufnahme (mg/LM _{kg0,67})	N-Bilanz (mg/LM _{kg0,67})	NMR (mg/LM _{kg0,67})	N-Retention (mg/LM _{kg0,67})	NR _{maxT} (mg/LM _{kg0,67})	b-Wert (b*10 ⁶)
ILE	2660,1994	1630,8445	215	1845,8445	4516	198
ILE	2115,8867	1583,7406	215	1798,7406	4516	240
ILE	3505,2348	2144,8203	215	2359,8203	4516	211
ILE	2191,8064	1529,9110	215	1744,9110	4516	223
ILE	2872,6789	1933,2411	215	2148,2411	4516	225
ILE	2618,6772	1894,0861	215	2109,0861	4516	240
ILE II	1729,7794	1116,6838	215	1331,6838	4516	202
ILE	2542,7161	1615,5941	215	1830,5941	4516	204
ILE	1645,6400	1116,3810	215	1331,3810	4516	212
ILE	3037,4823	2094,3219	215	2309,3219	4516	236
ILE	2211,3180	1399,2347	215	1614,2347	4516	200
ILE	2776,9240	1833,8234	215	2048,8234	4516	218
ILE	2665,5225	1818,2328	215	2033,2328	4516	224
VAL I	1388,3165	832,4107	215	1047,4107	4516	190
VAL	2961,2289	1816,6842	215	2031,6842	4516	202
VAL	1868,4101	1199,3860	215	1414,3860	4516	201
VAL	2283,9035	1308,4666	215	1523,4666	4516	180
VAL	3643,9894	2181,6315	215	2396,6315	4516	208
VAL	2206,4754	1553,2618	215	1768,2618	4516	225
VAL	2595,2770	1564,3580	215	1779,3580	4516	193
VAL II	1848,4800	1062,2633	215	1277,2633	4516	180
VAL	2700,2653	1554,7168	215	1769,7168	4516	184
VAL	2283,1217	1351,8724	215	1566,8724	4516	187
VAL	2076,5117	1122,9758	215	1337,9758	4516	169
VAL	2960,2257	1607,7397	215	1822,7397	4516	175
VAL	2326,5784	1461,3621	215	1676,3621	4516	199
VAL	2344,2612	1318,9622	215	1533,9622	4516	177

Ausreißer

Futtermischungen: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung, **LYS** = BK abgesenkt in Lys (80%),
LEU = BK abgesenkt in Leu (80%), **ILE** = BK abgesenkt in Ile (67%), **VAL** = BK abgesenkt in Val (64%)

A-Tabelle 65: Einzelergebnisse der Ketosäuren-Analytik des Broiler-Blutplasmas. Experiment 2.

Probe	KIV			KIC			KMV						
	Mittel	SD	RSD	Mittel	SD	RSD	Mittel	SD	RSD				
	µmol/l Plasma			µmol/l Plasma			µmol/l Plasma						
4638 Huhn BK-1-1	1	12,039	11,944	0,135	1,131	22,861	22,655	0,292	1,289	15,601	15,399	0,286	1,860
	2	11,848											
4639 Huhn BK-1-2	1	18,312	18,384	0,102	0,554	23,033	22,857	0,250	1,092	18,778	18,903	0,176	0,931
	2	18,456											
4640 Huhn BK-1-3	1	15,344	15,392	0,068	0,441	21,603	21,795	0,272	1,246	14,897	15,042	0,204	1,359
	2	15,440											
4641 Huhn BK-1-4	1	13,650	13,662	0,017	0,124	18,138	18,296	0,223	1,217	13,552	13,587	0,049	0,364
	2	13,674											
4642 Huhn BK-1-5	1	9,021	8,946	0,106	1,186	13,648	13,773	0,176	1,278	9,119	9,156	0,052	0,571
	2	8,871											
4643 Huhn BK-2-1	1	8,602	8,621	0,026	0,303	15,611	15,631	0,028	0,181	10,870	10,946	0,107	0,975
	2	8,639											
4644 Huhn BK-2-2	1	8,161	8,247	0,121	1,466	14,572	14,612	0,057	0,387	11,819	11,821	0,002	0,018
	2	8,332											
4645 Huhn BK-2-3	1	10,475	10,497	0,030	0,290	14,842	14,812	0,042	0,286	11,810	11,770	0,057	0,487
	2	10,518											
4646 Huhn BK-2-4	1	8,894	8,874	0,028	0,319	12,952	12,873	0,112	0,868	11,022	10,932	0,128	1,171
	2	8,854											
4647 Huhn BK-2-5	1	9,913	10,197	0,401	3,932	20,580	20,810	0,325	1,560	13,844	14,292	0,634	4,433
	2	10,480											
4648 Huhn BK-3-1	1	7,415	7,135	0,396	5,550	10,859	10,332	0,745	7,213	9,708	9,319	0,550	5,903
	2	6,855											
4649 Huhn BK-3-2	1	6,915	6,956	0,058	0,834	9,619	9,701	0,116	1,195	7,603	7,660	0,080	1,043
	2	6,997											
4650 Huhn BK-3-3	1	12,964	12,964	0,001	0,005	20,316	20,275	0,059	0,289	14,116	14,060	0,079	0,563
	2	12,963											
4651 Huhn BK-3-4	1	6,552	6,626	0,104	1,569	7,438	7,374	0,091	1,227	6,336	6,356	0,028	0,434
	2	6,699											
4652 Huhn BK-3-5	1	7,590	7,602	0,016	0,214	7,553	7,513	0,057	0,762	7,658	7,517	0,199	2,653
	2	7,613											
4653 Huhn BK-4-1	1	7,117	7,060	0,081	1,142	9,709	9,697	0,017	0,175	8,140	8,042	0,139	1,723
	2	7,003											
4654 Huhn BK-4-2	1	7,668	7,697	0,041	0,533	13,310	13,320	0,014	0,106	10,493	10,496	0,004	0,034
	2	7,726											
4655 Huhn BK-4-3	1	11,700	11,686	0,020	0,169	18,542	18,538	0,006	0,034	13,141	13,133	0,012	0,092
	2	11,672											

Futtermischung: BK = AA-balancierte Kontrollmischung

A-Tabelle 65 (Fortsetzung): Einzelergebnisse der Ketosäuren-Analytik des Broiler-Blutplasmas. Experiment 2.

Probe		KIV			KIC			KMV					
		Mittel	SD	RSD	Mittel	SD	RSD	Mittel	SD	RSD			
		µmol/l Plasma			µmol/l Plasma			µmol/l Plasma					
4656 Huhn BK-4-4	1	8,871			14,511			10,614					
	2	9,129	9,000	0,182	2,027	15,007	14,759	0,351	2,376	10,736	10,675	0,086	0,808
4657 Huhn BK-4-5	1	8,133			15,550			10,341					
	2	8,076	8,105	0,040	0,497	16,002	15,776	0,320	2,026	10,192	10,267	0,105	1,026
4658 Huhn BK-5-1	1	10,277			21,600			13,874					
	2	10,039	10,158	0,168	1,657	21,764	21,682	0,116	0,535	13,493	13,684	0,269	1,969
4659 Huhn BK-5-2	1	6,827			11,388			7,336					
	2	6,658	6,743	0,120	1,772	11,676	11,532	0,204	1,766	7,190	7,263	0,103	1,421
4660 Huhn BK-5-3	1	9,130			15,896			10,396					
	2	9,376	9,253	0,174	1,880	15,927	15,912	0,022	0,138	10,568	10,482	0,122	1,160
4661 Huhn BK-5-4	1	9,008			18,323			10,887					
	2	9,732	9,370	0,512	5,464	18,358	18,341	0,025	0,135	12,054	11,471	0,825	7,194
4662 Huhn BK-5-5	1	6,170			12,060			7,432					
	2	6,118	6,144	0,037	0,598	12,314	12,187	0,180	1,474	7,598	7,515	0,117	1,562
4663 Huhn BK-6-1	1	7,949			15,457			11,838					
	2	8,401	8,175	0,320	3,910	15,045	15,251	0,291	1,910	12,266	12,052	0,303	2,511
4664 Huhn BK-6-2	1	10,263			22,041			14,714					
	2	10,418	10,341	0,110	1,060	21,980	22,011	0,043	0,196	14,965	14,840	0,177	1,196
4665 Huhn BK-6-3	1	7,112			14,750			10,143					
	2	6,940	7,026	0,122	1,731	14,593	14,672	0,111	0,757	9,901	10,022	0,171	1,707
4666 Huhn BK-6-4	1	9,200			20,905			12,069					
	2	8,989	9,095	0,149	1,641	20,583	20,744	0,228	1,098	11,656	11,863	0,292	2,462
4667 Huhn BK-6-5	1	8,071			12,454			11,110					
	2	7,501	7,786	0,403	5,177	12,439	12,447	0,011	0,085	10,792	10,951	0,225	2,053
4668 Huhn BK-7-1	1	5,712			13,364			8,631					
	2	5,732	5,722	0,014	0,247	13,170	13,267	0,137	1,034	8,669	8,650	0,027	0,311
4669 Huhn BK-7-2	1	5,682			10,546			7,281					
	2	5,802	5,742	0,085	1,478	10,449	10,498	0,069	0,653	7,275	7,278	0,004	0,058
4670 Huhn BK-7-3	1	9,804			15,658			12,204					
	2	9,613	9,709	0,135	1,391	15,604	15,631	0,038	0,244	12,088	12,146	0,082	0,675
4671 Huhn BK-7-4	1	10,196			23,699			13,462					
	2	9,758	9,977	0,310	3,104	23,806	23,709	0,092	0,390	13,034	13,248	0,303	2,284
	3				23,622								
4672 Huhn BK-7-5	1	12,187			23,287			14,275					
	2	11,822	12,005	0,258	2,150	23,197	23,242	0,064	0,274	13,677	13,976	0,423	3,026

Futtermischung: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung

A-Tabelle 65 (Fortsetzung): Einzelergebnisse der Ketosäuren-Analytik des Broiler-Blutplasmas. Experiment 2.

Probe		KIV			KIC			KMV					
		Mittel	SD	RSD	Mittel	SD	RSD	Mittel	SD	RSD			
		µmol/l Plasma			µmol/l Plasma			µmol/l Plasma					
4673 Huhn BK-8-1	1	8,317	8,275	0,059	0,718	20,056	19,976	0,113	0,566	12,950	12,964	0,020	0,153
	2	8,233				19,896				12,978			
4674 Huhn BK-8-2	1	7,387	7,290	0,137	1,882	22,499	22,460	0,055	0,246	12,252	12,181	0,101	0,830
	2	7,193				22,421				12,109			
4675 Huhn BK-8-3	1	6,754	7,044	0,409	5,813	21,023	20,687	0,475	2,297	10,287	10,578	0,412	3,890
	2	7,333				20,351				10,869			
4676 Huhn BK-8-4	1	11,039	11,132	0,131	1,175	23,175	23,046	0,183	0,795	13,107	13,088	0,028	0,211
	2	11,224				22,916				13,068			
4677 Huhn BK-8-5	1	13,729	13,562	0,236	1,741	27,214	27,253	0,055	0,202	17,800	17,560	0,339	1,933
	2	13,395				27,292				17,320			
4678 Huhn BK-2*-1	1	6,001	6,278	0,392	6,240	21,243	21,034	0,296	1,405	9,134	9,467	0,470	4,967
	2	6,555				20,825				9,799			
4679 Huhn BK-2*-2	1	8,598	8,575	0,033	0,379	24,716	24,766	0,070	0,283	10,519	10,554	0,049	0,469
	2	8,552				24,815				10,589			
4680 Huhn BK-2*-3	1	10,151	10,724	0,810	7,556	22,720	22,570	0,213	0,943	13,202	13,457	0,361	2,680
	2	11,297				22,419				13,712			
4680 Huhn BK-2*-4	1	9,064	8,867	0,279	3,142	25,352	25,075	0,392	1,565	11,705	11,331	0,529	4,668
	2	8,670				24,797				10,957			

Futtermischung: **BK** = AA-balancierte Kontrollmischung

Anhangs-Tabellen des Experiments 3

A-Tabelle 66: Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 3 zu Beginn der Adaptationsperiode. Starterperiode (04. Lebenstag).

Bucht	IAAR ¹ -1	IAAR ¹ -2	IAAR ¹ -3	IAAR ¹ -4	IAAR ¹ -5	IAAR ¹ -6	IAAR ¹ -7	IAAR ¹ -8
Tier 1	105	94	100	104	106	108	98	104
Tier 2	104	108	107	93	104	92	106	96
Tier 3	99	108	92	98	99	93	99	98
Tier 4	91	95	94	104	97	102	96	103
Tier 5	101	95	107	101	94	105	101	99
MW	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Bucht	IAAR*1	IAAR*2	IAAR*3	IAAR*4	IAAR*5	IAAR*6	IAAR*7	IAAR*8
Tier 1	95	100	108	99	95	102	101	107
Tier 2	95	98	101	96	100	104	108	98
Tier 3	103	91	97	102	109	99	96	103
Tier 4	93	99	92	95	102	103	97	101
Tier 5	114	112	102	108	94	92	98	91
MW	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Bucht	XPR-1	XPR-2	XPR-3	XPR-4	XPR-5	XPR-6	XPR-7	XPR-8
Tier 1	108	93	102	101	101	101	90	97
Tier 2	106	100	98	100	102	96	97	100
Tier 3	99	107	96	100	92	106	108	105
Tier 4	102	100	105	102	96	108	104	102
Tier 5	85	100	99	97	109	89	101	96
MW	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Bucht	XPR _{BCAA} 1	XPR _{BCAA} 2	XPR _{BCAA} 3	XPR _{BCAA} 4	XPR _{BCAA} 5	XPR _{BCAA} 6	XPR _{BCAA} 7	XPR _{BCAA} 8
Tier 1	100	98	99	102	99	104	93	97
Tier 2	109	100	104	109	106	108	102	97
Tier 3	97	96	102	95	102	94	105	107
Tier 4	105	96	103	96	101	99	98	98
Tier 5	89	110	92	98	92	95	102	101
MW	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Bucht	XPR _{Leu1} -1	XPR _{Leu1} -2	XPR _{Leu1} -3	XPR _{Leu1} -4	XPR _{Leu1} -5	XPR _{Leu1} -6	XPR _{Leu1} -7	XPR _{Leu1} -8
Tier 1	100	102	93	99	102	97	108	108
Tier 2	101	100	94	93	103	91	92	106
Tier 3	107	103	104	105	106	105	94	90
Tier 4	103	102	96	97	96	93	94	95
Tier 5	89	93	113	106	93	114	112	101
MW	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Bucht	XPR _{Leu} *1	XPR _{Leu} *2	XPR _{Leu} *3	XPR _{Leu} *4	XPR _{Leu} *5	XPR _{Leu} *6	XPR _{Leu} *7	XPR _{Leu} *8
Tier 1	102	106	104	100	97	95	101	101
Tier 2	100	97	94	105	108	105	93	100
Tier 3	95	96	99	95	93	108	103	104
Tier 4	104	96	101	108	97	100	109	94
Tier 5	99	105	102	92	105	92	94	101
MW	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR_{Leu}*** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 67: Auswahl der Null-Tiere für die Starterperiode am 10. Lebenstag und Angabe der LM nach 24-stündiger Nüchternung (11. Lebenstag). Experiment 3.

	LM (g) am 15.10.2012	LM (g) am 16.10.2012
Tier 1	319,0	278,0
Tier 2	322,0	280,5
Tier 3	318,0	283,5
Tier 4	318,0	283,5
Tier 5	312,0	262,5
<i>Summe</i>	1589,0	1388,0
<i>Mittelwert</i>	317,80	277,60
Tier 1	315,0	277,0
Tier 2	312,0	273,0
Tier 3	312,0	278,5
Tier 4	313,0	276,5
Tier 5	313,0	273,5
<i>Summe</i>	1565,0	1378,5
<i>Mittelwert</i>	313,00	275,70
Tier 1	269,0	237,0
Tier 2	268,0	226,5
Tier 3	268,0	230,0
Tier 4	267,0	241,0
Tier 5	268,0	239,0
<i>Summe</i>	1340,0	1173,5
<i>Mittelwert</i>	268,00	234,70
Tier 1	286,0	245,5
Tier 2	284,0	239,5
Tier 3	286,0	248,5
Tier 4	286,0	249,5
Tier 5	287,0	251,0
<i>Summe</i>	1429,0	1234,0
<i>Mittelwert</i>	285,80	246,80
Tier 1	283,0	245,5
Tier 2	282,0	250,5
Tier 3	282,0	247,0
Tier 4	282,0	248,5
Tier 5	281,0	242,0
<i>Summe</i>	1410,0	1233,5
<i>Mittelwert</i>	282,00	246,70
Tier 1	257,0	225,5
Tier 2	256,0	220,5
Tier 3	255,0	229,0
Tier 4	255,0	224,5
Tier 5	256,0	227,5
<i>Summe</i>	1279,0	1127,0
<i>Mittelwert</i>	255,80	225,40
Ges.Mittel	299,60	262,67

A-Tabelle 68: Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 3 zu Beginn der Starterperiode (10. Lebenstag).

