

**Ernährungsphysiologische Bewertung von
teilentfettetem Larvenmehl der schwarzen
Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) für den
Einsatz in ressourcenschonenden
Ernährungskonzepten der Schweine- und
Hähnchenmast**

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. sc. agr.) der Fakultät für
Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Susanne Rothstein, geb. Velten

geboren am 01.12.1985, in Heinsberg

Göttingen, im Dezember 2018

- 1. Gutachter: Prof. Dr. F. Liebert**
- 2. Gutachter: Prof. Dr. Dr. S. Dänicke**
- 3. Gutachter: Prof. Dr. D. Mörlein**

Tag der mündlichen Prüfung: 08. Februar 2019

Meinem Mann
&
Meiner ganzen Familie

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VI
Anhangs-Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
Zusammenfassung	XI
Abstract	XIII
1 Einleitung	1
2 Literaturrecherche	4
2.1 Insekten als alternative Proteinquelle	4
2.1.1 Risiken, Sicherheit und Akzeptanz.....	4
2.1.2 Futtermittelrechtliche Rahmenbedingungen.....	7
2.1.3 Vorteile von Insekten im Sinne der Nachhaltigkeit.....	8
2.2 Die schwarze Soldatenfliegenlarve (<i>Hermetia illucens</i>)	10
2.2.1 Verbreitung	10
2.2.2 Biologie und Lebenszyklus.....	11
2.2.3 Verdauung – Enzymatisches und bakteriologisches System.....	13
2.2.4 Aufzuchtstrategien	14
2.2.5 Ernährungsphysiologische Eigenschaften	15
2.2.6 Einsatz in der Tierernährung	24
3 Zielstellung	31
4 Material und Methoden	32
4.1 Versuche mit Masthähnchen	32
4.1.1 Versuchskonzeption	32
4.1.2 Herkunft, Haltung und Fütterung der Tiere	38
4.1.3 Futterherstellung.....	41
4.1.4 Futterkomponenten und Versorgungsempfehlungen	41
4.1.5 Versuchsfuttermischungen	44
4.2 Versuche mit Mastschweinen	55
4.2.1 Versuchskonzeption	55
4.2.2 Herkunft, Haltung und Fütterung der Tiere	59
4.2.3 Futterherstellung.....	65
4.2.4 Futterkomponenten und Versorgungsempfehlungen	65
4.2.5 Versuchsfuttermischungen	67
4.3 Datenerfassung	74
4.3.1 Sammlung und Aufarbeitung der Exkremente.....	74

Inhaltsverzeichnis

4.3.2	Zootechnische Parameter	75
4.3.3	Ganzkörperanalyse.....	76
4.3.4	Proteinqualitätsparameter.....	77
4.4	Chemisch-analytische Methoden.....	85
4.5	Statistische Auswertung.....	87
5	Ergebnisse.....	88
5.1	Ergebnisse der Wachstumsversuche I bis III mit Masthähnchen.....	88
5.1.1	Zootechnische- und Aufwandsparameter.....	88
5.1.2	Ergebnisse der Ganzkörperanalyse	93
5.1.3	Parameter der Protein- und Energieverwertung	96
5.1.4	Scheinbare precaecale Verdaulichkeit	99
5.2	Ergebnisse der N-Bilanzversuche I und II mit Masthähnchen.....	100
5.2.1	N-Bilanzversuch I.....	100
5.2.2	N-Bilanzversuch II.....	103
5.3	Ergebnisse der Wachstumsversuche I und II mit Ferkeln	108
5.3.1	Zootechnische- und Aufwandsparameter.....	108
5.3.2	Scheinbare precaecale Verdaulichkeit	109
5.4	Ergebnisse der Wachstumsversuche I und II mit Mastschweinen.....	110
5.5	Ergebnisse des N-Bilanzversuches I mit Ferkeln und Mastschweinen.....	112
6	Diskussion.....	114
6.1	Wachstumsversuche Masthähnchen	114
6.1.1	Zootechnische- und Aufwandsparameter.....	114
6.1.2	Ganzkörperzusammensetzung und Nährstoffansatz	119
6.1.3	Proteinqualität.....	121
6.1.4	Scheinbare precaecale Verdaulichkeit	123
6.2	N-Bilanzversuche Masthähnchen.....	126
6.2.1	N-Verwertungsparameter Masthähnchen	126
6.3	Wachstumsversuche Ferkel und Mastschweine	129
6.3.1	Zootechnische- und Aufwandsparameter Ferkel	129
6.3.2	Scheinbare precaecale Verdaulichkeit Ferkel	130
6.3.3	Zootechnische Parameter Mastschweine	132
6.4	N-Bilanzversuche Ferkel und Mastschweine.....	133
6.4.1	N-Verwertungsparameter Ferkel und Mastschweine.....	133
6.5	Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von teilentfettetem <i>Hermetia illucens</i> Larvenmehl	136
6.5.1	Nährstoff- und AS-Zusammensetzung	136
6.5.2	Umrechnungsfaktor N : XP	140
6.5.3	Chitin	141
7	Schlussfolgerung	143

Inhaltsverzeichnis

Literaturverzeichnis.....	144
Lebenslauf	179
Wissenschaftliche Publikationen und Tagungsbeiträge (alphabetisch)	180
Anhangs-Tabellen.....	183
Danksagung-	201

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nährstoffzusammensetzung der schwarzen Soldatenfliege (modifiziert nach Cockcroft, 2018)	17
Tabelle 2: Mittelwerte (\pm Standardfehler) der Rohnährstoffgehalte von Hausfliegenlarven-Mehl in Abhängigkeit der Verarbeitungsmethode (modifiziert nach FASAKIN <i>et al.</i> , 2003)	18
Tabelle 3: Mittlere Rohprotein- (XP) und Rohfett-(XL) Gehalte der schwarzen Soldatenfliegenlarve, aufgewachsen auf unterschiedlichen Futtersubstraten (modifiziert nach WANG und SHELOMI, 2017).....	19
Tabelle 4: Aminosäuregehalte (g/16 g N) von <i>Hermetia illucens</i> -Larven und -Präpuppen im Vergleich zu Sojaextraktionsschrot und Aminosäuren-Relationen (Referenz Lysin = 100).....	20
Tabelle 5: Fettsäurezusammensetzung (% der Gesamtfettsäuren) von schwarzen Soldatenfliegenlarven und -Präpuppen aus verschiedenen Studien	22
Tabelle 6: Mineralstoffgehalte (g/kg TS) von schwarzen Soldatenfliegenlarven und Präpuppen, gezüchtet auf unterschiedlichem Futtersubstrat	23
Tabelle 7: <i>Hermetia illucens</i> Larven und -Präpuppen in Futtermischungen für Ferkel.....	29
Tabelle 8: Versuchskonzept Wachstumsversuch I (Mai/Juni 2016), II (Sept./Okt. 2016) und III (Feb./März 2017) mit Masthähnchen.....	35
Tabelle 9: Versuchskonzept N-Bilanzversuche I (Mai/Juni 2016), II (Sept./Okt. 2016) und III (Feb./März 2017) mit Masthähnchen.....	37
Tabelle 10: Nährstoff- und Aminosäuren-Gehalte der verwendeten Hauptproteinquellen	43
Tabelle 11: Festgesetzte Zielgrößen für die Gehalte an Energie, Rohprotein, Kalzium, Phosphor und Natrium für die Versuchsfuttermischungen der Masthähnchen (nach PASTOR, 2014)	43
Tabelle 12: Ideales Aminosäurenverhältnis für Masthähnchen in der Starter- und Grower-Phase (WECKE und LIEBERT, 2013)	44
Tabelle 13: Versuchsfuttermischungen Masthähnchen Wachstumsversuch I	46
Tabelle 14: Versuchsfuttermischungen Masthähnchen Wachstumsversuch II	48
Tabelle 15: Versuchsfuttermischungen Masthähnchen Wachstumsversuch III	50
Tabelle 16: Versuchsfuttermischungen Masthähnchen N-Bilanzversuch I.....	52
Tabelle 17: Versuchsfuttermischungen Masthähnchen N-Bilanzversuch II.....	54
Tabelle 18: Versuchskonzept Wachstumsversuche I (Juni/Juli 2016) und II (Oktober 2016) mit Ferkeln	57
Tabelle 19: Versuchskonzept Wachstumsversuche I (Juli-September 2016) und II (November/Dezember 2016) mit Mastschweinen ab25 kg LM	58
Tabelle 20: Versuchskonzept Bilanzversuche I (Juli 2016) und II (Okt./Nov. 2016) mit Ferkeln (25 kg LM) und Bilanzversuche I (Aug./Sept. 2016) und II mit Mastschweinen (Dez. 2016) (60 kg LM)	59
Tabelle 21: Verwendete Zielgrößen der Nährstoff- und Aminosäuregehalte für die Versuchsfuttermischungen der Ferkel.....	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 22: Verwendete Zielgrößen der Nährstoff- und Aminosäuregehalte für die Versuchsfuttermischungen der Mastschweine ab 25 kg LM.....	67
Tabelle 23: Versuchsfuttermischungen Ferkel- und Mastschweine-Wachstumsversuch I (11 bis 120 kg LM) .	69
Tabelle 24: Versuchsfuttermischungen Ferkel- und Mastschweine-Wachstumsversuch II (11 bis 120 kg LM)	71
Tabelle 25: Versuchsfuttermischungen Ferkel- und Mastschweine-N-Bilanzversuch I (25 kg LM und 60 kg LM)	73
Tabelle 26: Zootechnische- und Aufwandsparemeter in Wachstumsversuch I bis III unterteilt in Starter- und Grower-Phase	89
Tabelle 27: Ganzkörperzusammensetzung der Masthähnchen nach Versuchsende von Wachstumsversuch I bis III.....	94
Tabelle 28: Ansatzparameter der Masthähnchen nach Versuchsende von Wachstumsversuch I-III.....	95
Tabelle 29: Parameter der Protein- und Energieverwertung (in %) der Wachstumsversuche I bis III über die gesamte Versuchsdauer (LT 1 bis 34/35).....	97
Tabelle 30: Scheinbare precaecale Rohprotein- und Aminosäureverdaulichkeit (%) am Versuchsende der Wachstumsversuche I bis III der Masthähnchen	99
Tabelle 31: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen in der Starter- und Grower-Phase des N-Bilanzversuches I .	101
Tabelle 32: Abgeleitete N-Verwertungskennzahlen der Starter- und Grower-Phase für N-Bilanzversuch I ...	102
Tabelle 33: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen in der Starter- und Grower-Phase für Bilanzversuch II.....	105
Tabelle 34: Abgeleitete N-Verwertungskennzahlen (PPW und NPU) der Starter- und Grower-Phase für N-Bilanzversuch II	106
Tabelle 35: Zootechnische- und Aufwandsparemeter Wachstumsversuche I und II Ferkel.....	109
Tabelle 36: Scheinbare precaecale Protein- und Aminosäureverdaulichkeit der Ferkel (25 kg LM) bestimmt am Ende von Wachstumsversuch I und II	110
Tabelle 37: Zootechnische- und Aufwandsparemeter Wachstumsversuche I und II Mastschweine (25 bis 75 kg LM)	111
Tabelle 38: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen und N-Verwertungskennzahlen mit Ferkeln (25 kg LM) in Bilanzversuch I	112
Tabelle 39: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen und N-Verwertungskennzahlen mit Mastschweinen (60 kg LM) in N-Bilanzversuch I.....	113

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lebenszyklus der schwarzen Soldatenfliegenlarve (<i>Hermetia illucens</i>). Eigene Darstellung in Anlehnung an Caruso et al. (2013).....	12
Abbildung 2: Haltung der Versuchstiere im Wachstumsversuch.....	39
Abbildung 3: Bilanzkäfig während der Grower-Phase (Abbildung aus PASTOR, 2014).....	40
Abbildung 4: Haltung der Ferkel in Wachstumsversuch I und II	60
Abbildung 5: Haltung der Mastschweine im Wachstumsversuch ab ca. 25 kg LM.....	62
Abbildung 6: links: Stoffwechselkäfig für Ferkel; rechts: Stoffwechselkäfig für Schweine	63
Abbildung 7: Skizze eines Stoffwechselkäfiges für Ferkel und Schweine.....	64
Abbildung 8: Schema der Chymusentnahme für die Untersuchung der scheinbaren precaecalen Verdaulichkeit (spcV) beim Masthähnchen	82
Abbildung 9: Schema der Chymusentnahme für die Untersuchung der scheinbaren precaecalen Verdaulichkeit (spcV) beim Ferkel.....	83
Abbildung 10: Vergleichende Darstellung der mittleren Lebendmasseentwicklung der Wachstumsversuche I bis III Masthähnchen.....	91
Abbildung 11: Vergleichende Darstellung des mittleren Futteraufwandes der Wachstumsversuche I bis III Masthähnchen über die gesamte Wachstumsphase (LT 1 bis 34/35).....	92
Abbildung 12: Vergleichende Darstellung des mittleren Energie- und Proteinaufwandes der Wachstumsversuche I bis III Masthähnchen über die gesamte Wachstumsphase (LT 1 bis 34/35)	93
Abbildung 13: Vergleichende Darstellung des standardisierten physiologischen Proteinnutzwertes der Wachstumsversuche I bis III Masthähnchen	98
Abbildung 14: Mittlere Ergebnisse des standardisierten physiologischen Proteinnutzwertes der Starter- und Grower-Phase von N-Bilanzversuch I.....	103
Abbildung 15: Mittlere Ergebnisse des standardisierten physiologischen Proteinnutzwertes der Starter- und Grower-Phase von N-Bilanzversuch II.....	107
Abbildung 16: Vergleichende Darstellung der AS-Zusammensetzung von Sojaextraktionsschrot (SES) und teilentfettetem <i>Hermetia illucens</i> Larvenmehl (HIM).....	137
Abbildung 17: Direkter Vergleich der AS-Relationen von teilentfettetem <i>Hermetia illucens</i> -Mehl (HIM) mit dem IAAR von Masthähnchen in der Starter- und Grower-Phase (WECKE und LIEBERT, 2013). Zu beachten: Referenz ist zum besseren Vergleich der analysierte Lysingehalt des Proteinträgers HIM (5,42 g/16 g N).	138
Abbildung 18: Direkter Vergleich der AS-Relationen von teilentfettetem <i>Hermetia illucens</i> -Mehl (HIM) mit dem IAAR von Ferkeln und Masthähnchen (GfE, 2008, außer His: nach NRC, 2012). Zu beachten: Referenz ist zum besseren Vergleich der analysierte Lysingehalt des Proteinträgers HIM (5,42 g/16 g N).	140