Bucht	IAAR ¹ -1	IAAR ¹ -2	IAAR ¹ -3	IAAR ¹ -4	IAAR ¹ -5	IAAR ¹ -6	IAAR ¹ -7	IAAR ¹ -8
Tier 1	315	328	309	309	356	328	327	334
Tier 2	324	267	357	290	248	310	373	343
Tier 3	330	278	284	338	324	340	259	265
Tier 4	322	369	312	334	324	286	328	322
Tier 5	354	355	345	290	327	318	290	334
MW	329,0	319,4	321,4	312,2	315,8	316,4	315,4	319,6
Bucht	IAAR*1	IAAR*2	IAAR*3	IAAR*4	IAAR*5	IAAR*6	IAAR*7	IAAR*8
Tier 1	360	372	297	338	299	331	326	340
Tier 2	300	334	336	303	320	302	321	242
Tier 3	259	317	321	314	339	309	305	333
Tier 4	306	330	324	280	334	310	317	329
Tier 5	321	262	295	288	294	331	320	312
MW	309,2	323,0	314,6	304,6	317,2	316,6	317,8	311,2
Bucht	XPR-1	XPR-2	XPR-3	XPR-4	XPR-5	XPR-6	XPR-7	XPR-8
Tier 1	257	177	238	276	263	250	262	285
Tier 2	267	287	235	283	312	299	289	287
Tier 3	291	295	237	256	267	253	241	290
Tier 4	276	264	245	243	237	291	258	293
Tier 5	281	275	260	308	220	345	203	281
MW	274,4	259,6	243,0	273,2	259,8	287,6	250,6	287,2
Bucht	XPR _{BCAA} 1	XPR _{BCAA} 2	XPR _{BCAA} 3	XPR _{BCAA} 4	XPR _{BCAA} 5	XPR _{BCAA} 6	XPR _{BCAA} 7	XPR _{BCAA} 8
Tier 1	302	282	262	299	282	315	237	273
Tier 2	295	260	259	274	319	237	284	268
Tier 3	338	277	285	300	301	277	291	273
Tier 4	282	317	291	295	239	291	310	255
Tier 5	256	301	297	292	295	271	266	312
MW	294,6	287,4	278,8	292,0	287,2	278,2	277,6	276,2
Bucht	XPR _{Leu1} -1	XPR _{Leu1} -2	XPR _{Leu1} -3	XPR _{Leu1} -4	XPR _{Leu1} -5	XPR _{Leu1} -6	XPR _{Leu1} -7	XPR _{Leu1} -8
Tier 1	300	288	285	285	310	321	258	276
Tier 2	275	303	329	289	302	285	246	288
Tier 3	304	299	265	307	276	247	292	292
Tier 4	273	265	281	281	320	265	277	268
Tier 5	222	306	290	286	259	230	290	294
MW	274,8	292,2	290,0	289,6	293,4	269,6	272,6	283,6
Bucht	XPR _{Leu*} 1	XPR _{Leu*} 2	XPR _{Leu*} 3	XPR _{Leu*} 4	XPR _{Leu*} 5	XPR _{Leu*} 6	XPR _{Leu*} 7	XPR _{Leu*} 8
Tier 1	223	275	278	286	265	261	255	274
Tier 2	281	210	222	262	259	262	244	292
Tier 3	215	297	204	210	277	186	290	286
Tier 4	238	265	244	245	336	269	252	222
Tier 5	282	269	229	287	235	262	252	279
MW	247,8	263,2	235,4	258,0	274,4	248,0	258,6	270,6

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 69: Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 3 am Ende der Starterperiode (20. Lebenstag). Lebendmasse in g. Die Auswahl erfolgte nach der mittleren Lebendmasse der gesamten Behandlungsgruppe.

Bucht	IAAR ¹ -1	IAAR ¹ -2	IAAR ¹ -3	IAAR ¹ -4	IAAR ¹ -5	IAAR ¹ -6	IAAR ¹ -7	IAAR ¹ -8	Gruppen-MW
Tier 1	1021	1007	1164	1052	1177	962	899	1020	
Tier 2	1148	805	1043	901	1024	1037	912	1105	
Tier 3	1071	1077	1053	1174	1063	1110	945	1104	
Tier 4	1023	1193	1029	976	1013	1073	1074	872	
Tier 5	1084	940	911	1048	730	1205	1082	1215	
MW	1069	1004	1040	1030	1001	1077	982	1063	1034
Bucht	IAAR*1	IAAR*2	IAAR*3	IAAR*4	IAAR*5	IAAR*6	IAAR*7	IAAR*8	Gruppen-MW
Tier 1	1229	1161	1011	1034	954	1035	1093	845	
Tier 2	1074	1182	1051	974	902	988	1081	999	
Tier 3	1006	1182	1079	936	1060	1154	913	1095	
Tier 4	1099	1074	978	1017	988	1023	1011	1112	
Tier 5	876		1041		1046	976	999	1114	
MW	1057	1150	1032	990	990	1035	1019	1033	1037
Bucht	XPR-1	XPR-2	XPR-3	XPR-4	XPR-5	XPR-6	XPR-7	XPR-8	Gruppen-MW
Tier 1	936	743	779	576	590	716	800	960	
Tier 2	883	893	601	693	712	1050	892	878	
Tier 3	902	1023	671	777	876	1033	928	920	
Tier 4	902	482	588	932	939	858	702	915	
Tier 5	737		611	1020	711	776	505	945	
MW	872	785,25	650	799,6	765,6	886,6	765,4	923,6	807
Bucht	XPR _{BCAA} 1	XPR _{BCAA} 2	XPR _{BCAA} 3	XPR _{BCAA} 4	XPR _{BCAA} 5	XPR _{BCAA} 6	XPR _{BCAA} 7	XPR _{BCAA} 8	Gruppen-MW
Tier 1	936	945	1046	976	918	1053	993	850	
Tier 2	1062	1043	927	560	998	885	1045	1041	
Tier 3	966	970	796	948	953	907	911	844	
Tier 4	764	941	1032	1011	729	1011	683	823	
Tier 5	917	843		997	993	733		852	
MW	929	948	950,25	898,4	918,2	918	908	882	918
Bucht	XPR _{Leu1-} 1	XPR _{Leu1-} 2	XPR _{Leu1-} 3	XPR _{Leu1-} 4	XPR _{Leu1-} 5	XPR _{Leu1-} 6	XPR _{Leu1-} 7	XPR _{Leu1-} 8	Gruppen-MW
Tier 1	733	960	816	931	1059	684	970	993	
Tier 2	1020	994	879	932	814	991	745	840	
Tier 3	989	991	1135	864	952	619	813	898	
Tier 4		896	935	880	782	908	913	899	
Tier 5		957	994	810	784	827	866	856	
MW	914	960	951,8	883,4	878,2	806	861	897	893
Buch t	XPR _{Leu*} 1	XPR _{Leu*} 2	XPR _{Leu*} 3	XPR _{Leu*} 4	XPR _{Leu*} 5	XPR _{Leu*} 6	XPR _{Leu*} 7	XPR _{Leu*} 8	Gruppen-MW
Tier 1	729	850	745	838	725	567	820	921	
Tier 2	1012	838	598	765	1062	934	795	823	
Tier 3	671	973	751	579	919	950	710	956	
Tier 4	889	1016	676	969	665	876	646	675	
Tier 5		684	592	979	739	861	911	876	
MW	825,25	872	672,4	826	822	838	776	850	810

Ausgewählte Tiere für die Ganzkörperanalyse

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, **XPR_{Leu1-}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 70: Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 3 zu Beginn der Adaptationsperiode. Growerperiode (20. Lebenstag).

Bucht	IAAR ¹ -1	IAAR ¹ -2	IAAR ¹ -3	IAAR ¹ -4	IAAR ¹ -5	IAAR ¹ -6	IAAR ¹ -7	IAAR ¹ -8
Tier 1	740	770	727	844	784	776	758	882
Tier 2	824	829	780	762	876	761	795	844
Tier 3	748	885	867	831	802	930	738	879
Tier 4	819	721	871	820	808	897	893	870
MW	783	801	811	814	818	841	796	869
Bucht	IAAR*1	IAAR*2	IAAR*3	IAAR*4	IAAR*5	IAAR*6	IAAR*7	IAAR*8
Tier 1	910	826	756	921	769	727	781	897
Tier 2	765	804	868	765	798	758	792	799
Tier 3	727	867	720	837	824	940	799	778
Tier 4	814	830	745	920	928	802	771	865
MW	804	832	772	861	830	807	786	835
Bucht	XPR-1	XPR-2	XPR-3	XPR-4	XPR-5	XPR-6	XPR-7	XPR-8
Tier 1	823	795	738	930	791	875	751	777
Tier 2	792	849	829	778	774	854	785	897
Tier 3	819	798	793	801	863	831	750	729
Tier 4	809	868	928	744	820	738	851	803
MW	811	828	822	813	812	825	784	802
Bucht	XPR _{BCAA} 1	XPR _{BCAA} 2	XPR _{BCAA} 3	XPR _{BCAA} 4	XPR _{BCAA} 5	XPR _{BCAA} 6	XPR _{BCAA} 7	XPR _{BCAA} 8
Tier 1	899	924	769	758	754	839	781	859
Tier 2	801	774	780	802	741	752	857	821
Tier 3	911	822	901	910	828	881	880	891
Tier 4	725	789	753	745	990	738	800	729
MW	834	827	801	804	828	803	830	825
Bucht	XPR _{Leu1} .1	XPR _{Leu1} .2	XPR _{Leu1} .3	XPR _{Leu1} .4	XPR _{Leu1} .5	XPR _{Leu1} .6	XPR _{Leu1} .7	XPR _{Leu1} .8
Tier 1	773	804	742	890	929	802	871	873
Tier 2	801	738	733	820	719	832	759	900
Tier 3	762	896	876	874	802	845	828	809
Tier 4	925	827	856	781	731	719	897	886
MW	815	816	802	841	795	800	839	867
Bucht	XPR _{Leu} *1	XPR _{Leu} *2	XPR _{Leu} *3	XPR _{Leu} *4	XPR _{Leu} *5	XPR _{Leu} *6	XPR _{Leu} *7	XPR _{Leu} *8
Tier 1	840	865	907	908	832	871	757	877
Tier 2	745	809	848	866	750	802	790	768
Tier 3	869	723	830	802	768	793	895	744
Tier 4	801	805	770	778	858	829	804	861
MW	814	801	839	839	802	824	812	813

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR_{Leu}*** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 71: Einzeltierwägung (Lebendmasse in g) der Wachstumstiere in Experiment 3 zu Beginn der Growerperiode (25. Lebenstag).

Bucht	IAAR ¹ -1	IAAR ¹ -2	IAAR ¹ -3	IAAR ¹ -4	IAAR ¹ -5	IAAR ¹ -6	IAAR ¹ -7	IAAR ¹ -8
Tier 1	1209	1211	1219	1324	1296	1365	1302	1296
Tier 2	1218	1158	1359	1339	1252	1449	1207	1351
Tier 3	1287	1212	1211	1183	1153	1276	1155	1391
Tier 4	1091	1344	1098	1234	1176	1155	1121	1333
MW	1201,25	1231,25	1221,75	1270	1219,25	1311,25	1196,25	1342,75
Tier	IAAR*1	IAAR*2	IAAR*3	IAAR*4	IAAR*5	IAAR*6	IAAR*7	IAAR*8
Tier 1	1397	1317	1204	1264	1441	1151	1210	1185
Tier 2	1171	1264	1097	1348	1114	1247	1221	1242
Tier 3	1178	1198	1230	1211	1313	1409	1217	1197
Tier 4	1175	1295	1218	1389	1206	1226	1276	1372
MW	1230,25	1268,5	1187,25	1303	1268,5	1258,25	1231	1249
Tier	XPR-1	XPR-2	XPR-3	XPR-4	XPR-5	XPR-6	XPR-7	XPR-8
Tier 1	1243	1379	1180	1181	1245	1284	1223	1099
Tier 2	1257	1270	1382	1176	1158	1203	1385	1365
Tier 3	1243	1222	1241	1208	1249	1273	1062	1117
Tier 4	1151	1148	1068	1447	1137	1151	1234	1157
MW	1223,5	1254,75	1217,75	1253	1197,25	1227,75	1226	1184,5
Tier	XPR _{BCAA} 1	XPR _{BCAA} 2	XPR _{BCAA} 3	XPR _{BCAA} 4	XPR _{BCAA} 5	XPR _{BCAA} 6	XPR _{BCAA} 7	XPR _{BCAA} 8
Tier 1	1260	1386	1402	1353	1146	1188	1119	1228
Tier 2	1171	1003	1265	1262	1436	1125	1263	1071
Tier 3	1305	1215	1117	1124	1178	1097	1197	1102
Tier 4	1142	1221	1146	1245	1108	1340	1279	1373
MW	1219,5	1206,25	1232,5	1246	1217	1187,5	1214,5	1193,5
Tier	XPR _{Leu1} -1	XPR _{Leu1} -2	XPR _{Leu1} -3	XPR _{Leu1} -4	XPR _{Leu1} -5	XPR _{Leu1} -6	XPR _{Leu1} -7	XPR _{Leu1} -8
Tier 1	1153	1315	1265	1318	1240	1225	1126	1319
Tier 2	1107	1236	1143	1280	1112	1268	1283	1364
Tier 3	1268	1122	1246	1202	1101	1243	1287	1171
Tier 4	1168	1190	1089	1338	1339	1065	1218	1216
MW	1174	1215,75	1185,75	1284,5	1198	1200,25	1228,5	1267,5
Tier	XPR _{Leu*} 1	XPR _{Leu*} 2	XPR _{Leu*} 3	XPR _{Leu*} 4	XPR _{Leu*} 5	XPR _{Leu*} 6	XPR _{Leu*} 7	XPR _{Leu*} 8
Tier 1	1028	1125	1366	1154	1160	1300	1117	1098
Tier 2	1273	1275	1273	1377	1109	1249	1201	1272
Tier 3	1268	1320	1271	1250	1190	1209	1318	1202
Tier 4	1105	1049	1114	965	1196	1170	1177	1152
MW	1168,5	1192,25	1256	1186,5	1163,75	1232	1203,25	1181

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 72: Auswahl der Tiere für die Ganzkörperanalyse in Experiment 3 am Ende der Growerperiode (35. Lebenstag). Lebendmasse in g. Die Auswahl erfolgte nach der mittleren Lebendmasse der gesamten Behandlungsgruppe.