Anhangs-Tabellenverzeichnis

Anhangs-Tabelle 1: Rohnährstoff- und Aminosäuren-Zusammensetzung eingesetzter Einzelfuttermittel	183
Anhangs-Tabelle 2: Zusammensetzung Prämix Masthähnchen	184
Anhangs-Tabelle 3: Zusammensetzung Prämix Ferkel und Mastschweine	185
Anhangs-Tabelle 4: Zootechnische- und Aufwandparameter Wachstumsversuch I-III Starterphase (LT 0-21)	186
Anhangs-Tabelle 5: Zootechnische- und Aufwandparameter Wachstumsversuch I-III Growerphase (LT 21- 34/35).....	187
Anhangs-Tabelle 6: Zootechnische- und Aufwandparameter Wachstumsversuch I-III über die gesamte Wachstumsphase (LT 1-34/35)	188
Anhangs-Tabelle 7: Nährstoffzusammensetzung- und ansatz der Ganzkörper am Ende der Wachstumsversuche I-III Masthähnchen.....	189
Anhangs-Tabelle 8: Parameter der Protein- und Energieverwertung sowie der Proteinqualität der Wachstumsversuche I-III Masthähnchen.....	190
Anhangs-Tabelle 9: Scheinbare precaecale Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeit (%) am Versuchsende der Wachstumsversuche I-III	191
Anhangs-Tabelle 10: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen in der Starter- und Grower-Phase des N- Bilanzversuches I.....	192
Anhangs-Tabelle 11: Abgeleitete N-Verwertungskennzahlen der Starter- und Grower-Phase für N- Bilanzversuch I	193
Anhangs-Tabelle 12: Abgeleitete N-Verwertungskennzahlen der Starter- und Grower-Phase für N- Bilanzversuch II	194
Anhangs-Tabelle 13: Zootechnische- und Aufwandparameter Wachstumsversuche I und II Ferkel	195
Anhangs-Tabelle 14: Scheinbare precaecale Protein- und AS-Verdaulichkeit der Ferkel (25 kg LM) bestimmt am Ende von Wachstumsversuch I und II	196
Anhangs-Tabelle 15: Zootechnische- und Aufwandparameter Wachstumsversuche I und II Mastschweine (25-75 kg LM)	197
Anhangs-Tabelle 16: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen und N-Verwertungskennzahlen mit Ferkeln (25 kg LM) in N-Bilanzversuch I	198
Anhangs-Tabelle 17: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen mit Mastschweinen (60 kg LM) in N-Bilanzversuch I	199

Abkürzungsverzeichnis

Neben den üblichen Abkürzungen des Dudens (27. Auflage, Dudenverlag 2017), den üblichen Einheiten des internationalen Einheitensystems sowie den Symbolen für chemische Elemente und Verbindungen werden folgende Abkürzungen verwendet:

AAFCO	engl.: Association of American Feed Control Officers = Verband amerikanischer Kontrollbehörden für Futtermittel
Ala	Alanin
AME _N	engl.: apparent metabolisable energy corrected for nitrogen = N-korrigierte umsetzbare Energie
AMP	Antimikrobielle Peptide
Arg	Arginin
AS	Aminosäure/n
Asp	Asparaginsäure
Cys	Cystein
EA	Energieaufwand
EFSA	engl.: European Food Safety Authority = Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
EPEF	eng.: European production efficiency factor
<i>et al.</i>	lat.: et alii/ et aliae = und andere
FA	Futtermittelverbrauch
FAO	engl.: Food and Agriculture Organization = Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen
FDA	engl.: Food and Drug Administration = Lebensmittel- und Arzneimittel- Überwachungsbehörde
FI	engl.: feed intake = Futtermittelaufnahme
FS	Frischsubstanz
GE	engl.: gross energy = Bruttoenergie
GKA	Ganzkörperanalyse/n
Glu	Glutaminsäure
Gly	Glycin
HI	<i>Hermetia illucens</i> (schwarze Soldatenfliege)
HIM	(teilentfettetes) <i>Hermetia illucens</i> Larven-Mehl
HM	Futtermischung mit HIM mit Basis-AS-Supplementierung
HM+	Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung
HM-LAS	Mischung HM+ mit kalkulatorisch erstlimitierender AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung
His	Histidin

Abkürzungsverzeichnis

IAAR	engl.: ideal amino acid ratio = ideales Aminosäuren-Verhältnis
Ile	Isoleucin
LAS	limitierende Aminosäure im Futterprotein
Leu	Leucin
LM	Lebendmasse
LM _{kg} ^{0,67}	metabolische Lebendmasse
LMZ	Lebendmassezunahme
LT	Lebenstag
Lys	Lysin
ME	engl.: metabolizable energy = umsetzbare Energie
Met	Methionin
NfE	Stickstoff(N)-freie-Extraktstoffe
NMR	N-Erhaltungsbedarf
NPN	Nicht-Protein-N
NPU	engl.: net protein utilization = physiologischer Proteinnutzwert
NPU _{std}	standardisierter physiologischer Proteinnutzwert
PA	Proteinaufwand
PPW	produktiver Proteinwert
Phe	Phenylalanin
Pro	Prolin
SD	engl.: standard deviation = Standardabweichung
Ser	Serin
SES	Sojaextraktionsschrot
spcV	scheinbare precaecale Verdaulichkeit
SPM	<i>Spirulina platensis</i> Mehl
Thr	Threonin
Trp	Tryptophan
TS	Trockensubstanz
Tyr	Tyrosin
Val	Valin
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V.
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein

Zusammenfassung

Um Importproteinträger wie Sojaextraktionsschrot (SES) zu ersetzen, erlangen alternative Proteinquellen zunehmend an Bedeutung in der Tierernährung. Verfolgt man die aktuellen internationalen Forschungsaktivitäten, so wird das Bestreben sichtbar, Insektenmehle zum teilweisen Austausch des traditionell genutzten SES in der Ernährung der Monogastride zu nutzen. Der Literatur können bereits umfangreiche Hinweise zum Einsatz von Insekten verschiedener Arten, Entwicklungsstadien und Aufbereitungsformen in der Geflügel-, Fisch-, Schweine- und Heimtierernährung entnommen werden.

Die Nutzung von Insekten als Proteinquelle ist aufgrund mehrerer Vorteile interessant. Die Reproduktionsgeschwindigkeit ist hoch und die Substratverwertung liegt bei sehr geringem Flächenbedarf auf hohem Niveau. Aktuell kann das größte Potential für eine industrielle Erzeugung von Insekten als Futtermittel bei den Larven von schwarzer Soldatenfliege (*Hermetia illucens*), Hausfliege (*Musca domestica*) und Mehlwurm (*Tenebrio molitor*) gesehen werden. Fragen nach den Substitutionsmöglichkeiten von SES als Proteinquelle durch Insektenlarvenmehl von *Hermetia illucens* wurden im Rahmen des vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur geförderten Projektes „Sustainability Transitions: Alternative Proteinquellen in sozio-technischer Perspektive“ bearbeitet und in der vorliegenden Arbeit insbesondere die Voraussetzungen für hohe Anteile an Insektenmehl im Futter von Masthähnchen und Mastschweinen erforscht.

Hierzu wurden kombinierte Wachstums- und N-Bilanzversuche mit Masthähnchen, Ferkeln und Mastschweinen durchgeführt. Ziel war es, den Proteinträger SES zu 50 %, 75 % und 100 % durch teilentfettetes Larvenmehl der schwarzen Soldatenfliegenlarve *Hermetia illucens* (HIM) bei unterschiedlichem Ergänzungsumfang durch kristalline Aminosäuren (AS) zu ersetzen. Die Effekte wurden durch die Bewertung der Akzeptanz der Futtermischungen, der zootechnischen Parameter, der Ganzkörperzusammensetzung, der Verdaulichkeit sowie der Proteinqualität der Futtermischungen auf Grundlage des Göttinger N-Verwertungsmodells evaluiert.