Bucht	IAAR ¹ -1	IAAR ¹ -2	IAAR ¹ -3	IAAR ¹ -4	IAAR ¹ -5	IAAR ¹ -6	IAAR ¹ -7	IAAR ¹ -8	Gruppen-MW
Tier 1	2475	2678	2329	2643	2466	2336	2363	2609	
Tier 2	2131	2025	2647	2721	2375	2645	2506	2601	
Tier 3	2247	2474	2314	2212	2163	2723	2355	2485	
Tier 4	2333	2229	2249	2375	2550	2715	2701	2742	
MW	2297	2352	2385	2488	2389	2605	2481	2609	2451
Bucht	XPR-1	XPR-2	XPR-3	XPR-4	XPR-5	XPR-6	XPR-7	XPR-8	Gruppen-MW
Tier 1	2451	2631	2326	2233	2381	2610	2425	1962	
Tier 2	2411	2577	2545	2608	2306	2794	2512	2575	
Tier 3	2361	2365	2583	2496	2830	2450	2473	2466	
Tier 4	2718	2558	1889	2445	2624	2189	2658	1691	
MW	2485	2533	2336	2446	2535	2511	2517	2174	2442
Bucht	XPR _{BCAA} -1	XPR _{BCAA} -2	XPR _{BCAA} -3	XPR _{BCAA} -4	XPR _{BCAA} -5	XPR _{BCAA} -6	XPR _{BCAA} -7	XPR _{BCAA} -8	Gruppen-MW
Tier 1	2170	2636	2171	2837	2081	2066	2067	2249	
Tier 2	2471	2455	1986	2302	2435	2194	2534	2263	
Tier 3	1859	2217	2712	2031	2292	2375	2595	2216	
Tier 4		2279	2295	2455	2530	2556	2378	2458	
MW	2167	2397	2291	2406	2335	2298	2394	2297	2328
Bucht	XPR _{Leu1} -1	XPR _{Leu1} -2	XPR _{Leu1} -3	XPR _{Leu1} -4	XPR _{Leu1} -5	XPR _{Leu1} -6	XPR _{Leu1} -7	XPR _{Leu1} -8	Gruppen-MW
Tier 1	2491	1901	2553	2467	2206	2126	2201	2270	
Tier 2	2510	2567	2627	2148	2769	2519	2327	2710	
Tier 3	2206	2348	2240	2295	2157	1798	2030	2051	
Tier 4	2327	2328	1952	2551	2282	2252	2437	2409	
MW	2384	2286	2343	2365	2354	2174	2249	2360	2314
Bucht	XPR _{Leu1} -1	XPR _{Leu1} -2	XPR _{Leu1} -3	XPR _{Leu1} -4	XPR _{Leu1} -5	XPR _{Leu1} -6	XPR _{Leu1} -7	XPR _{Leu1} -8	Gruppen-MW
Tier 1	2214	2309	1780	2230	2328	2187	2286	1970	
Tier 2	2192	2510	2401	2712	1728	2459	2308	2395	
Tier 3	2274	2455	2122	2269	2405	2475	1850	2598	
Tier 4	2258	2238	2146	2519	1998	2145	2341	2453	
MW	2235	2378	2112	2433	2115	2317	2196	2354	2267
Bucht	XPR _{Leu1} -1	XPR _{Leu1} -2	XPR _{Leu1} -3	XPR _{Leu1} -4	XPR _{Leu1} -5	XPR _{Leu1} -6	XPR _{Leu1} -7	XPR _{Leu1} -8	Gruppen-MW
Tier 1	2302	1994	2661	2624	2373	2420	2251	1995	
Tier 2	2343	2065	2388	1950	2410	2150	2501	2007	
Tier 3	1937	2501	2092	2474	2190	2281	2130	2174	
Tier 4	2030	2594	2468		2065	2340	2404	2218	
MW	2153	2289	2402	2349	2260	2298	2322	2099	2269

Für Ganzkörperanalyse ausgewählte Tiere.

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 73: Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 3. Starterperiode (10.-20. Lebensstag).

Proben Nummer	Proben Bezeichnung	% TS	% XA	% N in FS	% N in TS	% XP in FS	% XP in TS
4921	Starter IAAR ¹ Null	32,8193	7,7693	3,1113	9,4801	19,4456	59,2506
4922	Starter IAAR* Null	30,0560	8,3754	2,9469	9,8047	18,4181	61,2794
4923	Starter XPR Null	29,6527	8,4533	2,8729	9,6885	17,9556	60,5531
5184	Starter XPR _{BCAA} Null	29,8747	8,0945	2,8682	9,6008	17,9263	60,0047
5185	Starter XPR _{Leu1} Null	29,0575	8,1660	2,9101	10,0150	18,1881	62,5936
5186	Starter XPR _{Leu*} Null	29,6567	8,3093	3,0245	10,1984	18,9031	63,7399
4927	Starter-IAAR ¹ -1-4	31,1896	9,7735	2,9891	9,5836	18,6819	59,8978
4928	Starter- IAAR ¹ -3-2	32,3353	8,9628	3,1020	9,5932	19,3875	59,9576
4929	Starter- IAAR ¹ -3-4	31,9496	8,5609	3,0478	9,5394	19,0488	59,6212
4930	Starter- IAAR ¹ -5-2	32,1968	9,0277	3,0591	9,5012	19,1194	59,3828
4931	Starter- IAAR ¹ -6-2	33,1932	8,7839	3,0542	9,2013	19,0888	57,5081
4932	Starter-IAAR*-3-5	32,9411	8,0926	3,0768	9,3403	19,2300	58,3769
4933	Starter-IAAR*-4-1	33,2187	8,1970	3,0467	9,1717	19,0419	57,3228
4934	Starter-IAAR*-5-5	31,6383	8,8165	3,0623	9,6791	19,1394	60,4943
4935	Starter-IAAR*-6-1	32,5413	8,4092	3,0123	9,2569	18,8269	57,8554
4936	Starter-IAAR*-6-4	33,4050	8,2133	3,0198	9,0400	18,8738	56,4998
4937	Starter-XPR-3-1	31,4113	9,4854	2,8450	9,0573	17,7813	56,6079
4938	Starter-XPR-4-3	33,0411	8,7682	2,8211	8,5382	17,6319	53,3634
4939	Starter-XPR-6-4	33,1357	9,1911	2,8207	8,5126	17,6294	53,2036
4940	Starter-XPR-6-5	32,6135	9,9873	2,8222	8,6535	17,6388	54,0841
4941	Starter-XPR-7-1	34,4635	8,6481	2,9141	8,4556	18,2131	52,8475
4942	Starter-XPR _{BCAA} -1-5	34,0721	8,4923	2,8171	8,2680	17,6069	51,6753
4943	Starter-XPR _{BCAA} -3-2	34,5572	8,6075	2,9106	8,4226	18,1913	52,6410
4944	Starter-XPR _{BCAA} -5-1	34,6893	8,4164	2,9216	8,4222	18,2600	52,6387
4945	Starter-XPR _{BCAA} -6-1	34,3770	7,8641	2,8968	8,4266	18,1050	52,6660
4946	Starter-XPR _{BCAA} -7-3	35,4099	7,8665	2,8029	7,9156	17,5181	49,4723
4947	Starter-XPR _{Leu1} -2-4	36,0966	7,9103	2,9297	8,1163	18,3106	50,7267
4948	Starter- XPR _{Leu1} -4-4	34,5804	8,4028	2,8131	8,1350	17,5819	50,8434
4949	Starter- XPR _{Leu1} -6-4	33,7579	8,1486	2,8242	8,3660	17,6513	52,2877
4950	Starter- XPR _{Leu1} -8-3	36,0569	7,6427	2,7404	7,6002	17,1275	47,5013
4951	Starter- XPR _{Leu1} -8-4	34,0464	8,3901	2,7264	8,0079	17,0400	50,0493

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR¹, **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 73 (Fortsetzung): Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 3. Starterperiode (10.-20. Lebenstag).

Proben Nummer	Proben Bezeichnung	% TS	% XA	% N		% XP	
				in FS	in TS	in FS	in TS
4952	Starter-XPR _{LEU} [*] -2-2	34,0172	8,8271	2,7389	8,0515	17,1181	50,3219
4953	Starter-XPR _{LEU} [*] -4-1	33,6024	8,7553	2,8825	8,5783	18,0156	53,6141
4954	Starter-XPR _{LEU} [*] -7-1	35,3287	7,7557	2,7850	7,8831	17,4063	49,2694
4955	Starter-XPR _{LEU} [*] -7-2	35,6213	8,1556	2,8179	7,9107	17,6119	49,4419
4956	Starter-XPR _{LEU} [*] -8-2	35,6336	8,4942	2,8180	7,9083	17,6125	49,4267

Futtermischungen: **IAAR**¹ = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR**^{*} = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR**_{BCAA} = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR¹, **XPR**_{Leu¹} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR**_{Leu^{*}} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR^{*}

A-Tabelle 74: Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 3. Growerperiode (25.-35. Lebenstag).

Proben Nummer	Proben Bezeichnung	% TS	% XA	% N in FS	% N in TS	% XP in FS	% XP in TS
4924	Grower Null 1/6	31,2213	8,5151	3,1595	10,1197	19,7469	63,2482
4925	Grower Null 2/6	30,9656	9,1443	2,9888	9,6520	18,6800	60,3251
4926	Grower Null 3/6	33,3236	7,7328	3,0747	9,2268	19,2169	57,6675
5187	Grower Null 4/6			Reservetier			
5188	Grower Null 5/6	32,6905	8,4613	2,9007	8,8732	18,1294	55,4576
5189	Grower Null 6/6	29,9168	9,7436	2,8882	9,6541	18,0513	60,3382
4957	Grower-IAAR ¹ -1-1	36,0657	7,6296	2,9120	8,0742	18,2000	50,4635
4958	Grower-IAAR ¹ -2-3	34,5351	7,5962	2,9902	8,6584	18,6888	54,1153
4959	Grower-IAAR ¹ -5-1	35,5716	7,4045	3,0844	8,6710	19,2775	54,1935
4960	Grower-IAAR ¹ -7-2	35,3369	7,0895	3,4544	9,7756	21,5900	61,0976
4961	Grower-IAAR ¹ -8-3	34,2606	7,2677	3,0972	9,0401	19,3575	56,5007
4962	Grower-IAAR*-1-1	35,5701	6,8780	3,0037	8,4444	18,7731	52,7778
4963	Grower-IAAR*-4-4	35,9039	7,3963	3,0637	8,5331	19,1481	53,3316
4964	Grower-IAAR*-6-3	35,5549	7,0381	3,0317	8,5268	18,9481	53,2926
4965	Grower-IAAR*-7-1	35,4867	7,1907	3,0000	8,4539	18,7500	52,8366
4966	Grower-IAAR*-8-3	35,5450	7,6153	3,0584	8,6043	19,1150	53,7769
4967	Grower-XPR-3-4	38,2638	6,7367	3,3159	8,6659	20,7244	54,1618
4968	Grower-XPR-4-2	37,6359	6,8403	3,1189	8,2870	19,4931	51,7940
4969	Grower-XPR-5-3	37,4936	6,9887	3,2787	8,7447	20,4919	54,6544
4970	Grower-XPR-6-3	38,1433	6,6059	3,1143	8,1647	19,4644	51,0295
4971	Grower-XPR-7-4	37,9548	6,8358	3,3619	8,8576	21,0119	55,3603
4972	Grower-XPR _{BCAA} -1-4	35,6993	7,9389	3,3538	9,3946	20,9613	58,7161
4973	Grower-XPR _{BCAA} -2-3	37,3128	6,9020	3,0610	8,2036	19,1313	51,2726
4974	Grower-XPR _{BCAA} -2-4	37,8927	7,0832	2,8768	7,5920	17,9800	47,4497
4975	Grower-XPR _{BCAA} -4-3	36,0691	7,3997	3,3170	9,1962	20,7313	57,4765
4976	Grower-XPR _{BCAA} -7-2	37,4611	7,0516	3,1510	8,4114	19,6938	52,5712
4977	Grower-XPR _{Leu1} -1-3	35,8750	7,9659	2,9067	8,1023	18,1669	50,6394
4978	Grower- XPR _{Leu1} -1-4	34,5762	7,3995	3,2530	9,4082	20,3313	58,8013
4979	Grower- XPR _{Leu1} -2-5	36,9719	6,5026	2,8598	7,7351	17,8738	48,3441
4980	Grower- XPR _{Leu1} -4-3	39,2768	6,3896	3,0195	7,6877	18,8719	48,0484
4981	Grower- XPR _{Leu1} -7-1	39,6053	6,4158	3,0269	7,6427	18,9181	47,7667

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR¹, **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 74 (Fortsetzung): Nährstoffanalyse der Ganzkörpertiere aus dem Wachstumsversuch in Experiment 3. Growerperiode (25.-35. Lebenstag).

Proben Nummer	Proben Bezeichnung	% TS	% XA	% N in FS	% N in TS	% XP in FS	% XP in TS
4982	Grower-XPR _{LEU} [*] -1-1	35,7799	7,5760	2,8491	7,9629	17,8069	49,7678
4983	Grower-XPR _{LEU} [*] -6-3	32,2834	7,4726	3,0724	9,5170	19,2025	59,4810
4984	Grower-XPR _{LEU} [*] -6-4	34,8046	7,3063	3,0356	8,7218	18,9725	54,5115
4985	Grower-XPR _{LEU} [*] -7-1	36,3584	7,3448	2,9357	8,0743	18,3481	50,4646
4986	Grower-XPR _{LEU} [*] -8-4	38,0247	6,9282	2,9596	7,7834	18,4975	48,6460

Futtermischungen: **IAAR**¹ = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR**^{*} = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR**_{BCAA} = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR¹, **XPR**_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR**_{Leu}^{*} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR^{*}

A-Tabelle 75: N-Ansatz im Tierkörper während der Starterperiode (10.-20. LT) und daraus ermittelte *b*-Werte. Experiment 3.

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
IAAR ¹ -1	3444,3295	113	3557,3295	4706	3973,6570	354,8955
IAAR ¹ -2	3348,2527	113	3461,2527	4706	3907,4856	340,3482
IAAR ¹ -3	3409,3037	113	3522,3037	4706	3863,8490	357,2076
IAAR ¹ -4	3413,6909	113	3526,6909	4706	4071,8870	339,8693
IAAR ¹ -5	3351,4304	113	3464,4304	4706	3898,4717	341,7908
IAAR ¹ -6	3488,6210	113	3601,6210	4706	3977,4540	364,4430
IAAR ¹ -7	3316,4627	113	3429,4627	4706	3957,8613	329,6445
IAAR ¹ -8	3455,6252	113	3568,6252	4706	4001,3586	354,9083

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
IAAR*-1	3523,0258	113	3636,0258	4706	4034,8344	367,1040
IAAR*-2	3653,7551	113	3766,7551	4706	4308,3121	374,0484
IAAR*-3	3464,1447	113	3577,1447	4706	4077,8695	350,0931
IAAR*-4	3410,3667	113	3523,3667	4706	3851,0851	358,6248
IAAR*-5	3378,3512	113	3491,3512	4706	3974,9976	340,7256
IAAR*-6	3465,1709	113	3578,1709	4706	3886,6435	367,5520
IAAR*-7	3432,7295	113	3545,7295	4706	3914,0909	357,7293
IAAR*-8	3474,3842	113	3587,3842	4706	3867,8649	371,4572

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
XPR-1	2971,9969	113	3084,9969	4706	3258,6272	327,0681
XPR-2	2836,9999	113	2949,9999	4706	3540,6358	278,4245
XPR-3	2581,6114	113	2694,6114	4706	2839,8894	299,3120
XPR-4	2830,5913	113	2943,5913	4706	3424,7428	286,7827
XPR-5	2795,1218	113	2908,1218	4706	3006,2328	320,0787
XPR-6	2966,6768	113	3079,6768	4706	3271,5274	324,7769
XPR-7	2819,8226	113	2932,8226	4706	2785,1988	350,4472
XPR-8	3037,4000	113	3150,4000	4706	3395,3633	326,0261

Futtermischungen: IAAR¹ = IAAR_{BCAA} Exp.3, IAAR* = IAAR_{BCAA} Referenz, XPR = wie IAAR¹, aber -XP, XPR_{BCAA} = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, XPR_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, XPR_{Leu*} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 75 (Fortsetzung): N-Ansatz im Tierkörper während der Starterperiode (10.-20. LT) und daraus ermittelte *b*-Werte. Experiment 3.

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
XPR _{BCAA} -1	3097,1085	113	3210,1085	4706	3361,8498	340,9183
XPR _{BCAA} -2	3151,2692	113	3264,2692	4706	3500,7897	337,9220
XPR _{BCAA} -3	3176,2075	113	3289,2075	4706	3610,5828	332,4790
XPR _{BCAA} -4	3045,1152	113	3158,1152	4706	3231,6629	344,0795
XPR _{BCAA} -5	3095,1514	113	3208,1514	4706	3364,5314	340,2579
XPR _{BCAA} -6	3117,1614	113	3230,1614	4706	3395,6861	341,4956
XPR _{BCAA} -7	3100,0714	113	3213,0714	4706	2734,1327	419,9133
XPR _{BCAA} -8	3053,5050	113	3166,5050	4706	3446,2056	324,2360

Bucht Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
XPR _{Leu1} -1	3058,8053	113	3171,8053	4706	2478,8622	452,1561
XPR _{Leu1} -2	3099,3457	113	3212,3457	4706	3647,6424	314,6176
XPR _{Leu1} -3	3090,5809	113	3203,5809	4706	3486,9250	327,4409
XPR _{Leu1} -4	2963,6023	113	3076,6023	4706	3450,9170	307,3467
XPR _{Leu1} -5	2944,0585	113	3057,0585	4706	3310,6519	316,7668
XPR _{Leu1} -6	2860,6186	113	2973,6186	4706	3182,3475	314,0265
XPR _{Leu1} -7	2964,1136	113	3077,1136	4706	3251,5169	326,2913
XPR _{Leu1} -8	3005,0395	113	3118,0395	4706	3419,2261	317,7291

Box Nr.	N [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NMR [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NR _{max} T [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	NI [mg/LM _{kg} ^{0,67}]	<i>b</i> -Wert [<i>b</i> · 10 ⁶]
XPR _{Leu*} -1	2956,1448	113	3069,1448	4706	3938,1197	268,1639
XPR _{Leu*} -2	3007,2282	113	3120,2282	4706	3471,7046	313,3236
XPR _{Leu*} -3	2662,0207	113	2775,0207	4706	3125,2594	285,0359
XPR _{Leu*} -4	2930,2638	113	3043,2638	4706	3591,6448	289,6650
XPR _{Leu*} -5	2878,9946	113	2991,9946	4706	3643,3358	277,2199
XPR _{Leu*} -6	2980,0897	113	3093,0897	4706	3426,0739	312,5438
XPR _{Leu*} -7	2826,8443	113	2939,8443	4706	3322,3253	294,9841
XPR _{Leu*} -8	2945,1941	113	3058,1941	4706	3451,0693	304,0778

Ausreißer

Futtermischungen: IAAR¹ = IAAR_{BCAA} Exp.3, IAAR* = IAAR_{BCAA} Referenz, XPR = wie IAAR¹, aber -XP, XPR_{BCAA} = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR¹, XPR_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, XPR_{Leu*} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 76: N-Ansatz im Tierkörper während der Growerperiode (25.-35. LT) und daraus ermittelte *b*-Werte. Experiment 3.

Bucht	N	NMR	N-Retention	NR _{max} T	NI	<i>b</i> -Wert
Nr.	[mg/LM _{kg} ^{0,67}]	[<i>b</i> · 10 ⁶]				
IAAR ¹ -1	2288,0431	215	2503,0431	4516	4146,6005	194,8637
IAAR ¹ -2	2303,2143	215	2518,2143	4516	3950,3965	206,4570
IAAR ¹ -3	2374,1870	215	2589,1870	4516	3988,2334	213,5681
IAAR ¹ -4	2417,4470	215	2632,4470	4516	4197,3359	208,3385
IAAR ¹ -5	2385,3714	215	2600,3714	4516	3811,3647	225,0062
IAAR ¹ -6	2493,8052	215	2708,8052	4516	4065,5663	225,2702
IAAR ¹ -7	2572,1256	215	2787,1256	4516	4001,0416	239,9765
IAAR ¹ -8	2433,0589	215	2648,0589	4516	4051,7847	217,8768

Bucht	N	NMR	N-Retention	NR _{max} T	NI	<i>b</i> -Wert
Nr.	[mg/LM _{kg} ^{0,67}]	[<i>b</i> · 10 ⁶]				
IAAR*-1	2439,9052	215	2654,9052	4516	3991,2331	222,1022
IAAR*-2	2423,0574	215	2638,0574	4516	3734,9033	234,9324
IAAR*-3	2319,3176	215	2534,3176	4516	3905,8020	210,8864
IAAR*-4	2223,6253	215	2438,6253	4516	3776,1869	205,6365
IAAR*-5	2426,5685	215	2641,5685	4516	4023,2228	218,5614
IAAR*-6	2414,4106	215	2629,4106	4516	3977,6977	219,4375
IAAR*-7	2483,1080	215	2698,1080	4516	4054,6623	224,4204
IAAR*-8	1930,0177	215	2145,0177	4516	3531,7813	182,4355

Bucht	N	NMR	N-Retention	NR _{max} T	NI	<i>b</i> -Wert
Nr.	[mg/LM _{kg} ^{0,67}]	[<i>b</i> · 10 ⁶]				
XPR-1	2234,8550	215	2449,8550	4516	3253,0721	240,3703
XPR-2	2529,3737	215	2744,3737	4516	3344,0954	279,8152
XPR-3	2449,3772	215	2664,3772	4516	3202,5030	278,3961
XPR-4	2547,8503	215	2762,8503	4516	3306,6751	286,1523
XPR-5	2565,0798	215	2780,0798	4516	3367,4764	283,9186
XPR-6	2436,9800	215	2651,9800	4516	3213,8986	275,3326
XPR-7	2589,7404	215	2804,7404	4516	3423,2059	283,4761
XPR-8	2535,4222	215	2750,4222	4516	3376,7307	278,1236

Ausreißer

Futtermischungen: IAAR¹ = IAAR_{BCAA} Exp.3, IAAR* = IAAR_{BCAA} Referenz, XPR = wie IAAR¹, aber -XP, XPR_{BCAA} = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, XPR_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, XPR_{Leu*} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 76 (Fortsetzung): N-Ansatz im Tierkörper während der Growerperiode (25.-35. LT) und daraus ermittelte *b*-Werte. Experiment 3.

Bucht	N	NMR	N-Retention	NR _{max} T	NI	<i>b</i> -Wert
Nr.	[mg/LM _{kg} ^{0,67}]	[<i>b</i> · 10 ⁶]				
XPR _{BCAA} -1	2486,4013	215	2701,4013	4516	3535,1396	257,9141
XPR _{BCAA} -2	2367,3224	215	2582,3224	4516	3469,1843	244,4964
XPR _{BCAA} -3	2395,3218	215	2610,3218	4516	3259,5849	264,6928
XPR _{BCAA} -4	2398,7555	215	2613,7555	4516	3400,6166	254,2457
XPR _{BCAA} -5	2446,6347	215	2661,6347	4516	3685,4523	241,5129
XPR _{BCAA} -6	2232,6531	215	2447,6531	4516	3341,4521	233,6939
XPR _{BCAA} -7	2289,8778	215	2504,8778	4516	3552,3378	227,7187
XPR _{BCAA} -8	2510,3689	215	2725,3689	4516	3577,9120	258,5470

Bucht	N	NMR	N-Retention	NR _{max} T	NI	<i>b</i> -Wert
Nr.	[mg/LM _{kg} ^{0,67}]	[<i>b</i> · 10 ⁶]				
XPR _{Leu1} -1	2158,5948	215	2373,5948	4516	3477,4985	214,4350
XPR _{Leu1} -2	2278,2514	215	2493,2514	4516	3832,6613	209,5592
XPR _{Leu1} -3	1939,9918	215	2154,9918	4516	3072,7221	211,0630
XPR _{Leu1} -4	2205,8562	215	2420,8562	4516	3674,3534	209,0176
XPR _{Leu1} -5	1915,7004	215	2130,7004	4516	3004,5462	212,4454
XPR _{Leu1} -6	2222,4162	215	2437,4162	4516	3632,6003	213,6045
XPR _{Leu1} -7	1975,0691	215	2190,0691	4516	3154,5700	210,3318
XPR _{Leu1} -8	2128,0730	215	2343,0730	4516	3253,0191	224,8839

Bucht	N	NMR	N-Retention	NR _{max} T	NI	<i>b</i> -Wert
Nr.	[mg/LM _{kg} ^{0,67}]	[<i>b</i> · 10 ⁶]				
XPR _{Leu*} -1	2017,2703	215	2232,2703	4516	3393,2095	200,9356
XPR _{Leu*} -2	2170,3120	215	2385,3120	4516	3577,8260	209,9548
XPR _{Leu*} -3	2195,4696	215	2410,4696	4516	3319,5139	229,8708
XPR _{Leu*} -4	2273,3863	215	2488,3863	4516	2887,6060	277,3118
XPR _{Leu*} -5	2191,9674	215	2406,9674	4516	2934,2334	259,4876
XPR _{Leu*} -6	2094,6062	215	2309,6062	4516	3826,7947	187,1716
XPR _{Leu*} -7	2194,5410	215	2409,5410	4516	3556,2295	214,4457
XPR _{Leu*} -8	1901,8447	215	2116,8447	4516	3322,3997	190,3774

Ausreißer

Futtermischungen: **IAAR**¹ = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR**_{BCAA} = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, **XPR**_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR**_{Leu*} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 77: N-Aufnahme im Wachstumsversuch während der Starterperiode (1.-21. Lebenstag). Experiment 3.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d (mg)	N-Aufn. (mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM (LM _{kg} ^{0,67})
IAAR¹-1	87,88	87880	92,80	81,55	81551,19	3,83	3126,22	3973,1594760	0,79
IAAR¹-2	83,30	83300	92,80	77,30	77301,02	3,83	2963,29	3906,9963567	0,76
IAAR¹-3	83,93	83930	92,80	77,89	77885,65	3,83	2985,70	3863,3652611	0,77
IAAR¹-4	87,62	87620	92,80	81,31	81309,91	3,83	3116,97	4071,3772350	0,77
IAAR¹-5	82,83	82830	92,80	76,86	76864,87	3,83	2946,57	3897,9835755	0,76
IAAR¹-6	87,77	87770	92,80	81,45	81449,11	3,83	3122,30	3976,9560110	0,79
IAAR¹-7	83,26	83260	92,80	77,26	77263,90	3,83	2961,87	3957,3658164	0,75
IAAR¹-8	87,83	87830	92,80	81,50	81504,79	3,83	3124,44	4000,8576685	0,78
IAAR*-1	87,69	87690	92,97	81,53	81526,52	3,83	3125,66	4035,3396647	0,77
IAAR*-2	98,48	98475	92,97	91,55	91553,48	3,83	3510,09	4308,8515628	0,81
IAAR*-3	87,78	87780	92,97	81,610	81610,20	3,83	3128,87	4078,3801322	0,77
IAAR*-4	80,75	80750	92,97	75,074	75074,32	3,83	2878,29	3851,5672639	0,75
IAAR*-5	83,88	83880	92,97	77,984	77984,32	3,83	2989,86	3975,4953543	0,75
IAAR*-6	83,88	83880	92,97	77,984	77984,32	3,83	2989,86	3887,1301346	0,77
IAAR*-7	83,86	83860	92,97	77,97	77965,72	3,83	2989,14	3914,5810220	0,76
IAAR*-8	83,16	83160	92,97	77,31	77314,92	3,83	2964,19	3868,3491731	0,77
XPR-1	77,70	77700	92,64	71,98	71980,12	3,12	2244,40	3258,6271622	0,69
XPR-2	79,34	79338	92,64	73,50	73497,07	3,12	2291,70	3540,6358311	0,65
XPR-3	57,28	57280	92,64	53,06	53063,34	3,12	1654,56	2839,8893898	0,58
XPR-4	78,11	78110	92,64	72,36	72359,94	3,12	2256,24	3424,7427791	0,66
XPR-5	66,52	66520	92,64	61,62	61623,13	3,12	1921,46	3006,2328355	0,64
XPR-6	79,27	79270	92,64	73,43	73434,54	3,12	2289,75	3271,5273890	0,70
XPR-7	61,25	61250	92,64	56,74	56741,08	3,12	1769,23	2785,1988168	0,64
XPR-8	83,98	83980	92,64	77,80	77797,82	3,12	2425,80	3395,3632785	0,71

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 77 (Fortsetzung): N-Aufnahme im Wachstumsversuch während der Starterperiode (1.-21. Lebenstag). Experiment 3.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d (mg)	N-Aufn. (mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol.LM (LM _{kg} ^{0,67})
XPR _{BCAA} -1	83,69	83690	92,68	77,56	77562,63	3,12	2418,84	3361,8498065	0,72
XPR _{BCAA} -2	87,73	87730	92,68	81,31	81306,85	3,12	2535,60	3500,7897153	0,72
XPR _{BCAA} -3	90,15	90150	92,68	83,55	83549,66	3,12	2605,55	3610,5828484	0,72
XPR _{BCAA} -4	78,98	78980	92,68	73,20	73197,48	3,12	2282,71	3231,6629348	0,71
XPR _{BCAA} -5	82,92	82920	92,68	76,85	76849,01	3,12	2396,58	3364,5313631	0,71
XPR _{BCAA} -6	83,25	83250	92,68	77,15	77154,85	3,12	2406,12	3395,6860835	0,71
XPR _{BCAA} -7	66,64	66640	92,68	61,76	61760,95	3,12	1926,05	2734,1326660	0,70
XPR _{BCAA} -8	82,69	82690	92,68	76,64	76635,85	3,12	2389,93	3446,2056435	0,69
XPR _{Leu} 1-1	60,73	60730	92,38	56,10	56101,65	3,12	1749,38	2478,8621784	0,71
XPR _{Leu} 1-2	92,51	92510	92,38	85,46	85459,64	3,12	2664,84	3647,6424397	0,73
XPR _{Leu} 1-3	87,96	87960	92,38	81,26	81256,40	3,12	2533,77	3486,9249913	0,73
XPR _{Leu} 1-4	83,79	83790	92,38	77,40	77404,20	3,12	2413,65	3450,9170162	0,70
XPR _{Leu} 1-5	80,32	80320	92,38	74,20	74198,66	3,12	2313,69	3310,6519092	0,70
XPR _{Leu} 1-6	72,90	72900	92,38	67,34	67344,15	3,12	2099,95	3182,3474949	0,66
XPR _{Leu} 1-7	77,18	77180	92,38	71,30	71297,96	3,12	2223,24	3251,5169430	0,68
XPR _{Leu} 1-8	83,39	83390	92,38	77,03	77034,69	3,12	2402,13	3419,2260747	0,70
XPR _{Leu} -1	89,48	89475	92,99	83,21	83207,04	3,12	2594,86	3938,1196643	0,66
XPR _{Leu} -2	81,92	81920	92,99	76,18	76181,29	3,12	2375,76	3471,7045717	0,68
XPR _{Leu} -3	63,48	63480	92,99	59,03	59033,06	3,12	1840,98	3125,2594172	0,59
XPR _{Leu} -4	82,16	82160	92,99	76,40	76404,48	3,12	2382,72	3591,6448447	0,66
XPR _{Leu} -5	83,98	83980	92,99	78,10	78096,98	3,12	2435,50	3643,3357578	0,67
XPR _{Leu} -6	78,45	78450	92,99	72,95	72954,37	3,12	2275,13	3426,0739492	0,66
XPR _{Leu} -7	73,68	73680	92,99	68,52	68518,52	3,12	2136,79	3322,3253255	0,64
XPR _{Leu} -8	80,73	80730	92,99	75,07	75074,65	3,12	2341,25	3451,0693331	0,68

Futtermischungen: **IAAR**¹ = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR**_{BCAA} = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, **XPR**_{Leu}1 = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR**_{Leu}* = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 78: N-Aufnahme im Wachstumsversuch während der Growerperiode (25.-35. Lebenstag). Experiment 3.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d (mg)	N-Aufn. (mg)/LM _{kg} ^{0,67}	Metabol .LM (LM _{kg} ^{0,67})
IAAR¹-1	185,54	185537,5	92,79	172,16	172161,15	3,50	6030,32	4146,6005155	1,45
IAAR¹-2	179,63	179625,0	92,79	166,67	166674,91	3,50	5838,16	3950,3965438	1,48
IAAR¹-3	182,15	182150,0	92,79	169,02	169017,87	3,50	5920,22	3988,2334137	1,48
IAAR¹-4	197,05	197050,0	92,79	182,84	182843,65	3,50	6404,50	4197,3359099	1,53
IAAR¹-5	174,11	174112,5	92,79	161,56	161559,84	3,50	5658,99	3811,3647176	1,48
IAAR¹-6	196,21	196212,5	92,79	182,07	182066,53	3,50	6377,28	4065,5662569	1,57
IAAR¹-7	185,14	185137,5	92,79	171,79	171789,99	3,50	6017,32	4001,0416105	1,50
IAAR¹-8	196,75	196750,0	92,79	182,57	182565,28	3,50	6394,75	4051,7847319	1,58
IAAR*-1	185,46	185462,5	93,03	172,54	172537,49	3,50	6044,06	3991,2331073	1,51
IAAR*-2	176,23	176225,0	93,03	163,94	163943,75	3,50	5743,02	3734,9032889	1,54
IAAR*-3	175,14	175137,5	93,03	162,932	162932,04	3,50	5707,57	3905,8020305	1,46
IAAR*-4	176,51	176512,5	93,03	164,211	164211,22	3,50	5752,38	3776,1869111	1,52
IAAR*-5	189,91	189912,5	93,03	176,677	176677,36	3,50	6189,08	4023,2228181	1,54
IAAR*-6	186,61	186612,5	93,03	173,607	173607,34	3,50	6081,53	3977,6976675	1,53
IAAR*-7	189,51	189512,5	93,03	176,31	176305,24	3,50	6176,04	4054,6623312	1,52
IAAR*-8	155,33	155325,0	93,03	144,50	144500,29	3,50	5061,90	3531,7812610	1,43
XPR-1	179,73	179733,3	92,55	166,33	166334,69	2,79	4632,89	3253,0720897	1,42
XPR-2	194,19	194187,5	92,55	179,71	179711,34	2,79	5005,46	3344,0953976	1,50
XPR-3	181,06	181062,5	92,55	167,56	167564,77	2,79	4667,15	3202,5030294	1,46
XPR-4	192,29	192287,5	92,55	177,95	177952,98	2,79	4956,49	3306,6750639	1,50
XPR-5	191,23	191225,0	92,55	176,97	176969,68	2,79	4929,10	3367,4764126	1,46
XPR-6	182,29	182287,5	92,55	168,70	168698,45	2,79	4698,72	3213,8985888	1,46
XPR-7	197,61	197612,5	92,55	182,88	182881,01	2,79	5093,75	3423,2059244	1,49
XPR-8	189,90	189900,0	92,55	175,74	175743,46	2,79	4894,95	3376,7307367	1,45

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 78 (Fortsetzung): N-Aufnahme im Wachstumsversuch während der Growerperiode (25.-35. Lebenstag). Experiment 3.