Die Ergebnisse nach 50 bis 100%igem Austausch von SES in der Futtermischung durch HIM bei angepasster AS-Supplementierung der Masthähnchen (Ross 308) präsentierten für alle Austauschniveaus vergleichbare beziehungsweise überwiegend signifikant bessere Werte für die *Hermetia*-Gruppe in Wachstum, Futteraufnahme (FI) und Futteraufwand (FA). Wurde die AS-Supplementation identisch zur Kontrolle mit SES durchgeführt, kam es bei einem 50%igen Austausch des SES zu signifikant schlechteren Wachstumsparametern. Wurde hingegen die kalkulatorisch erstlimitierende AS auf 80 % der Versorgungsempfehlung herabgesetzt, zeigten sich bei einem Austauschniveau von 75 % gleich gute Ergebnisse wie in der Kontrolle. Bei einem Austauschniveau von 100 % des SES erreichte die Fütterungsgruppe mit HIM signifikant bessere Werte im Wachstum und Futteraufwand als die Kontrollgruppe. Untersuchungen zum Rohpro-

teinansatz (XP-Ansatz) der Masthähnchen ergaben vergleichbare Ergebnisse zwischen der Kontrollgruppe und den HIM-Testmischungen bei adäquater AS-Supplementierung. Sowohl bei der precaecalen Rohproteinverdaulichkeit als auch der precaecalen AS-Verdaulichkeit bei einer Substitution von 50 % und 75 % des SES zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur Kontrollgruppe. Zusätzlich ergaben die durchgeführten N-Stoffwechselfersuche, dass Versuchsgruppen mit hohem Anteil an HIM bei entsprechender AS-Supplementierung eine vergleichbar gute oder nur geringfügig schlechtere Proteinqualität aufweisen konnten als Versuchsgruppen mit SES als Hauptproteinträger. Eine passgenaue Ergänzung mit kristallinen AS war demnach eine zielführende Voraussetzung für hohe Mischungsanteile an Insektenmehl.

Bei den Fütterungsversuchen mit Ferkeln [PIC 408 x (Large White x Landrace)] zeigten sich sowohl bei einem 50%igen (25 Versuchstage) als auch bei einem 75%igen (21 Versuchstage) Austausch von SES gegen HIM bei Einhaltung optimaler AS-Relationen durch AS-Zulagen in den Mischungen keine signifikanten Unterschiede in den untersuchten zootechnischen Parametern. Wurden die Mischungen exakt wie in der Kontrollgruppe mit AS supplementiert, ergaben sich tendenziell schlechtere Ergebnisse für die HIM-Gruppe. Nach dem Fütterungsversuch wurde ein Teil der Ferkel geschlachtet und u. a. zur Untersuchung der precaecalen Verdaulichkeit herangezogen. Die Ergebnisse zeigten vergleichbare Werte wie in der Kontrollgruppe.

Weiterführende Untersuchungen mit einem Teil der Ferkel bis in einem Mastbereich von ca. 75 kg Lebendmasse und einem Austauschniveau von 50 % und 75 % des SES durch HIM ergaben vergleichbare Ergebnisse. Bei den N-Stoffwechselfersuchen wurde SES zu 100 % durch HIM substituiert. Die ersten Ergebnisse zeigten, dass durch eine adäquate AS-Supplementierung die Proteinqualität deutlich gesteigert werden konnte.

Das Insektenmehl der schwarzen Soldatenfliegenlarve (*Hermetia illucens*) ist aus ernährungsphysiologischer Sicht geeignet, einen beachtlichen Anteil des Sojaproteins im Futter für Masthähnchen und Mastschweine zu substituieren; allerdings immer unter Berücksichtigung einer adäquaten AS-Ergänzung. Zusätzlich müssen die futtermittelrechtlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz von verarbeiteten Insekten beachtet werden. Unter den Aspekten der Akzeptanz und Kombinationseignung bestehen bei dem Insektenmehl geringe Beschränkungen in der Einsatzhöhe. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um die Potentiale dieser Proteinquellen durch AS-Ergänzungen noch besser auszuschöpfen. Weiterhin sind Untersuchungen zur Wirksamkeit einzelner AS in dem alternativen Proteinträger zu empfehlen.

Abstract

Alternative protein sources are gaining importance to substitute imported soybean meal (SBM) in animal nutrition. Latest international research activities in monogastric livestock nutrition is focusing on the partial replacement of traditional SBM by insect meal. Numerous references on the use of different insect species, with varying stages of development, and varied processed forms, are available in scientific literature on poultry, fish, pig and pet nutrition. Some of these animal species originally would choose insects as protein sources as well. Several advantages are making the implementation of insects as a livestock feed attractive; the main positive characteristics are their rapid reproduction rate and the low amount of substrate and arable land needed for high performance. Today, the most potential for the industrialization of insects as feed has been observed for black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*), housefly larvae (*Musca domestica*) and mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). General questions on the possibilities to substitute SBM by insect meal from *Hermetia illucens* have been evaluated within the project: 'Sustainability Transitions in food production: alternative protein sources in socio-technical perspective', funded by the Lower Saxonian Vorab through the state's Ministry for Science and Culture. In particular, the high substitution levels of insect meal in diets for broiler and swine nutrition have been studied.

Combined grower and nitrogen-balance studies of meat-type chicken, piglets and fattening pigs were conducted to evaluate the exchange of SBM as the protein source at 50 %, 75 % and 100 % by partly defatted *Hermetia illucens* larvae meal (HIM) coinciding with different levels of crystalline amino acid (AA) supplementation. Studies were evaluated based on diet acceptance, zootechnical performance parameters, whole body analysis, examination of effect on digestibility, and protein quality validation of the diets in accordance to current applications of the "Goettingen approach".

At least comparable or even improved weight gain, feed intake and the feed conversion ratio were consistently recorded for the 50 % to 100 % SBM replacement by HIM with adjusted AA levels in Ross 308 meat type chicken. Only a basic level of AA supplementation similar to the control, 50 % substitution of SBM by HIM depressed the zootechnical parameters significantly.

If the level of the first limiting AA was reduced to 80 % of the recommendation, SBM replacement at 75 % resulted in similar, and 100 % SBM replacement resulted in improved weight gain and feed conversion ratio of meat type chickens that received HIM diets. Crude protein deposition of meat type chickens receiving HIM with adequate AA levels was comparable to the control diet containing SBM. The examination of precaecal crude protein and AA digestibility did not show significant differences for SBM replacement levels of 50 % and 75 %. Nitrogen-balance studies with meat type chickens confirmed that diets containing high volumes of HIM with adequate AA levels result in similar or slightly lower protein deposition in comparison to the control diet. Thus, crystalline AA supplementation is an expedient approach to implement high contents of HIM into

meat type chicken diets.

Feeding studies with piglets [PIC 408 x (Large White x Landrace)] showed equivalent zootechnical performance with 50 % (25 days period) and 75 % (21 days period) SBM substitution by HIM, when coinciding with the optimal AA-relation through AA-supplementation. When AA were supplemented exactly to the levels of the control diet, diets containing HIM tended towards lower performance. Some of the piglets were also examined to determine precaecal digestibility and exhibited similar results compared with control diet piglets. The residual piglets were fattened further targeting 75 kg final live weight. Pigs fed with diets substituted 50 % and 75 % of SBM with HIM resulted in comparable zootechnical performance. Within the scope of N-balance studies an HIM substitution level of 100 % SBM was evaluated. First results have shown that diets with adequate AA supplementation improved protein quality.

From a nutritional-physiological point of view black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) is suitable to substitute a major portion of SBM-based protein in diets for meat type chickens, piglets, and fattening pigs, if animal species related adequate amino acid supply is respected. Furthermore, the basic conditions within feed legislation must be kept in mind. High inclusion rates of insect meal are not limited by acceptability and combining ability. Nevertheless, further studies are needed to evaluate the potential of feeding this alternative protein source in diets to consider required amino acid supplementations, as well as studies on effectiveness of single AA within HIM should be included.