Diät	FA/d (g)	FA/d (mg)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	FA/d in TS (mg)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn./d (mg)	N-Aufn. (mg)/LM _{kg} ^{0,67}	metabol. LM (LM _{kg} ^{0,67})
XPR _{BCAA} -1	203,68	203675,0	92,43	188,25	188251,23	2,79	5244,23	3535,1395895	1,48
XPR _{BCAA} -2	195,74	195737,5	92,43	180,91	180914,82	2,79	5039,85	3469,1842535	1,45
XPR _{BCAA} -3	186,84	186837,5	92,43	172,69	172688,79	2,79	4810,70	3259,5849289	1,48
XPR _{BCAA} -4	196,23	196225,0	92,43	181,37	181365,40	2,79	5052,40	3400,6166259	1,49
XPR _{BCAA} -5	211,05	211050,0	92,43	195,07	195067,74	2,79	5434,12	3685,4523392	1,47
XPR _{BCAA} -6	183,76	183762,5	92,43	169,85	169846,65	2,79	4731,52	3341,4521179	1,42
XPR _{BCAA} -7	199,31	199312,5	92,43	184,22	184219,09	2,79	5131,90	3552,3378205	1,44
XPR _{BCAA} -8	204,24	204237,5	92,43	188,77	188771,14	2,79	5258,71	3577,9119553	1,47
XPR _{Leu1} -1	192,99	192987,5	92,48	178,47	178474,14	2,78	4970,43	3477,4984788	1,43
XPR _{Leu1} -2	220,38	220375,0	92,48	203,80	203802,00	2,78	5675,80	3832,6612526	1,48
XPR _{Leu1} -3	166,80	166800,0	92,48	154,26	154256,04	2,78	4295,97	3072,7221302	1,40
XPR _{Leu1} -4	216,10	216100,0	92,48	199,85	199848,50	2,78	5565,70	3674,3534406	1,51
XPR _{Leu1} -5	163,59	163587,5	92,48	151,29	151285,13	2,78	4213,23	3004,5462234	1,40
XPR _{Leu1} -6	205,86	205862,5	92,48	190,38	190380,89	2,78	5302,03	3632,6003337	1,46
XPR _{Leu1} -7	175,63	175625,0	92,48	162,42	162417,36	2,78	4523,26	3154,5700068	1,43
XPR _{Leu1} -8	188,01	188012,5	92,48	173,87	173873,28	2,78	4842,30	3253,0191104	1,49
XPR _{Leu} -1	184,63	184625,0	92,68	171,11	171108,20	2,79	4766,66	3393,2095232	1,40
XPR _{Leu} -2	200,88	200875,0	92,68	186,17	186168,51	2,79	5186,21	3577,8259805	1,45
XPR _{Leu} -3	192,69	192687,5	92,68	178,58	178580,43	2,79	4974,82	3319,5139459	1,50
XPR _{Leu} -4	163,84	163837,5	92,68	151,84	151842,60	2,79	4229,97	2887,6060092	1,46
XPR _{Leu} -5	162,91	162912,5	92,68	150,99	150985,32	2,79	4206,09	2934,2333974	1,43
XPR _{Leu} -6	216,88	216875,0	92,68	201,00	200997,11	2,79	5599,30	3826,7947425	1,46
XPR _{Leu} -7	201,35	201350,0	92,68	186,61	186608,73	2,79	5198,47	3556,2295062	1,46
XPR _{Leu} -8	179,24	179237,5	92,68	166,12	166115,13	2,79	4627,57	3322,3997320	1,39

Futtermischungen: **IAAR**¹ = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR**¹ = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR**_{BCAA} = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR¹, **XPR**_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR**_{Leu}* = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 79: Einzeltierdaten aus Experiment 3. Sammelperiode I der Starterperiode (10.-15. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Ti er	Di ät	Anfangs- LM(g)	End- LM(g)	Mittel- wert LM(g)	Mittel-wert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg) /LM _{kg} ^{0,67}	Exkremete/d (mg) in TS	%N in Exkremete (TS)	N-Aus- scheidung Exkremete/d in TS(mg)	N-Aus- scheidung Exkremete (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/ LMkg ^{0,67/d}
1	A	286	565	425,5	0,4255	0,5641	53	93,09	50,0577	3,83392	3402,1305	7624,2171	7,4467	567,7506	1006,4562	2395,6743
2	A	270	509	389,5	0,3895	0,5317	51	93,09	48,1243	3,83392	3470,3016	7377,4890	7,3435	541,7694	1019,0007	2451,3009
3	A	297	572	434,5	0,4345	0,5721	54	93,09	52,5401	3,83392	3521,1211	7894,2498	6,7831	535,4734	936,0192	2585,1019
4	A	297	602	449,5	0,4495	0,5852	64	93,09	59,5380	3,83392	3900,3948	9711,3583	7,6786	745,7000	1274,1931	2626,2017
5	A	293	572	432,5	0,4325	0,5703	58	93,09	53,1340	3,83392	3571,9465	8585,9452	6,8927	591,8045	1037,6898	2534,2567
6	A	292	529	410,5	0,4105	0,5507	51	93,09	47,6429	3,83392	3316,8136	7030,7557	7,6108	535,0983	971,6587	2345,1549
7	B	308	590	449	0,4490	0,5848	63	93,12	58,7931	3,83344	3853,9854	9778,4047	6,8086	665,7687	1138,4614	2715,5239
8	B	280	550	415	0,4150	0,5547	58	93,12	53,9436	3,83344	3727,6610	9259,8496	7,5824	702,1146	1265,6563	2462,0047
9	B	300	565	432,5	0,4325	0,5703	59	93,12	55,0299	3,83344	3698,9375	9182,9340	7,7508	711,7534	1248,0123	2450,9252
10	B	303	590	446,5	0,4465	0,5826	64	93,12	59,7040	3,83344	3928,3637	8348,9692	7,3916	617,1195	1059,2266	2869,1371
11	B	278	516	397	0,3970	0,5385	53	93,12	49,5855	3,83344	3529,8330	8827,9473	6,4405	568,5624	1055,8166	2474,0165
12	B	317	601	459	0,4590	0,5935	63	93,12	59,1924	3,83344	3823,3173	11401,3290	6,6497	758,1488	1277,4384	2545,8789
13	C	253	443	348	0,3480	0,4930	44	92,77	41,0734	3,1181	2597,7045	4607,6713	6,9088	318,3347	645,6927	1952,0118
14	C	234	431	332,5	0,3325	0,4782	47	92,77	43,8112	3,1181	2856,7500	5161,5636	6,6326	342,3434	715,9152	2140,8348
15	C	253	482	367,5	0,3675	0,5114	52	92,77	48,7551	3,1181	2972,9285	5939,9917	6,6678	396,0684	774,5470	2198,3815
16	C	271	456	363,5	0,3635	0,5076	46	92,77	43,5286	3,1181	2673,7721	5704,1661	6,9496	396,4160	780,9320	1892,8401
17	C	268	656	462	0,4620	0,5961	60	92,77	55,8874	3,1181	2923,4208	6941,4647	6,8988	478,8800	803,3718	2120,0490
18	C	258	482	370	0,3700	0,5137	54	92,77	50,3572	3,1181	3056,7039	7672,2467	6,2113	476,5458	927,7041	2128,9998
19	D	259	451	355	0,3550	0,4996	50,1	92,76	46,4844	3,1186	2901,4049	6465,0045	6,3941	413,3811	827,3659	2074,0390
20	D	304	548	426	0,4260	0,5646	59,6	92,76	55,3161	3,1186	3055,6344	7276,5458	7,0354	511,9312	906,7909	2148,8435
21	D	273	516	394,5	0,3945	0,5362	59	92,76	55,2446	3,1186	3212,8631	8761,9437	6,2189	544,9008	1016,1690	2196,6941
22	D	257	496	376,5	0,3765	0,5197	56	92,76	52,6787	3,1186	3161,0125	8403,2294	7,3202	615,1320	1183,6023	1977,4102

Futtermischungen: **A** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **B** = IAAR_{BCAA} Referenz, **C** = wie A, aber -XP, **D** = wie C, aber + BCAA wie in A, **E** = wie C, aber + Leu wie in A, **F** = wie C, aber + Leu wie in B

A-Tabelle 79 (Fortsetzung): Einzeltierdaten aus Experiment 3. Sammelperiode I der Starterperiode (10.-15. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Ti er	Di ät	Anfangs- LM(g)	End- LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg) /LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente /d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Ausscheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/ LMkg ^{0,67/d}
23	D	169	346,5	257,75	0,2578	0,4032	37,31	92,5033	34,5130	3,8068	3258,6647	4955,7090	8,1197	402,3881	998,0265	2260,6382
24	D	100,5	222	161,25	0,1613	0,2945	23,15	92,5033	21,4130	3,8068	2768,2955	3284,8372	8,5413	280,5664	952,8200	1815,4756
25	D	196	396	296	0,2960	0,4423	42,15	92,5033	38,9917	3,8068	3355,5742	6060,3404	7,6842	465,6916	1052,7687	2302,8055
26	D	203	371	287	0,2870	0,4333	37,42	92,5033	34,6147	3,8068	3041,1683	5552,7567	8,3501	463,6632	1070,0936	1971,0747
27	D	190	386	288	0,2880	0,4343	41,86	92,5033	38,7219	3,8068	3394,0934	6600,4202	8,4847	560,0280	1289,4864	2104,6070
28	D	211,5	416	313,75	0,3138	0,4600	42,32	92,5033	39,1443	3,8068	3239,7976	6587,9584	8,3223	548,2668	1192,0126	2047,7850
29	D	161	242	201,5	0,2015	0,3419	18,46	92,5033	17,0776	3,8068	1901,6218	2200,2705	7,3619	161,9808	473,8046	1427,8173
30	E	220	415,5	317,75	0,3178	0,4639	41,96	92,4609	38,7928	3,8066	3183,3885	6214,5196	8,6822	539,5600	1163,1679	2020,2206
31	E	143,5	197	170,25	0,1703	0,3054	17,23	92,4609	15,9309	3,8066	1985,8608	1993,2941	8,0072	159,6070	522,6652	1463,1956
32	E	213,5	401,5	307,5	0,3075	0,4538	41,73	92,4609	38,5829	3,8066	3236,4875	6000,1152	8,5410	512,4708	1129,3093	2107,1783
33	E	116,5	189	152,75	0,1528	0,2840	17,48	92,4609	16,1641	3,8066	2166,8005	2363,5819	8,5930	203,1015	715,2300	1451,5706
34	E	179	300	239,5	0,2395	0,3838	27,63	92,4609	25,5440	3,8066	2533,3166	3981,5301	8,3294	331,6358	864,0258	1669,2908
35	E	159	348,5	253,75	0,2538	0,3990	39,34	92,4609	36,3786	3,8066	3470,8001	5646,8008	9,2835	524,2200	1313,8976	2156,9025
36	E	210,5	408,5	309,5	0,3095	0,4558	42,27	92,4609	39,0867	3,8066	3264,5418	6562,3694	9,0225	592,0892	1299,1057	1965,4360

Futtermischungen: **A** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **B** = IAAR_{BCAA} Referenz, **C** = wie A, aber -XP, **D** = wie C, aber + BCAA wie in A, **E** = wie C, aber + Leu wie in A, **F** = wie C, aber + Leu wie in B

A-Tabelle 80: Einzeltierdaten aus Experiment 3. Sammelperiode II der Starterperiode (15.-20. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (% in TS)	N-Aufn.(mg) /LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente/d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Ausscheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/ LMkg ^{0,67/d}
1	A	565	948,5	756,75	0,7568	0,8297	83,56	93,0861	77,7801	3,8339	3594,2928	12530,5493	7,8632	985,2969	1187,5967	2406,6961
2	A	509	854,5	681,75	0,6818	0,7736	74,05	93,0861	68,9270	3,8339	3415,8875	10287,0843	7,4083	762,0957	985,1008	2430,7867
3	A	572	913	742,5	0,7425	0,8192	77,45	93,0861	72,0910	3,8339	3374,0960	13298,1107	6,7205	893,6958	1090,9958	2283,1002
4	A	602	983	792,5	0,7925	0,8557	91,82	93,0861	85,4729	3,8339	3829,4990	17686,6208	7,1123	1257,9180	1470,0186	2359,4804
5	A	572	969,5	770,75	0,7708	0,8399	85,13	93,0861	79,2459	3,8339	3617,3272	13270,1996	7,3129	970,4422	1155,4139	2461,9132
6	A	529	945	737	0,7370	0,8151	84,23	93,0861	78,4087	3,8339	3688,1141	12658,0647	8,0607	1020,3340	1251,8121	2436,3020
7	B	590	956	773	0,7730	0,8416	81,80	93,1248	76,1757	3,8334	3469,9615	10056,0434	7,1225	716,2423	851,0983	2618,8633
8	B	550	824	687	0,6870	0,7776	74,22	93,1248	69,1157	3,8334	3407,2522	12987,8701	8,6594	1124,6676	1446,3159	1960,9363
9	B	565	941	753	0,7530	0,8269	75,11	93,1248	69,9506	3,8334	3242,8538	15185,0938	7,7498	1176,8148	1423,1658	1819,6880
10	B	590	987	788,5	0,7885	0,8528	91,35	93,1248	85,0727	3,8334	3824,0334	14659,5671	7,4814	1096,7470	1286,0247	2538,0087
11	B	516	841,5	678,75	0,6788	0,7713	74,35	93,1248	69,2410	3,8334	3441,1738	12692,9986	6,7839	861,0858	1116,3512	2324,8226
12	B	601	924,5	762,75	0,7628	0,8341	88,10	93,1248	82,0407	3,8334	3770,7009	18418,3564	7,0657	1301,3820	1560,3022	2210,3988
13	C	443	714,5	578,75	0,5788	0,6932	63,78	92,7722	59,1687	3,1181	2661,4022	7474,7702	6,9631	520,4754	750,8121	1910,5902
14	C	431	707	569	0,5690	0,6854	66,50	92,7722	61,6921	3,1181	2806,6729	7941,6258	6,6951	531,7022	775,7883	2030,8846
15	C	482	799,5	640,75	0,6408	0,7421	76,54	92,7722	71,0080	3,1181	2983,4116	8690,0889	6,9372	602,8456	812,3155	2171,0962
16	C	456	773	614,5	0,6145	0,7216	74,40	92,7722	69,0224	3,1181	2982,4107	8538,0451	7,0310	600,3108	831,8911	2150,5196
17	C	656	889	772,5	0,7725	0,8412	92,52	92,7722	85,8350	3,1181	3181,7047	10729,2793	7,4993	804,6247	956,5361	2225,1685
18	C	482	835,5	658,75	0,6588	0,7560	82,90	92,7722	76,9057	3,1181	3171,7774	11750,8713	6,3827	750,0248	992,0483	2179,7291
19	D	451	771	611	0,6110	0,7189	76,82	92,7598	71,2622	3,1186	3091,4752	8789,3570	6,7090	589,6773	820,2888	2271,1863
20	D	548	897,5	722,75	0,7228	0,8045	88,34	92,7598	81,9416	3,1186	3176,4089	11052,7926	6,8816	760,6074	945,4499	2230,9590
21	D	516	884	700	0,7000	0,7874	85,53	92,7598	79,3361	3,1186	3142,0240	11259,2381	6,8109	766,8584	973,8666	2168,1573
22	D	496	770,5	633,25	0,6333	0,7363	74,43	92,7598	69,0403	3,1186	2924,1618	11367,7294	7,2093	819,5303	1113,0370	1811,1248
23	D	514	851,5	682,75	0,6828	0,7744	85,79	92,7598	79,5749	3,1186	3204,6079	11247,0922	6,8935	775,3230	1001,2149	2203,3929
24	D	456	744	600	0,6000	0,7102	71,92	92,7598	66,7103	3,1186	2929,4471	9102,2306	6,4253	584,8479	823,5341	2105,9130

Ausreißer

Futtermischungen: **A** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **B** = IAAR_{BCAA} Referenz, **C** = wie A, aber -XP, **D** = wie C, aber + BCAA wie in A, **E** = wie C, aber + Leu wie in A, **F** = wie C, aber + Leu wie in B

A-Tabelle 80 (Fortsetzung): Einzeltierdaten aus Experiment 3. Sammelperiode II der Starterperiode (15.-20. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente/d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Ausscheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}
25	E	508	822,5	665,25	0,6653	0,7610	77,72	92,7172	72,0586	3,1182	2952,5363	9110,6767	6,6360	604,5880	794,4373	2158,0989
26	E	565	937	751	0,7510	0,8254	94,23	92,7172	87,3665	3,1182	3300,4686	12939,7042	6,4545	835,1971	1011,8362	2288,6323
27	E	508	895	701,5	0,7015	0,7886	92,23	92,7172	85,5105	3,1182	3381,3510	12968,1054	6,3799	827,3475	1049,1786	2332,1724
28	E	502	895	698,5	0,6985	0,7863	91,79	92,7172	85,1037	3,1182	3374,9451	10780,5612	6,9561	749,9072	953,7093	2421,2358
29	E	452	738,5	595,25	0,5953	0,7064	69,33	92,7172	64,2791	3,1182	2837,4661	9798,5809	6,7831	664,6458	940,8961	1896,5700
30	E	569	944	756,5	0,7565	0,8295	92,26	92,7172	85,5448	3,1182	3215,8910	10374,3799	6,7014	695,2308	838,1602	2377,7309
31	F	388	659	523,5	0,5235	0,6481	67,40	92,5970	62,4074	3,1186	3002,7281	10324,8888	7,3312	756,9408	1167,8518	1834,8763
32	F	440	796,5	618,25	0,6183	0,7246	68,39	92,5970	63,3226	3,1186	2725,4176	6735,5848	5,7787	389,2320	537,1908	2188,2268
33	F	410	657	533,5	0,5335	0,6564	64,02	92,5970	59,2768	3,1186	2816,1704	7862,6624	7,0866	557,1960	848,8441	1967,3263
34	F	407	699	553	0,5530	0,6724	69,63	92,5970	64,4784	3,1186	2990,4893	8274,8119	7,2163	597,1320	888,0645	2102,4248
35	F	451	724	587,5	0,5875	0,7002	71,22	92,5970	65,9487	3,1186	2937,1418	9374,1882	7,1638	671,5519	959,0568	1978,0851
36	F	457	751	604	0,6040	0,7133	74,36	92,5970	68,8527	3,1186	3010,0960	8205,0445	7,1958	590,4224	827,6907	2182,4053

Futtermischungen: **A** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **B** = IAAR_{BCAA} Referenz, **C** = wie A, aber -XP, **D** = wie C, aber + BCAA wie in A, **E** = wie C, aber + Leu wie in A, **F** = wie C, aber + Leu wie in B

A-Tabelle 81: Einzeltierdaten aus Experiment 3. Sammelperiode I der Growerperiode (25.-30. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg) /LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente/d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Aus-scheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Aus-scheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/ LMkg ^{0,67/d}
1	A	969	1562	1265,5	1,2655	1,1709	145,91	92,9462	135,6180	3,5027	4057,0210	19134,7122	8,0351	1537,4854	1313,0926	2743,9284
2	A	1018	1544	1281	1,2810	1,1805	147,12	92,9462	136,7427	3,5027	4057,4356	25075,4625	7,7869	1952,5926	1654,0694	2403,3662
3	A	1096	1674	1385	1,3850	1,2439	140,44	92,9462	130,5381	3,5027	3675,9642	18576,8316	7,2809	1352,5600	1087,3896	2588,5745
4	A	1034	1494	1264	1,2640	1,1700	126,35	92,9462	117,4350	3,5027	3515,8666	22542,7016	6,1070	1376,6820	1176,6928	2339,1738
5	A	961	1518	1239,5	1,2395	1,1547	134,72	92,9462	125,2200	3,5027	3798,4285	19811,0162	6,9215	1371,2205	1187,4959	2610,9326
6	A	1020	1508	1264	1,2640	1,1700	130,44	92,9462	121,2348	3,5027	3629,6280	17185,7105	7,4468	1279,7928	1093,8786	2535,7494
7	B	988	1390	1189	1,1890	1,1230	119,40	92,8987	110,9256	3,5030	3460,2314	16147,8122	6,3888	1031,6512	918,6732	2541,5582
8	B	985	1413	1199	1,1990	1,1293	114,52	92,8987	106,3897	3,5030	3300,1660	16304,5339	6,7310	1097,4528	971,8002	2328,3658
9	B	955	1429	1192	1,1920	1,1249	122,41	92,8987	113,7156	3,5030	3541,2771	16414,0470	7,1650	1176,0600	1045,5008	2495,7762
10	B	957	1474	1215,5	1,2155	1,1397	131,52	92,8987	122,1796	3,5030	3755,4162	22167,9990	5,9589	1320,9588	1159,0534	2596,3628
11	B	1069	1621	1345	1,3450	1,2197	155,42	92,8987	144,3817	3,5030	4146,8018	29485,1936	6,5817	1940,6316	1591,1062	2555,6956
12	B	1013	1558	1285,5	1,2855	1,1833	126,50	92,8987	117,5213	3,5030	3479,2306	17417,0639	7,1534	1245,9117	1052,9530	2426,2776
13	C	950	1222	1086	1,0860	1,0568	100,61	92,6516	93,2145	2,7853	2456,6668	12469,7347	7,2102	899,0982	850,7484	1605,9184
14	C	1009	1367	1188	1,1880	1,1223	116,19	92,6516	107,6522	2,7853	2671,5588	13502,8205	7,3147	987,6968	880,0283	1791,5305
15	C	895	1149	1022	1,0220	1,0147	88,52	92,6516	82,0161	2,7853	2251,3134	11146,4864	8,1384	907,1445	894,0141	1357,2993
16	C	1031	1485	1258	1,2580	1,1662	132,09	92,6516	122,3829	2,7853	2922,8301	13764,3846	6,4838	892,4493	765,2398	2157,5904
17	C	954	1438	1196	1,1960	1,1274	130,44	92,6516	120,8575	2,7853	2985,8132	14773,0950	5,9073	872,6905	774,0702	2211,7430
18	C	952	1327	1139,5	1,1395	1,0914	120,54	92,6516	111,6838	2,7853	2850,1032	15683,7440	6,3996	1003,6936	919,6076	1930,4955
19	D	925	1317	1121	1,1210	1,0795	128,28	92,4127	118,5502	2,7858	3059,2158	20713,2712	4,4378	919,2139	851,4925	2207,7233
20	D	1028	1417	1222,5	1,2225	1,1441	128,00	92,4127	118,2846	2,7858	2880,1498	14128,6838	6,0613	856,3870	748,5371	2131,6127
21	D	1012	1538	1275	1,2750	1,1768	158,68	92,4127	146,6446	2,7858	3471,5067	33262,9119	4,5558	1515,3892	1287,7524	2183,7543
22	D	934	1274	1104	1,1040	1,0685	113,91	92,4127	105,2697	2,7858	2744,4647	20660,5400	6,4462	1331,8200	1246,3966	1498,0681
23	D	1048	1472	1260	1,2600	1,1675	126,40	92,4127	116,8140	2,7858	2787,3420	14185,0278	6,0358	856,1756	733,3555	2053,9865
24	D	1027	1474	1250,5	1,2505	1,1616	136,79	92,4127	126,4158	2,7858	3031,7887	15554,1076	6,6467	1033,8380	890,0336	2141,7551

Futtermischungen: **A** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **B** = IAAR_{BCAA} Referenz, **C** = wie A, aber -XP, **D** = wie C, aber + BCAA wie in A, **E** = wie C, aber + Leu wie in A, **F** = wie C, aber + Leu wie in B

A-Tabelle-81 (Fortsetzung): Einzeltierdaten aus Experiment 3. Sammelperiode I der Growerperiode (25.-30. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	Exkreme/d (mg) in TS	%N in Exkreme (TS)	N-Aus-scheidung Exkreme/d in TS(mg)	N-Aus-scheidung Exkreme (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/LMkg ^{0,67/d}
25	E	676	1126	901	0,9010	0,9325	96,93	92,2678	89,4361	2,7854	2671,4124	11449,9403	6,2804	719,1072	771,1308	1900,2817
26	E	864	1210	1037	1,0370	1,0246	109,83	92,2678	101,3352	2,7854	2754,7521	14524,2766	6,4287	933,7287	911,2739	1843,4782
27	E	993	1317	1155	1,1550	1,1014	107,98	92,2678	99,6282	2,7854	2519,6850	13357,2799	6,7846	906,2412	822,8371	1696,8479
28	E	1034	1412	1223	1,2230	1,1444	138,29	92,2678	127,5939	2,7854	3105,6179	30307,1630	3,9199	1188,0256	1038,1260	2067,4919
29	E	954	1354	1154	1,1540	1,1007	156,43	92,2678	144,3330	2,7854	3652,4272	59302,3591	3,0770	1824,7372	1657,7630	1994,6642
30	E	1034	1370	1202	1,2020	1,1312	117,82	92,2678	108,7095	2,7854	2676,8585	17303,0960	5,4577	944,3545	834,8319	1842,0265
31	F	969	1315	1142	1,1420	1,0930	123,96	92,9104	115,1753	2,7858	2935,3966	15146,1024	6,9687	1055,4880	965,6439	1969,7527
32	F	959	1415	1187	1,1870	1,1217	131,22	92,9104	121,9213	2,7858	3027,8995	17774,5729	5,9158	1051,5036	937,4083	2090,4913
33	F	899	1292	1095,5	1,0955	1,0630	142,09	92,9104	132,0175	2,7858	3459,6714	64284,6242	3,0892	1985,8916	1868,1650	1591,5063
34	F	1015	1382	1198,5	1,1985	1,1290	120,84	92,9104	112,2748	2,7858	2770,3739	15092,0453	6,9614	1050,6220	930,5913	1839,7825
35	F	978	1447	1212,5	1,2125	1,1378	143,14	92,9104	132,9873	2,7858	3256,0213	19648,9775	5,5121	1083,0729	951,8991	2304,1222
36	F	883	1240	1061,5	1,0615	1,0408	124,21	92,9104	115,4008	2,7858	3088,7747	22034,8935	4,7886	1055,1684	1013,8072	2074,9675

Ausreißer

Futtermischungen: **A** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **B** = IAAR_{BCAA} Referenz, **C** = wie A, aber -XP, **D** = wie C, aber + BCAA wie in A, **E** = wie C, aber + Leu wie in A, **F** = wie C, aber + Leu wie in B

A-Tabelle 82: Einzeltierdaten aus Experiment 3. Sammelperiode II der Growerperiode (30.-35. Lebensstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg)/LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente/d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Ausscheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Ausscheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}
1	A	1562	2137	1849,5	1,8495	1,5098	170,69	92,9462	158,6512	3,5027	3680,6315	23759,5837	8,0696	1917,3132	1269,8916	2410,7399
2	A	1544	2103	1823,5	1,8235	1,4956	168,65	92,9462	156,7534	3,5027	3671,2628	26297,1725	7,7395	2035,2790	1360,8714	2310,3914
3	A	1674	2290	1982	1,9820	1,5815	177,03	92,9462	164,5457	3,5027	3644,4538	25915,5554	7,4578	1932,7210	1222,1084	2422,3455
4	A	1494	2002	1748	1,7480	1,4538	152,37	92,9462	141,6194	3,5027	3412,1293	25219,6243	7,5112	1894,2900	1302,9979	2109,1315
5	A	1518	2120	1819	1,8190	1,4931	165,06	92,9462	153,4149	3,5027	3599,0268	35441,0943	7,7277	2738,7880	1834,3006	1764,7262
6	A	1508	2039	1773,5	1,7735	1,4680	154,24	92,9462	143,3564	3,5027	3420,6269	22685,2913	5,0778	1151,9040	784,6923	2635,9346
7	B	1390	1789	1589,5	1,5895	1,3641	126,12	92,8987	117,1677	3,5030	3008,9043	30820,9374	4,8890	1506,8235	1104,6325	1904,2717
8	B	1413	1902	1657,5	1,6575	1,4029	130,98	92,8987	121,6774	3,5030	3038,2324	19588,1275	6,6927	1310,9800	934,4632	2103,7692
9	B	1429	1813	1621	1,6210	1,3821	127,13	92,8987	118,1056	3,5030	2993,3751	25171,0784	6,7267	1693,1820	1225,0365	1768,3386
10	B	1474	1981	1727,5	1,7275	1,4423	154,54	92,8987	143,5649	3,5030	3486,7688	29686,0722	5,3315	1582,7196	1097,3215	2389,4473
11	B	1621	2304	1962,5	1,9625	1,5710	194,60	92,8987	180,7800	3,5030	4031,0027	43187,7027	5,1259	2213,7440	1409,1101	2621,8926
12	B	1558	2126	1842	1,8420	1,5057	151,80	92,8987	141,0192	3,5030	3280,7976	24486,0599	6,3414	1552,7649	1031,2445	2249,5531
13	C	1222	1522	1372	1,3720	1,2360	115,02	92,6516	106,5708	2,7853	2401,4839	23202,1295	5,0769	1177,9464	953,0118	1448,4721
14	C	1367	1708	1537,5	1,5375	1,3340	128,45	92,6516	119,0145	2,7853	2484,8637	14832,0345	7,7726	1152,8412	864,1783	1620,6854
15	C	1149	1366	1257,5	1,2575	1,1659	92,78	92,6516	85,9596	2,7853	2053,4903	11848,3992	7,7607	919,5140	788,6567	1264,8336
16	C	1485	1977	1731	1,7310	1,4443	152,26	92,6516	141,0708	2,7853	2720,4893	15458,7110	6,7525	1043,8562	722,7392	1997,7500
17	C	1438	1936	1687	1,6870	1,4196	160,05	92,6516	148,2921	2,7853	2909,5104	17617,3637	5,7690	1016,3505	715,9396	2193,5707
18	C	1327	1786	1556,5	1,5565	1,3451	133,36	92,6516	123,5566	2,7853	2558,5567	15263,0110	6,5743	1003,4384	746,0206	1812,5361
19	D	1317	1738	1527,5	1,5275	1,3282	141,41	92,4127	130,6778	2,7858	2740,8047	26868,5022	4,1590	1117,4534	841,3215	1899,4832
20	D	1417	1899	1658	1,6580	1,4032	157,37	92,4127	145,4343	2,7858	2887,2805	23431,9330	4,7827	1120,6712	798,6502	2088,6303
21	D	1538	2171	1854,5	1,8545	1,5126	204,10	92,4127	188,6181	2,7858	3473,8823	43255,0292	3,9309	1700,3020	1124,1236	2349,7586
22	D	1274	1793	1533,5	1,5335	1,3317	153,25	92,4127	141,6265	2,7858	2962,6480	26926,7157	6,7954	1829,7680	1374,0037	1588,6443
23	D	1472	1992	1732	1,7320	1,4449	163,30	92,4127	150,9116	2,7858	2909,6403	22055,0275	5,1627	1138,6380	788,0587	2121,5816
24	D	1474	1976	1725	1,7250	1,4409	163,21	92,4127	150,8257	2,7858	2915,8843	24153,7873	5,5257	1334,6641	926,2395	1989,6449

Ausreißer

Futtermischungen: **A** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **B** = IAAR_{BCAA} Referenz, **C** = wie A, aber -XP, **D** = wie C, aber + BCAA wie in A, **E** = wie C, aber + Leu wie in A, **F** = wie C, aber + Leu wie in B

A-Tabelle 82 (Fortsetzung): Einzeltierdaten aus Experiment 3. Sammelperiode II der Growerperiode (30.-35. Lebenstag) im Bilanzversuch.