1 Einleitung

Bis zum Jahr 2050 wird ein Wachstum der Weltbevölkerung auf voraussichtlich 9,7 Milliarden Menschen prognostiziert, obgleich heute bereits eine Milliarde Menschen unter chronischer Mangelernährung leiden (ALEXANDRATOS und BRUINSMA, 2012).

Die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) schätzt daher eine notwendige Erhöhung der Produktion von Lebensmitteln auf 70 bis 100 %, um den bestehenden Mangel zu beheben und weitere zwei Milliarden Menschen ausreichend zu ernähren (FAO, 2013). Eine besondere Herausforderung ist dabei die Erzeugung von Protein tierischer Herkunft (SMITH *et al.*, 2013). Insbesondere die Ernährungsweise in den Schwellenländern entwickelt sich hin zu mehr Fleischkonsum (FAO, 2014). Dadurch wird die weltweite Fleischproduktion voraussichtlich von 320 Millionen Tonnen im Jahr 2016 auf 360 Millionen Tonnen im Jahr 2050 ansteigen (DBV, 2016). Um der Produktion an tierischem Protein nachzukommen, wird der Bedarf an Futterprotein parallel ansteigen (FAO, 2004).

Die Konkurrenz um landwirtschaftlich nutzbare Flächen zur Erzeugung von regenerativen Energien reduziert die weltweit zur Produktion von Nahrungsmitteln zur Verfügung stehende Ackerfläche zusätzlich. Die intensive Tierhaltung zur Erzeugung von tierischem Protein zur Nahrungsmittelherstellung (Fleisch, Milch und Eier) verbraucht insgesamt 35 % der gesamten Ackerpflanzenproduktion und nutzt zur Mischfutterproduktion hochwertiges Sojaextraktionsschrot (SES) als primäre Proteinquelle (FOLEY *et al.*, 2011). FISCHER *et al.* (2014) prognostizieren, bedingt durch die steigende Nachfrage nach Nahrungs- und Futtermitteln, einen Anstieg der Sojaproduktion von heute 217 Millionen Tonnen auf 390 Millionen Tonnen im Jahr 2050. Der Anbau von Soja findet vorrangig in subtropischen Regionen statt und ist daher maßgeblich für die Rodung von Wäldern verantwortlich (OSAVA, 1999). Der Anbau von gentechnisch veränderten Sorten (GARCIA und ALTIERI, 2005) unter zusätzlichem Aufwand von Pestiziden sowie hohen Mengen an mineralischem Dünger (FEARNSIDE, 2001) verbraucht große Mengen an Wasser (STEINFELD *et al.*, 2006) und führt zu Belastungen der Umwelt (OSAVA, 1999).

Aufgrund der negativen Umweltbeeinflussung, der Abhängigkeit vom Import sowie der sich ändernden Nachfrage am deutschen Fleischmarkt, werden geeignete Alternativen zu Soja als Futterprotein gesucht. Diese Alternativen müssen gesundheitlich unbedenklich sowie ökonomisch und ökologisch sinnvoll sein (STILES, 2016).

Aus ernährungsphysiologischer Sicht sollten proteinreiche Einzelfuttermittel für monogastrische Nutztierarten neben einem hohen Proteingehalt und gleichbleibender Qualität zudem über ein adäquates Aminosäuren (AS)-Profil, eine hohe Verdaulichkeit und Schmackhaftigkeit verfügen sowie keine antinutritiven Eigenschaften aufweisen (BARROWS *et al.*, 2008). Bei Betrachtung der aktuellen internationalen Forschungsaktivitäten wird zunehmend das Bestreben sichtbar, auch über Insektenmehle zum teilweisen Austausch des traditionell genutzten SES in der Ernährung

der Monogastride beizutragen. Aufgrund des hohen Proteingehalts und einer gegenüber anderen tierischen Proteinquellen vergleichbaren AS-Zusammensetzung (FINKE, 2002, 2004, 2012; VAN HUIS *et al.*, 2015) wird Insekten, insbesondere in Europa, eine erhöhte Aufmerksamkeit zuteil (SHOCKLEY und DOSSEY, 2014). Weitere Vorteile der Insekten bestehen in der Option, sie auf industriellen Nebenprodukten und organischem Abfall aufwachsen zu lassen (NEWTON, 2005b). Zudem zeigen sie eine hohe Futtermittelverwertung sowie hohe Fruchtbarkeit und geringe Platzansprüche in der Aufzucht (RUMPOLD und SCHLÜTER, 2013). Darüber hinaus könnte die Nutzung von Insekten positiven Einfluss auf die Umwelt haben: Die Produktion benötigt weniger Energie sowie eine geringere Flächennutzung und bedingt eine geringere Umweltbelastung (PIMENTEL *et al.*, 1975; MAKKAR *et al.*, 2014). Aktuell kann das größte Potential für eine industrielle Erzeugung von Insekten als Futtermittel bei der schwarzen Soldatenfliege, der Hausfliege und dem Mehlwurm gesehen werden (VAN HUIS *et al.*, 2013; VELDKAMP und BOSCH, 2015), wobei in Bezug auf die Nährstoffzusammensetzung ihrer Larven die schwarze Soldatenfliege *Hermetia illucens* (HI) mit die aussichtsreichste Spezies darstellt (MAKKAR *et al.*, 2014).

In der Europäischen Union ist seit dem 1. Juli 2017 der Einsatz von insektenbasierten und unter spezifizierten Herstellungsverfahren verarbeiteten Produkten in der Fütterung von Aquakulturen bereits zugelassen (Commission Regulation (EU) 2017/893). Eine Zulassung in der Geflügel- und Schweinefütterung steht aktuell noch aus (VANTOMME, 2015).

Die meisten Studien im Bereich Insekten in der Geflügelfütterung wurden mit der Hausfliegenlarve (*Musca domestica*) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass bis zu 25 % Hausfliegenlarvenmehl in der Futtermischung auf Trockensubstanz (TS)-Basis ohne negative Effekte auf Lebendmassenentwicklung, Futteraufnahme (FI) und Futteraufwand (FA) eingesetzt werden konnten (PRETORIUS, 2011). In Mischungen für Masthähnchen auf SES-Basis, konnten Mehlwürmer (*Tenebrio molitor*) ebenfalls ohne Einschränkungen in FI, Lebendmassezunahme (LMZ) und FA verwendet werden (RAMOS-ELORDUY und PINO, 2002). Zusätzliche Untersuchungen von SCHIAVONE *et al.* (2014) zeigten, dass der Einsatz des Mehlwurms einen Gehalt von 25 % der Gesamtfuttermischung nicht übersteigen darf, da ansonsten Wachstumsdepressionen auftraten. DE MARCO *et al.* (2015) präsentierten in einer Studie mit Masthähnchen, dass die Larven der HI eine hervorragende Protein- und Energiequelle darstellen. Darüber hinaus resultierte der Einsatz von HI-Larven bei der Fütterung von Masthähnchen in einer höheren LMZ (OLUOKUN, 2000). Auch MAKKAR *et al.* (2014) kamen zu dem Ergebnis, dass die schwarze Soldatenfliegenlarve als Substitut für SES, gleichwertige Mastleistung bei besserer Futtermittelverwertung der Hähnchen liefern kann.

Insekten scheinen ebenfalls eine adäquate Proteinquelle in der Schweinefütterung zu sein, wie NEWTON *et al.* (1977) in einer Akzeptanzstudie mit dem Einsatz von 33 % vollfetten HI-Larvenmehl in der Versuchsfuttermischung für Schweine zeigen konnten. DANKWA *et al.* (2000) substituierten ohne Wachstumseinbußen 100 % des Fischmehls in Futtermischungen für Ferkel durch

nicht entfettetes Larvenmehl der Hausfliege (*Musca domestica*). Weitere Experimente von Ji *et al.* (2016) an früh abgesetzten Ferkeln zeigten, dass 5 % des eingesetzten Plasmaproteins ohne negativen Effekt auf FI und Wachstumsleistung durch die unterschiedlichen Insektenspezies Mehlwurm (*Tenebrio molitor*), Hausfliegenlarve (*Musca domestica*) und großer Schwarzkäfer (*Zophobas morio*) in der Futtermischung substituiert werden konnten.

Diese Ergebnisse zeigen erste Tendenzen, sind aber noch nicht ausreichend, um eine eindeutige Aussage über den Einsatz von Insekten und im speziellen der HI in der Mastschweine- und Masthähnchenfütterung treffen zu können.

Im Rahmen des vom Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur geförderten Projektes „Sustainability Transitions: Alternative Proteinquellen in sozio-technischer Perspektive“ wurden in der vorliegenden Arbeit die Substitutionsmöglichkeiten von SES durch teilentfettetes Larvenmehl der schwarzen Soldatenfliegenlarve *Hermetia illucens* (HIM) in der Tierernährung erforscht. Hierzu wurde in kombinierten Wachstums- und N-Bilanzstudien mit Ferkeln, Mastschweinen und Masthähnchen insbesondere die Voraussetzung für den Einsatz hoher Anteile des HIM in Futtermischungen untersucht.

2 Literaturrecherche

2.1 Insekten als alternative Proteinquelle

Unter Entomophagie ist der Verzehr von Insekten zu verstehen und dieser wurde auf allen besiedelten Kontinenten der Erde nicht nur in der Vergangenheit praktiziert (RAMOS-ELORDUY, 2009; AYIEKO, *et al.*, 2010), sondern reicht bis in die heutige Zeit (YEN, 2008; JOHNSON, 2010; MEYER-ROCHOW und CHAKRAVORTY, 2013). In einigen europäischen Szene-Restaurants spielen Insekten eher eine prominente Rolle (HANBOONSONG, 2010) oder werden als Mutprobe angesehen, während sie in anderen Restaurants eher als unappetitlich oder tabu angesehen werden (YEN, 2009).

Insgesamt wird die Entomophagie stark durch religiöse und kulturelle Auffassungen beeinflusst (VAN HUIS *et al.*, 2013). In Entwicklungsländern, in denen die Menschen einen Mangel an tierischem Protein erfahren, ist Entomophagie ein Teil der täglichen Lebensweise (YEN, 2009; CHAKRAVORTY *et al.*, 2011; EXPO, 2011). Um Entomophagie in Europa zu etablieren, müssten diverse Hürden (wie z. B. regulatorische Rahmenbedingungen und Konsumentenakzeptanz) überwunden werden.

Darüber hinaus haben sich Insekten als Proteinquelle im Futter als besonders vielversprechend erwiesen (RUMPOLD, und SCHLÜTER, 2014). Insekten wurden bereits für eine Vielzahl unterschiedlicher Tierarten als Futtermittel genutzt (FINKE *et al.*, 1985). Weltweit konnten ungefähr 2.000 Arten essbarer Insekten für Human- und Tierernährung identifiziert werden (RAMOS-ELORDUY, 2005). Verschiedene Insektenarten wurden insbesondere auf ihre Eignung als Proteinquelle für unterschiedliche Nutztierarten erforscht (AWONIYI *et al.*, 2003; NEWTON *et al.*, 2005b; ST-HILAIRE *et al.*, 2007a; HOPLEY, 2015).

Wildvögel sowie Geflügel in Freilandhaltung verzehren Insekten täglich als Teil ihrer natürlichen Nahrungsgrundlage ohne gesundheitliche Schäden (MIAO *et al.*, 2005). Alle Lebensstadien der Insekten stellen grundsätzlich eine geeignete tierische Proteinquelle in der tierischen Ernährung dar (BOVERA *et al.*, 2016). Insekten besitzen dabei nicht nur einen hohen Proteingehalt (30 bis 80 % in der TS), sondern ebenfalls einen hohen Fettgehalt (bis zu 36 % in TS) mit 19 bis 70 % ungesättigte Fettsäuren bei guter Schmackhaftigkeit (DE FOLIART, 1992; MAKKAR *et al.*, 2014). Zusätzlich sind Insekten reich an Mineralen und Vitaminen (CHAPMAN, 1998).

2.1.1 Risiken, Sicherheit und Akzeptanz

Um die Sicherheit von Insekten in der Tierernährung zu bewerten, hat die Europäische Kommission die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) damit beauftragt, eine Risikoanalyse durchzuführen. Im Zuge dessen wurde unter anderem die mikrobiologische Unbedenklichkeit von Insektenfuttermitteln geprüft. Die Mikroben im Darm der Insekten spielen eine wichtige Rolle für ihren Metabolismus sowie ihr Verhalten und Überleben. Die Frage, die

sich daraus ergibt ist, ob diese Mikroben eine potenzielle Gefahr für Nutztiere und Menschen darstellen und ob diese über die Nahrungsmittelkette übertragen werden können (EFSA, 2015).

Grundsätzlich gehören Insektenpathogene einer anderen Taxonomie an als Pathogene der Wirbeltiere. Da sich ihre Wirte physiologisch unterscheiden, können Insektenpathogene für Menschen und Nutztiere als ungefährlich eingestuft werden (EFSA, 2015; VAN HUIS *et al.*, 2013). Jedoch kann das Substrat, auf dem die Insekten gehalten werden, z. B. im Falle von Exkrementen wie Kuhmist, bereits mit Krankheitserregern wie Bakterien oder Viren kontaminiert sein. In einem solchen Fall ist es möglich, dass unverarbeitete Insekten als Vektoren fungieren und so die Pathogene über die gesamte Lebensmittelkette verbreiten (EFSA, 2015). Durch vorheriges Behandeln der Insekten können Pathogene unschädlich gemacht werden. So können mikrobiologische Risiken beispielsweise durch Verfahren wie Hitze- oder Druckbehandlungen, welche in der Futtermittelindustrie bereits Anwendung finden, verringert werden. Dabei sollte jedoch sichergestellt sein, dass aus der Behandlung der Insekten keine neuen Risiken hervorgehen (SMITH und BARNES, 2015).

Da Insekten selbst keine Prion-Proteine (Kurzbezeichnung für „proteinaceous infectious particles“, proteinartige infektiöse Partikel) synthetisieren können, spielen diese eher eine untergeordnete Rolle. Prion-Proteine von Säugetieren können sich darüber hinaus nicht in Insekten vermehren. Daher können Insekten nicht als biologische Vektoren von Prionen fungieren. Jedoch besteht hier erneut die Möglichkeit der Verbreitung durch Insekten als mechanische Vektoren (EFSA, 2015).

CHARLTON *et al.* (2015) haben darüber hinaus verschiedenen Insektenarten auf Pestizide, Schwermetalle, Dioxine und Mykotoxine analysiert. Toxine können z. B. von Insekten selbst als Abwehrstoff gegen Fressfeinde synthetisiert werden (EFSA, 2015). Das Niveau chemischer Kontaminanten lag jedoch sowohl unter den Empfehlungen der Europäischen Kommission als auch unter denen der Weltgesundheitsorganisation. Lediglich für die Hausfliege konnten erhöhte Gehalte des Schwermetalls Cadmium festgestellt werden. Möglicherweise besaß das Nährsubstrat bereits erhöhte Cadmiumwerte. Die genaue Ursache dafür war jedoch unklar, daher sind weitere Analysen notwendig (CHARLTON *et al.*, 2015).