Tier	Diät	Anfangs-LM(g)	End-LM(g)	Mittelwert LM(g)	Mittelwert LM(kg)	metabol. LM(LM _{kg} ^{0,67})	FA/d (g)	TS(%) in Futter	FA/d in TS (g)	N-Gehalt Futter (%) in TS	N-Aufn.(mg) /LM _{kg} ^{0,67}	Exkremente/d (mg) in TS	%N in Exkremente (TS)	N-Aus-scheidung Exkremente/d in TS(mg)	N-Aus-scheidung Exkremente (mg)/LM _{kg} ^{0,67/d}	N-Bilanz(mg)/ LMkg ^{0,67/d}
25	E	1126	1482	1304	1,3040	1,1946	118,79	92,2678	109,6087	2,7854	2555,6588	13188,3261	6,4396	849,2737	710,9052	1844,7536
26	E	1210	1563	1386,5	1,3865	1,2448	120,37	92,2678	111,0608	2,7854	2485,2387	13009,2103	7,6462	994,7140	799,1198	1686,1188
27	E	1317	1581	1449	1,4490	1,2821	116,40	92,2678	107,3974	2,7854	2333,3066	17460,9709	6,1136	1067,4920	832,6238	1500,6828
28	E	1412	1936	1674	1,6740	1,4123	159,15	92,2678	146,8434	2,7854	2896,2241	27405,4542	4,9872	1366,7515	967,7728	1928,4513
29	E	1354	1770	1562	1,5620	1,3482	198,94	92,2678	183,5535	2,7854	3792,1912	67388,7833	3,3165	2234,9585	1657,6895	2134,5017
30	E	1370	1750	1560	1,5600	1,3471	124,78	92,2678	115,1352	2,7854	2380,7214	15653,2041	6,0626	948,9960	704,4836	1676,2378
31	F	1315	1724	1519,5	1,5195	1,3235	135,19	92,9104	125,6068	2,7858	2643,7315	17443,3166	6,1267	1068,7006	807,4518	1836,2797
32	F	1415	1835	1625	1,6250	1,3844	155,41	92,9104	144,3894	2,7858	2905,4094	29324,7966	4,8790	1430,7552	1033,4598	1871,9497
33	F	1292	1765	1528,5	1,5285	1,3288	208,10	92,9104	193,3425	2,7858	4053,3411	73284,7736	3,4802	2550,4635	1919,3813	2133,9598
34	F	1382	1748	1565	1,5650	1,3500	131,07	92,9104	121,7789	2,7858	2512,9918	16410,3423	6,4312	1055,3895	781,7865	1731,2053
35	F	1447	1908	1677,5	1,6775	1,4142	170,95	92,9104	158,8288	2,7858	3128,5933	37568,9790	4,4652	1677,5430	1186,1777	1942,4156
36	F	1240	1591	1415,5	1,4155	1,2621	128,40	92,9104	119,2979	2,7858	2633,0964	24264,9640	4,7697	1157,3779	916,9920	1716,1043

Futtermischungen: **A** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **B** = IAAR_{BCAA} Referenz, **C** = wie A, aber -XP, **D** = wie C, aber + BCAA wie in A, **E** = wie C, aber + Leu wie in A, **F** = wie C, aber + Leu wie in B

A-Tabelle 83: Proteinqualität (b-Wert) der Starterperiode, Sammelperiode I + II (10.-20. LT). Experiment 3.

Diät	N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67})	N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67})	NMR (mg/LM _{kg} ^{0,67})	N-Retention (mg/LM _{kg} ^{0,67})	NR _{max} T (mg/LM _{kg} ^{0,67})	b-Wert (b*10 ⁶)
IAAR ¹ I	3470,3016	2451,3009	113	2563,8664	4706	227
IAAR ¹	3521,1211	2585,1019	113	2697,6611	4706	242
IAAR ¹	3900,3948	2626,2017	113	2738,7133	4706	224
IAAR ¹	3571,9465	2534,2567	113	2646,8095	4706	231
IAAR ¹	3316,8136	2345,1549	113	2457,7396	4706	223
IAAR ¹ II	3594,2928	2406,69606	113	2519,69606	4706	213
IAAR ¹	3415,8875	2430,78673	113	2543,78673	4706	228
IAAR ¹	3374,0960	2283,10017	113	2396,10017	4706	211
IAAR ¹	3829,4990	2359,4804	113	2472,4804	4706	195
IAAR ¹	3617,3272	2461,91323	113	2574,91323	4706	219
IAAR ¹	3688,1141	2436,302	113	2549,302	4706	212
IAAR1* I	3853,9854	2715,52393	113	2109,3299	4706	238
IAAR1*	3727,6610	2462,00473	113	1879,3842	4706	213
IAAR1*	3698,9375	2450,92521	113	1873,6648	4706	213
IAAR1*	3928,3637	2869,13705	113	2249,0633	4706	256
IAAR1*	3529,8330	2474,01649	113	1928,3127	4706	226
IAAR1*	3823,3173	2545,87893	113	1945,4079	4706	218
IAAR1* II	3469,9615	2618,86328	113	2731,86328	4706	250
IAAR1*	3407,2522	1960,93627	113	2073,93627	4706	171
IAAR1*	3242,8538	1819,68799	113	1932,68799	4706	163
IAAR1*	3824,0334	2538,00866	113	2651,00866	4706	217
IAAR1*	3441,1738	2324,82264	113	2437,82264	4706	212
IAAR1*	3770,7009	2210,39878	113	2323,39878	4706	181
XPR I	2597,7045	1952,01177	113	2065,0118	4706	222
XPR	2856,7500	2140,83481	113	2253,8348	4706	228
XPR	2972,9285	2198,38148	113	2311,3815	4706	227
XPR	2673,7721	1892,84011	113	2005,8401	4706	208
XPR	2923,4208	2120,04903	113	2233,0490	4706	220
XPR	3056,7039	2128,99982	113	2241,9998	4706	212
XPR II	2661,4022	1910,59017	113	2023,59017	4706	211
XPR	2806,6729	2030,88462	113	2143,88462	4706	217
XPR	2983,4116	2171,09618	113	2284,09618	4706	223
XPR	2982,4107	2150,5196	113	2263,5196	4706	220
XPR	3181,7047	2225,16851	113	2338,16851	4706	216
XPR	3171,7774	2179,72913	113	2292,72913	4706	211

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 83 (Fortsetzung): Proteinqualität (b-Wert) der Starterperiode, Sammelperiode I + II (10.-20. LT). Experiment 3.

Diät	N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67})	N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67})	NMR (mg/LM _{kg} ^{0,67})	N-Retention (mg/LM _{kg} ^{0,67})	NR _{max} T (mg/LM _{kg} ^{0,67})	b-Wert (b*10 ⁶)
XPR _{BCAA} I	3055,6344	2148,84345	113	2261,8435	4706	214
XPR _{BCAA}	3212,8631	2196,69409	113	2309,6941	4706	210
XPR _{BCAA}	3161,0125	1977,41023	113	2090,4102	4706	186
XPR _{BCAA}	3088,7442	2086,55413	113	2199,5541	4706	204
XPR _{BCAA}	3029,0331	2169,40407	113	2282,4041	4706	219
XPR _{BCAA} II	3091,4752	2271,18634	113	2384,18634	4706	229
XPR _{BCAA}	3176,4089	2230,95902	113	2343,95902	4706	217
XPR _{BCAA}	3142,0240	2168,15735	113	2281,15735	4706	211
XPR _{BCAA}	2924,1618	1811,12480	113	1924,12480	4706	180
XPR _{BCAA}	3204,6079	2203,39292	113	2316,39292	4706	211
XPR _{BCAA}	2929,4471	2105,91295	113	2218,91295	4706	218
XPR _{Leu} I	3068,7716	2273,98164	113	2386,9816	4706	231
XPR _{Leu}	3276,9639	2279,27019	113	2392,2702	4706	217
XPR _{Leu}	3178,0843	2201,74127	113	2314,7413	4706	213
XPR _{Leu}	2840,2564	1832,38991	113	1945,3899	4706	188
XPR _{Leu}	2920,5358	2062,04674	113	2175,0467	4706	212
XPR _{Leu}	3277,6779	2413,16478	113	2526,1648	4706	235
XPR _{Leu} II	2952,5363	2158,09895	113	2271,09895	4706	223
XPR _{Leu}	3300,4686	2288,63234	113	2401,63234	4706	216
XPR _{Leu}	3381,3510	2332,17243	113	2445,17243	4706	217
XPR _{Leu}	3374,9451	2421,23576	113	2534,23576	4706	229
XPR _{Leu}	2837,4661	1896,57001	113	2009,57001	4706	196
XPR _{Leu}	3215,8910	2377,73086	113	2490,73086	4706	234
XPR _{Leu} I	2624,7054	1704,9904	113	1817,9904	4706	186
XPR _{Leu} *	2895,6677	2365,56767	113	2478,56767	4706	258
XPR _{Leu} *	2676,1692	1952,03291	113	2065,0329	4706	216
XPR _{Leu} *	2853,6813	2037,6729	113	2150,6729	4706	214
XPR _{Leu} *	2851,2721	1997,00685	113	2110,0068	4706	209
XPR _{Leu} *	3066,2250	2162,21360	113	2275,2136	4706	215
XPR _{Leu} II	3002,7281	1834,87625	113	1947,87625	4706	178
XPR _{Leu} *	2725,4176	2188,22683	113	2301,22683	4706	246
XPR _{Leu} *	2816,1704	1967,32627	113	2080,32627	4706	207
XPR _{Leu} *	2990,4893	2102,4248	113	2215,4248	4706	213
XPR _{Leu} *	2937,1418	1978,08507	113	2091,08507	4706	200
XPR _{Leu} *	3010,0960	2182,40533	113	2295,40533	4706	222

Ausreißer

Futtermischungen: **IAAR**¹ = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR**_{BCAA} = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR¹, **XPR**_{Leu} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR**_{Leu}* = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 84: Proteinqualität (b-Wert) der Growerperiode, Sammelperiode I + II (25.-35. LT). Experiment 3.

Diät	N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67})	N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67})	NMR (mg/LM _{kg} ^{0,67})	N-Retention (mg/LM _{kg} ^{0,67})	NR _{max} T (mg/LM _{kg} ^{0,67})	b-Wert (b*10 ⁶)
IAAR ¹ I	4057,0210	2743,9284	215	2958,9284	4516	262
IAAR ¹	4057,4356	2403,3662	215	2618,3662	4516	214
IAAR ¹	3675,9642	2588,5745	215	2803,5745	4516	264
IAAR ¹	3515,8666	2339,1738	215	2554,1738	4516	237
IAAR ¹	3798,4285	2610,9326	215	2825,9326	4516	259
IAAR ¹	3629,6280	2535,7494	215	2750,7494	4516	259
IAAR ¹ II	3680,6315	2410,7399	215	2625,7399	4516	237
IAAR ¹	3671,2628	2310,3914	215	2525,3914	4516	223
IAAR ¹	3644,4538	2422,3455	215	2637,3455	4516	241
IAAR ¹	3412,1293	2109,1315	215	2324,1315	4516	212
IAAR ¹	3599,0268	1764,7262	215	1979,7262	4516	160
IAAR ¹	3420,6269	2635,9346	215	2850,9346	4516	292
IAAR* I	3460,2314	2541,5582	215	2756,5582	4516	272
IAAR*	3300,1660	2328,3658	215	2543,3658	4516	251
IAAR*	3541,2771	2495,7762	215	2710,7762	4516	259
IAAR*	3755,4162	2596,3628	215	2811,3628	4516	259
IAAR*	4146,8018	2555,6956	215	2770,6956	4516	229
IAAR*	3479,2306	2426,2776	215	2641,2776	4516	253
IAAR* II	3008,9043	1904,2717	215	2119,2717	4516	211
IAAR*	3038,2324	2103,7692	215	2318,7692	4516	237
IAAR*	2993,3751	1768,3386	215	1983,3386	4516	193
IAAR*	3486,7688	2389,4473	215	2604,4473	4516	247
IAAR*	4031,0027	2621,8926	215	2836,8926	4516	245
IAAR*	3280,7976	2249,5531	215	2464,5531	4516	241
XPR I	2456,6668	1605,9184	215	1820,9184	4516	210
XPR	2671,5588	1791,5305	215	2006,5305	4516	220
XPR	2251,3134	1357,2993	215	1572,2993	4516	190
XPR	2922,8301	2157,5904	215	2372,5904	4516	255
XPR	2985,8132	2211,7430	215	2426,7430	4516	258
XPR	2850,1032	1930,4955	215	2145,4955	4516	226
XPR II	2401,4839	1448,4721	215	1663,4721	4516	191
XPR	2484,8637	1620,6854	215	1835,6854	4516	210
XPR	2053,4903	1264,8336	215	1479,8336	4516	193
XPR	2720,4893	1997,7500	215	2212,7500	4516	247
XPR	2909,5104	2193,5707	215	2408,5707	4516	262
XPR	2558,5567	1812,5361	215	2027,5361	4516	233

Futtermischungen: IAAR¹ = IAAR_{BCAA} Exp.3, IAAR* = IAAR_{BCAA} Referenz, XPR = wie IAAR¹, aber -XP, XPR_{BCAA} = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR¹, XPR_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, XPR_{Leu*} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 84 (Fortsetzung): Proteinqualität (b-Wert) der Growerperiode, Sammelperiode I + II (25.-35. LT), Experiment 3.

Diät	N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67})	N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67})	NMR (mg/LM _{kg} ^{0,67})	N-Retention (mg/LM _{kg} ^{0,67})	NR _{max} T (mg/LM _{kg} ^{0,67})	b-Wert (b*10 ⁶)
XPR _{BCAA} I	2880,1498	2131,6127	215	2346,6127	4516	255
XPR _{BCAA}	3471,5067	2183,7543	215	2398,7543	4516	218
XPR _{BCAA}	2744,4647	1498,0681	215	1713,0681	4516	174
XPR _{BCAA}	2787,3420	2053,9865	215	2268,9865	4516	250
XPR _{BCAA}	3031,7887	2141,7551	215	2356,7551	4516	243
XPR _{BCAA} II	2740,8047	1899,4832	215	2114,4832	4516	230
XPR _{BCAA}	2887,2805	2088,6303	215	2303,6303	4516	247
XPR _{BCAA}	3473,8823	2349,7586	215	2564,7586	4516	242
XPR _{BCAA}	2962,6480	1588,6443	215	1803,6443	4516	172
XPR _{BCAA}	2909,6403	2121,5816	215	2336,5816	4516	250
XPR _{BCAA}	2915,8843	1989,6449	215	2204,6449	4516	230
XPRLeu ¹ I	2671,4124	1900,2817	215	2115,2817	4516	237
XPRLeu ¹	2754,7521	1843,4782	215	2058,4782	4516	221
XPRLeu ¹	2519,6850	1696,8479	215	1911,8479	4516	218
XPRLeu ¹	3105,6179	2067,4919	215	2282,4919	4516	227
XPRLeu ¹	3652,4272	1900,2817	215	2209,6642	4516	184
XPRLeu ¹	2676,8585	1842,0265	215	2057,0265	4516	227
XPRLeu ¹ II	2555,6588	1844,7536	215	2059,7536	4516	238
XPRLeu ¹	2485,2387	1686,1188	215	1901,1188	4516	220
XPRLeu ¹	2333,3066	1500,6828	215	1715,6828	4516	205
XPRLeu ¹	2896,2241	1928,4513	215	2143,4513	4516	222
XPRLeu ¹	3792,1912	2134,5017	215	2349,5017	4516	194
XPRLeu ¹	2380,7214	1676,2378	215	1891,2378	4516	228
XPRLeu* I	2935,3966	1969,7527	215	2184,7527	4516	225
XPRLeu*	3027,8995	2090,4913	215	2305,4913	4516	236
XPRLeu*	3459,6714	1591,5063	215	1806,5063	4516	148
XPRLeu*	2770,3739	1839,7825	215	2054,7825	4516	219
XPRLeu*	3256,0213	2304,1222	215	2519,1222	4516	251
XPRLeu*	3088,7747	2074,9675	215	2289,9675	4516	229
XPRLeu* II	2643,7315	1836,2797	215	2051,2797	4516	229
XPRLeu*	2905,4094	1871,9497	215	2086,9497	4516	213
XPRLeu*	4053,3411	2133,9598	215	2348,9598	4516	181
XPRLeu*	2512,9918	1731,2053	215	1946,2053	4516	224
XPRLeu*	3128,5933	1942,4156	215	2157,4156	4516	208
XPRLeu*	2633,0964	1716,1043	215	1931,1043	4516	212

Ausreißer

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR1, **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 85: Ergebnisse der Aminosäuren-Analytik im Blutplasma von Masthähnchen ($\mu\text{mol/l}$). Experiment 3. MW \pm SE.