Sowohl chemische als auch biologische Gefährdungen sind vom Produktionsverfahren, dem Entwicklungsstadium der Insekten, der Insektenart und von der Weiterverarbeitung abhängig (EFSA, 2015). Das größte Risiko geht jedoch vom Substrat aus, auf dem die Insekten aufgezogen und gehalten werden.

Neben den potenziellen dargestellten Risiken können zusätzlich Akzeptanzprobleme durch den Verbraucher eine Barriere darstellen, Insekten als Futtermittel in der Tierernährung zu integrieren. Bisher ist nur wenig darüber bekannt, wie groß die Bereitschaft der Konsumenten ist, solche Produkte in die Esskultur aufzunehmen (SMITH und BARNES, 2015; VERBEKE *et al.*,

2015). VERBEKE *et al.* (2015) führten eine Studie mit 415 Probanden durch. Die Studie sollte die Einstellung von Landwirten, Akteuren aus dem Agrarsektor und anderen Bürgern zur Einführung von Insekten in die Tierernährung ermitteln. Mit 196 Teilnehmern war die Interessensgruppe der Landwirte am stärksten vertreten. Wie sich herausstellte, war es gerade diese Gruppe, die sich dem Thema gegenüber am kritischsten zeigte. Besonders Wiederkäuer haltende Landwirte nahmen potenzielle Risiken der Einführung von Insekten als Futtermittel stärker wahr als deren Vorteile. VERBEKE *et al.* (2015) benennen als mögliche Ursache, dass Insekten für den Menschen selbst häufiger als Schädlinge gesehen werden. Möglicherweise beruht die Sensibilität der Landwirte gegenüber diesem Thema auf der täglichen Konfrontation mit den Insekten. Trotzdem war knapp über die Hälfte der Landwirte dazu bereit, Insekten als Futtermittel für Nutztiere zu akzeptieren. Darüber hinaus konnte sich ein Viertel sogar vorstellen, Insekten im eigenen Betrieb als Futtermittel zu integrieren, wenn diese verfügbar wären (VERBEKE *et al.*, 2015).

Die Einstellung aller Gruppen war dem Thema gegenüber grundsätzlich positiv. Im Bereich der Fisch- und Geflügelernährung zeigte sich eine höhere Akzeptanz, Insekten als Futtermittel einzusetzen. Dies begründet sich dadurch, dass Insekten unter natürlichen Bedingungen ebenfalls zum Nahrungsangebot von Fischen und Geflügel gehören. Grundsätzlich wird der Zugang zu natürlichen Futtermitteln mit der Vorstellung verbunden, dass Tiere ihrem natürlichen Fressverhalten nachgehen können. Das Ausüben von natürlichem Verhalten wird wiederum mit verbessertem Tierwohl assoziiert (VANHONACKER und VERBEKE, 2014; VERBEKE *et al.*, 2015). Insgesamt waren rund zwei Drittel der Probanden dazu bereit, Insekten als Futtermittel für Nutztiere zu akzeptieren (VERBEKE *et al.*, 2015).

SMITH und BARNES (2015) führten ebenfalls eine Akzeptanzstudie durch, in der 1.302 Probanden befragt wurden, ob sie das Fleisch von mit Insekten gefütterten Nutztieren verzehren würden. Mit insgesamt 72,6 % der Befragten äußerte sich auch in dieser Studie die Mehrheit positiv gegenüber der Verfütterung von Insekten. Konsumenten sind immer stärker daran interessiert zu erfahren, wie ihre Lebensmittel produziert werden (SMITH und BARNES, 2015). Daher hängt die Entscheidung, Insekten in der Tierernährung zu akzeptieren von der eigenen Einstellung Insekten zu konsumieren ab (VERBEKE *et al.*, 2015). Entsprechend ist es von entscheidender Bedeutung, der Öffentlichkeit ausreichend Informationen über Insekten als Nahrungs- und Futtermittel zugänglich zu machen, um diese für den Einsatz von Insekten in der Tierernährung zu sensibilisieren (SMITH und BARNES, 2015).

2.1.2 Futtermittelrechtliche Rahmenbedingungen

Futtermittelrechtlich besteht international aktuell keine einheitliche Regelung für Insekten als Futtermittel, innerhalb der EU ist für Insekten als Futtermittel eine Zuordnung zum Komplex „verarbeitete tierische Proteine“ von Nutzinsekten erfolgt. Demnach sind die HI, Hausfliege (*Musca domestica*), Mehlwurm (*Tenebrio Molitor* und *Alphitobius diaperinus*) sowie drei Grillenarten (*Acheta domesticus*, *Grylloides sigillatus*, *Gryllus assimilis*) als geeignet eingeordnet worden (Commission Regulation (EU) 2017/893). Sie erfüllen die Sicherheitsaspekte für die Insektenproduktion als Futtermittel für Nutztiere und Haustiere.

Unter Einhaltung einer Reihe von Bedingungen sind diese verarbeiteten Nutzinsekten seit dem 01. 07. 2017 für den Einsatz im Fischfutter zugelassen. Zu den Bedingungen zählen: „Die Insekten dürfen nicht pathogen sein oder andere negative Auswirkungen auf die Gesundheit von Pflanzen, Tieren oder Menschen haben; sie dürfen nicht als Vektoren für menschliche, tierische oder pflanzliche Krankheitserreger in Frage kommen; sie dürfen nicht als invasive fremde Arten geschützt oder definiert sein“ (Commission Regulation (EU) 2017/893). Darüber hinaus zählt zu den wesentlichen Bedingungen, dass nur Futtermittel als Ernährungsgrundlage für die Insekten zulässig sind. Demnach sind Proteine von Wiederkäuern, Abfälle des Gastronomie- und Lebensmittelhandels sowie Exkrete jeder Art untersagt. Dies gilt gleichermaßen für Importprodukte. Ausschließlich erlaubt sind Blutprodukte, Gelatine, Kollagene sowie hydrolysierte Proteine von Nichtwiederkäuern, Eier und Eiprodukte, Milch, Milchprodukte, Kolostrum sowie hydrolysierte Proteine von Häuten, Fellen, Klauen von Wiederkäuern. Ansonsten ist grundsätzlich das Spektrum der geeigneten Futtermittel zugelassen. Diese Beschränkungen eliminieren das Risiko einer Verunreinigung der Insekten durch Prionen, begrenzen jedoch ihre Verwendung stark auf enge Nährstoffkreisläufe.

Wie von WANG und SHELOMIE (2017) in ihrer Veröffentlichung zusammengefasst, gilt in den Vereinigten Staaten von Amerika Tierfutter als "Lebensmittel" und sollte von der Lebensmittel- und Arzneimittel-Überwachungsbehörde (FDA) reguliert werden. Die FDA hat jedoch für futtermittelbetreffende Verordnungen eine Vereinbarung mit dem Verband amerikanischer Kontrollbehörden für Futtermittel (AAFCO) getroffen (KLONICK, 2017). Die FDA und AAFCO würden jeweils die Produktion, Verpackung, Etikettierung, den Vertrieb, Verkauf sowie Import und Export von schwarzen Soldatenfliegenlarven für den direkten menschlichen und tierischen Verbrauch regulieren. Im August 2016 hat die AAFCO getrocknete Larven der HI zur Verwendung als Futtermittel für Lachsfische (*Salmonidae*) genehmigt (WANG und SHELOMIE, 2017). Diese Larven dürfen ausschließlich auf einem aus Futtermittel-Materialien kompostierten Ausgangsmaterial gezüchtet werden, welches nicht weniger als 34 % Rohprotein (XP) und 32 % Fett auf Futterbasis enthalten darf (AAFCO, 2016). Die Aufzucht von Insekten auf Exkreten mit anschließender Verfütterung an Nutztiere ist entsprechend auch in den USA derzeit nicht

zulässig. Durch diese Bestimmung sollen u. a. mögliche Risiken, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, eingedämmt werden.