	Valin	Isoleucin	Leucin	Lysin	Arginin	Threonin	Methionin	Tryptophan	Phenylalanin	Histidin
IAAR¹	211,1 \pm 32,5	97,3 \pm 15,2	191,0 \pm 27,9	229,0 \pm 2,6	248,8 ^{ab} \pm 8,4	735,4 \pm 124,3	87,4 \pm 14,1	61,2 \pm 1,9	105,2 \pm 10,4	45,4 \pm 10,3
IAAR*	204,6 \pm 6,6	98,6 \pm 4,5	177,7 \pm 0,6	221,5 \pm 38,1	253,6 ^a \pm 1,3	530,8 \pm 62,1	89,0 \pm 9,8	57,0 \pm 1,0	96,7 \pm 0,0	60,6 \pm 0,6
XPR	190,0 \pm 10,4	81,6 \pm 4,8	156,0 \pm 10,3	118,9 \pm 14,2	193,9 ^{ab} \pm 34,7	528,2 \pm 64,0	66,3 \pm 7,8	45,3 \pm 3,6	88,3 \pm 7,2	34,5 \pm 5,8
XPR_{BCAA}	182,1 \pm 3,0	81,4 \pm 2,6	157,8 \pm 3,7	344,3 \pm 127,9	209,2 ^{ab} \pm 36,1	459,4 \pm 89,7	66,7 \pm 1,3	51,3 \pm 0,0	90,7 \pm 1,3	24,9 \pm 0,7
XPR_{Leu1}	159,8 \pm 13,1	76,2 \pm 5,0	177,5 \pm 18,4	168,9 \pm 25,1	230,5 ^{ab} \pm 8,7	526,6 \pm 15,2	74,0 \pm 4,0	52,5 \pm 4,9	97,6 \pm 4,4	28,9 \pm 2,6
XPR_{Leu*}	160,8 \pm 3,9	78,7 \pm 0,2	188,1 \pm 10,9	220,8 \pm 38,4	229,1 ^b \pm 0,8	475,4 \pm 25,1	64,0 \pm 0,7	51,5 \pm 1,9	99,1 \pm 2,0	36,5 \pm 10,1

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz, **XPR** = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR¹, **XPR_{Leu1}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹, **XPR_{Leu*}** = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

A-Tabelle 86: Ergebnisse der verzweigt-kettigen α -Ketosäuren-Analytik im Blutplasma von Masthähnchen ($\mu\text{mol/l}$). Experiment 3. MW \pm SE.

	KIC (Leu)	KMV (Ile)	KIV (Val)
IAAR¹	9,27 ^b \pm 0,22	8,47 \pm 1,42	5,60 \pm 0,02
IAAR*	11,49 ^{ab} \pm 0,92	8,85 \pm 0,00	7,32 \pm 0,50
XPR	10,43 ^{ab} \pm 0,29	8,20 \pm 0,36	7,28 \pm 0,66
XPR_{BCAA}	13,36 ^{ab} \pm 2,57	9,97 \pm 1,94	7,32 \pm 0,07
XPR_{Leu1}	11,66 ^{ab} \pm 1,26	7,81 \pm 0,64	5,65 \pm 0,46
XPR_{Leu*}	13,23 ^a \pm 0,51	8,51 \pm 0,65	6,43 \pm 0,55

Futtermischungen: **IAAR¹** = IAAR_{BCAA} Exp.3, **IAAR*** = IAAR_{BCAA} Referenz,
XPR = wie IAAR¹, aber -XP, **XPR_{BCAA}** = wie XPR, aber + BCAA wie in IAAR¹,
XPR_{Leu1} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR¹,
XPR_{Leu*} = wie XPR, aber + Leu wie in IAAR*

Anhang III – Laborbeschreibung zur Bestimmung des Gehalts an verzweigt-kettigen α -Ketosauren im Blutplasma von Masthähnchen

Bestimmung der α -Ketosauren im Plasma – modifiziert nach Kand'ar et al.

(2009)

von Dr. Angela Sünder³

1) Literaturquelle

Clin Chem Lab Med. 2009; 47(5):565-72.

Determination of branched chain amino acids, methionine, phenylalanine, tyrosine and alpha-keto acids in plasma and dried blood samples using HPLC with fluorescence detection.

Kand'ar R, Záková P, Jirosová J, Sladká M.

Department of Biological and Biochemical Sciences, Faculty of Chemical Technology, University of Pardubice, Pardubice, Czech Republic. roman.kandar@upce.cz

2) Geräte:

Gerät	Typ	Bemerkung
<i>Shimadzu HPLC:</i>		
System Controller	SCL – 10 A VP	
Auto Injector	SIL – 10 AD VP	
Pump (Liquid Chromatograph)	LC – 10 AD VP	für Gradienten werden 2 benötigt

³ Georg-August-Universität Göttingen, DNTW, Tierernährungsphysiologie. Angela.suender@agr.uni-goettingen.de

Gerät	Typ	Bemerkung
Degasser	DGU – 14 A	
Column Oven	CTO – 10 A VP	wird manuell gesteuert
Fluorescence Detector	RF – 10 A XL	
Software	CLASS-VP Chromatography Data System Version 4.3	
Säule	LiChroCART® 125-4 Purospher® STAR RP-18endcapped (5 µm) HPLC-Kartusche	VWR 1.50251.0001
Vorsäule	LiChroCART® 4-4 Purospher® STAR RP-18 endcapped (5 µm) HPLC-Vorsäule	VWR 1.50250.0001
Kartuschenhalter	manu-CART® NT Kartuschenhalter für LiChroCART® 2,3,4,4.6 mm i.d. HPLC-Kartuschen	VWR 1.51486.0001
Vials	1,5ML GEWINDEFLASCHE, GEWINDE 8-425, 32X 11,6MM, BRAUNGLAS, 1.000 ST	VWR 548-0448
Kappen	8MM PP SCHRAUBKAPPE, SCHWARZ, MIT LOCH,GEWINDE 8-425 1 * 1.000 ST	VWR 548-0025
Septum	8MM SEPTUM, NATURKAUTSCHUK ROT-ORANGE/TEF, 1,3MM 1 * 1.000 ST	VWR 548-0318

3) Verwendete Maßlösungen:

- 1 mol/l Perchlorsäure (A3365,0250 von Applichem) für Proben
- 2 mol/l HCl (A2533,1000 von Applichem) für OPD
- 0,1 mol/l HCl (A1305,1000 von Applichem) für Stammlösung der Standards, Standard-Arbeitslösung und Eichreihe; benötigt wird 1 mmol/l HCl → 1 : 100 verdünnen (10 ml auf 1000 ml; mit Reinstwasser auffüllen; Reinstwasser vorher über 0,2 µm Sartorius-Membranfilter, RC-Vliesverstärkt, 18407-100-G)

4) Standards:

Salze (von Sigma Aldrich)							
Nr:	Name	Artikel-Nr.	Lot-Nr.	Formel	Molmasse [g/mol]	[mmol/g]	Reinheit [%]
1	ISTD	K 6625	041M5005V	C ₆ H ₉ NaO ₃	152,12	6,574	97
2	KMV	K 7125	120M5019V	C ₆ H ₉ NaO ₃	152,12	6,574	100
3	KIC	K 0629	035k0584v	C ₆ H ₉ NaO ₃	152,12	6,574	90,5
4	KIV	198994	BCBB1166V	C ₅ H ₇ NaO ₃	138,10	7,241	96

Säuren				
Nr:	Name	Formel	Molmasse [g/mol]	[mmol/g]
1	ISTD	C ₆ H ₁₀ O ₃	130,14	7,684
2	KMV	C ₆ H ₁₀ O ₃	130,14	7,684
3	KIC	C ₆ H ₁₀ O ₃	130,14	7,684
4	KIV	C ₅ H ₈ O ₃	116,12	8,612



Stammlösung: 5 mmol/l in 1 mmol/l HCl							
Nr:	g/l		g/l		g/l	vorh.	g/250 ml
1	0,65377	Säure → Salz	0,7642	Reinheit → H ₂ O	0,7878	250 mg	0,1970
2	0,65377		0,7642		0,7642	5 g	0,1911
3	0,65377		0,7642		0,8444	1 g	0,2111
4	0,58059		0,6905		0,7193	5 g	0,1798

- 5) Ansatz Färbereagenz OPD (o-phenylenediamine dihydrochloride):
- Lot: 030M5316V; Reinheit = 100 %
 - 25 mmol/l OPD in 2 Mol/l HCl
 - $C_6H_8N_2 \cdot 2 HCl$ 181,06 g/mol
 - 9,247272 mmol/g 4,5265g/l 1,1316 g/250 ml
- 6) Ansatz ISTD Arbeitslösung (500 μ mol/l):
- vorhanden: 5 mmol/l Stammlösung bzw. 5.000 μ mol/l
 - 1 : 10 Verdünnung der Stammlösung (10 ml auf 100 ml in 1 mmol/l HCl)
 - Endkonzentration ISTD in Messlösung: 8,065 μ mol/l
 - Anmerkung: nach ersten Testmessungen von Hühnerblut stellte sich heraus, dass der ISTD gegenüber den Konzentrationen von KIV, KIC und KMV zu hoch ist; in Abweichung zu Kandar et al. (2009) wurde der ISTD für die Zugabe zur Probe 1 : 4 verdünnt und beträgt dann in der Messlösung nur noch 2,01625 μ mol/l
- 7) Ansatz Standard Arbeitslösung (500 μ mol/l):
- vorhanden: 5 mmol/l Stammlösung bzw. 5.000 μ mol/l
 - 1 : 10 Verdünnung der Stammlösung (je 10 ml KIV, KIC, KMV und ISTD auf 100 ml in 1 mmol/l HCl)

8) Probenvorbereitung bzw. die der STD für Eichreihe:

Standards	Plasmaproben
<i>Schritt 1)</i>	<i>Schritt 1a)</i>
- 200 µl Std	- 200 µl Plasma
- + 420 µl Perchlorsäure	- + 20 µl ISTD (500 µmol/l)
	- + 400 µl Perchlorsäure
	<i>Schritt 1b)</i>
	- 10 min bei 4 °C inkubieren
	- 10 min mit 22.000 x g bei 4 °C zentrifugieren
<i>Schritt 2)</i>	<i>Schritt 2)</i>
- davon 300 µl	- 300 µl filtrierter Überstand
- + 300 µl OPD	- + 300 µl OPD

Verdünnungsfaktor:

Arbeitsschritt	ISTD	Probe
1	31	3,1
2	2	2
Summe	62	6,2

9) Empfohlene Eichreihe:

2,5 → 5,0 → 15,0 → 25,0 → 50,0 → 75,0 → 100,0 µmol/l

- 0,01 µmol/200 µl
- Ausgangskonz.: 0,05 mmol/ml bzw. 50 µmol/l
(10 ml von 500 µmol/l auf 100 ml)

davon:

ml	auf ml	= µmol/l
0,250	10	2,01625
0,500	10	4,0325
1	10	8,065
2	10	16,13
4	10	32,26
6	10	48,39
10 (unverdünnt)	10	80,65

Anmerkung: anhand der ersten Testmessungen von Hühnerblut wäre diese Eichreihe zu hoch konzentriert; daher wurde mit folgender Eichreihe gearbeitet, davon:

Level	µl	auf ml	= µmol/l
1	50	10	0,40325
2	100	10	0,8065
3	200	10	1,613
4	250	10	2,01625
5	500	10	4,0325
6	1000	10	8,065

Level 4 entspricht der Konzentration des ISTD in der Probe

Danksagung

Sehr herzlich möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. F. Liebert bedanken für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit, in der Abteilung für Tierernährungsphysiologie der Georg-August-Universität Göttingen zu promovieren. Besonders dankbar bin ich für die Zeit, die sich Herr Prof. Dr. Liebert für konstruktive Gespräche genommen hat, sowie für die Möglichkeit, meine eigenen Ideen verwirklichen zu dürfen und mir dabei mit wissenschaftlichem Rat stets zur Seite stand.

Bei Herrn Dr. habil. C. Wecke möchte ich mich ganz besonders für die Übernahme des Zweitgutachtens bedanken, für seine unendliche Geduld und Bereitschaft, jederzeit mit Rat und Tat zur Seite zu stehen und dass er nicht müde wurde, dieselben Verständnisfragen zum wiederholten Male ausführlich zu beantworten.

Frau Dr. A. Sünder danke ich für ihre intensive Arbeit an der Analyse der BKCA mittels der HPLC. Über die zahlreichen Tricks, die sie sich zur Überlistung der HPLC hat einfallen lassen, konnte ich nur staunen. Weiterhin möchte ich mich bei ihr für ihre Unterstützung und Hilfsbereitschaft bedanken.

Frau H. Marbell danke ich für die Unterstützung bei alltäglichen Problemen, ihre Hilfsbereitschaft bei der Erstellung von Anträgen für Reisekosten, der Planung von Dienstreisen sowie ihre Hilfe bei der Formatierung und Einreichung wissenschaftlicher Beiträge.

Nicole, Nadine, Thomas und Mario danke ich herzlich für ihre Unterstützung der tierexperimentellen Teile der Arbeit. Die Zusammenarbeit mit euch hat mir viel Spaß gemacht.

Frau Dr. A. Chilla danke ich für ihre Bereitschaft, die Blutabnahme an den Masthähnchen durchzuführen und ihre darin investierte Zeit und Mühe.

Der „9.30 Uhr Frühstücksrunde“ danke ich für heitere Frühstückszeiten, in denen viel gelacht wurde und ich stets auf ermunternde Worte vertrauen konnte. Danke, dass ihr mich so gut bei euch aufgenommen habt.

Kerstin danke ich für ein stets offenes Ohr und das freundschaftliche Verhältnis. Ich werde die kleinen Auszeiten bei ihr, ihrem Mann Dirk und all ihren Vierbeinern vermissen.

Katrin, Tanja und Katha danke ich für ihre großartige Unterstützung im zweiten und dritten Experiment.

Bei Steph möchte ich mich für ihre Freundschaft und moralische Unterstützung bedanken.

Ruth und Lilli danke ich für unsere schöne gemeinsame Zeit in der Mittelstraße. Unser „philosophisches Sonntagsfrühstück“ wird mir fehlen.

Ute und Inka danke ich dafür, dass sie mir Wallace und Meintse anvertraut haben und mir so wunderbare Stunden ermöglicht haben, nach denen ich wieder einen freien Kopf für die Arbeit hatte.

An Anna geht ein großes Dankeschön für ihre zahlreichen Tipps und Tricks, ihre Hilfsbereitschaft, Freundschaft und für ihren tollen Backwerke, die die Arbeitstage versüßt haben.

Dominic und Daulat danke ich für die gute Stimmung im Büro. Sie haben heitere Momente ebenso ermöglicht wie konzentriertes Arbeiten. Ich wünsche euch beiden für die letzten verbleibenden Monate eurer Promotion alles Gute.

Bei Conny R. bedanke ich mich für ihre Freundschaft – ohne sie wäre das Studium in Göttingen nicht dasselbe gewesen.

Tina danke ich für ihre langjährige Freundschaft, ihre Unterstützung und dafür, dass ich mich immer auf sie verlassen kann.

Marcus danke ich von ganzem Herzen für sein Vertrauen, seine Geduld mit mir und dafür, dass er so ist, wie er ist. Einfach großartig.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, die nie an mir zweifelte und mich immer unterstützt. Danke, dass ihr mir mein Studium ermöglicht habt. Danke, dass ihr immer für mich da seid. Danke, dass es euch gibt.