2.1.3 Vorteile von Insekten im Sinne der Nachhaltigkeit

Zur Beurteilung, ob die Zucht von Insekten als Nahrungs- oder Futtermittel Vorteile im Sinne der Nachhaltigkeit mit sich bringen, wurden im Rahmen einer Lebenszyklus-Analyse (Life Cycle Assessment) der mit der Produktion verbundene Land- und Wasserverbrauch sowie die Treibhausgasemissionen betrachtet und bewertet (MEIXNER und MÖRL VON PFALZEN, 2018).

Wenn Insekten produziert werden, hat dies sowohl direkte als auch indirekte Auswirkungen auf die Umwelt. Dazu zählen, bedingt durch die Atmung und den Metabolismus sowie die Ausscheidungen der Insekten, z. B. CO₂-, CH₄-, N₂O- und NH₃- Emissionen.

Nutztiere werden für 9 % der CO₂-Emissionen, 35-40 % der CH₄-Emissionen, 65 % der N₂O-Emissionen und 64 % der NH₃-Emissionen verantwortlich gemacht (STEINFELD *et al.*, 2006).

Die Studie von OONINCX *et al.* (2010) beschäftigte sich mit der Quantifizierung direkter Emissionswerte fünf verschiedener Insektenarten. Es stellte sich heraus, dass Insekten identische oder teilweise weniger CO₂-Ausstöße pro kg LMZ als Schweine emittierten. Bei den Insektenarten *Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus* und *Locusta migratoria* konnte darüber hinaus kein CO₂-Ausstoß festgestellt werden. Der CH₄-Ausstoß fiel vergleichbar oder geringer aus als bei Schweinen und mehr als 20-mal geringer als bei Rindern. Zwei Insektenarten (*Tenebrio molitor* und *Locusta migratoria*) produzierten in signifikanten Mengen N₂O-Emissionen, ohne jedoch die Werte von Schweinen zu erreichen. Insgesamt wurde das Treibhausgaspotential von Insekten, gemessen in CO₂-Äquivalenten, kleiner als bei Schweinen und Rindern eingestuft. Darüber hinaus lagen die Werte für NH₃-Emissionen aller untersuchten Insekten unter den Werten der Nutztiere. Jedoch sollten diese Werte als vorläufig eingestuft werden und zusätzliche Studien zu direkten Treibhausgasemissionen von essbaren Insekten sollten folgen (HALLORAN *et al.*, 2016).

Indirekte Emissionen sowie andere Parameter der Umweltauswirkungen sollten nach Möglichkeit ebenfalls berücksichtigt werden, wofür sich z. B. die Ökobilanz eignet. Bislang wurden Ökobilanzen für Mehlwürmer, Hausgrillen, schwarze Soldatenfliegen und Stubenfliegen veröffentlicht (OONINCX und DE BOER, 2012; MIGLIETTA *et al.*, 2015; ROFFEIS *et al.*, 2015; VAN ZANTEN *et al.*, 2015; SMETANA *et al.*, 2016; HALLORAN *et al.*, 2017). Aus der Studie von OONINCX und DE BOER (2012) wurde ersichtlich, dass bei der Produktion von 1 kg Mehlwürmern rund 2,7 kg an CO₂-Äquivalenten ausgestoßen wurden. Dabei waren die Produktion und der Transport der benötigten Futtermittel für 56 % des Ausstoßes verantwortlich. Die Insekten selbst produzierten nur 0,3 % des Gesamtausstoßes. Wurden die Treibhausgasemissionen auf 1 kg essbares Protein bezogen, so stieg der Ausstoß der Produktion von 1 kg Mehlwürmer auf 14 kg CO₂-Äquivalenten. Diese Ergebnisse wurden anschließend mit dem Treibhauspotential

der Nutztiere aus der Literatur verglichen. Bei der Produktion von 1 kg essbarem Protein emittierten Hühner 1,3 bis 2,7-fach, Schweine 1,5 bis 3,9-fach und Rinder 5,5 bis 12,5-fach mehr Treibhausgase als Mehlwürmer (MEIXNER und MÖRL VON PFALZEN, 2018).

Die Bilanzierungen ermöglichten Vergleiche von Insektenproduktionssystemen mit sogenannten *Benchmarks*. Dementsprechend konnten z. B. Mehlwürmer als proteinreiches Lebensmittel mit Milch verglichen werden. Auf gleiche Weise verglichen die Autoren Hausfliegen und schwarze Soldatenfliegen als Eiweißfuttermittel mit Fischmehlen und SES. In diesen Studien zeigte sich, dass der Energieverbrauch von Insektenproduktionssystemen im Vergleich zu *Benchmarks* hoch ist. Insbesondere der hohe Energiebedarf in der Aufzucht war dafür verantwortlich (VAN HUIS und OONINCX, 2017).

Die Produktion von Futtermitteln ist zudem ein wesentlicher Faktor für weitere Umweltauswirkungen. Nutztiere verbrauchen insgesamt etwa 3,9 Milliarden ha Land, was rund 30 % der eisfreien Erdoberfläche des Planeten und rund 70 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche entspricht. Zur Produktion der Futtermittel für Nutztiere werden 33 % der weltweiten Ackerfläche benötigt (STEINFELD *et al.*, 2006). Studien von OONINCX und DE BOER (2012) zeigten, dass die Insektenproduktion rund 50 bis 90 % weniger Land benötigt, als z. B. die Produktion von Fleisch herkömmlicher Nutztiere.

SMETANA *et al.* (2015) verglichen die Umweltauswirkungen einiger Fleischersatzstoffe auf der Grundlage einer großen Auswahl an Indikatoren. Sie kamen zu dem Schluss, dass Produkte auf Insekten- und Sojamehlbasis mit den geringsten Auswirkungen auf die Umwelt verbunden waren. Zusätzlich haben SMETANA *et al.* (2016) geschlussfolgert, dass Lebensmittel auf Insektenbasis eine umweltfreundlichere Alternative zu herkömmlichen proteinreichen Produkten sein könnten. Diese Studien zeigten, dass die Energieausnutzung von Produktionssystemen im Vergleich zu *Benchmarks* hoch war (VAN HUIS und OONINCX, 2017).

Innerhalb der Nutztier- und Insektenproduktionskette ist der Großteil der Land- und Wassernutzung sowie der gesamten Treibhausgasemissionen mit der Futtermittelproduktion verbunden (STEINFELD *et al.*, 2006; MEKONNEN und HOEKSTRA, 2010). Wie VAN HUIS und OONINCX (2017) in ihrer Übersicht zusammenfassten, erklärte daher die effiziente Verwendung von Futtermitteln die relativ geringen Anforderungen an Land und Wasser in Insektenproduktionsketten im Vergleich zu ihren jeweiligen *Benchmarks*. Während die Fischmehlproduktion mit hohem Energieverbrauch und gleichzeitig hohen Treibhausgasemissionen verbunden war, konnten die damit verbundene Landnutzung vernachlässigt werden. Im Gegensatz dazu verbrauchte die Herstellung von SES große Landflächen, bei verhältnismäßig geringem Energieaufwand (EA). Die mit SES verbundenen Treibhausgasemissionen waren gering, wenn nur direkte Emissionen berücksichtigt wurden. Bei der damit verbundenen Entwaldung (sog. Landnutzungsänderungen) waren diese Emissionen höher als bei Fischmehl. Wurde Stubenflie-

genmehl direkt mit einer 50:50-Mischung aus Fischmehl und SES verglichen, sank die Landnutzung um 98 %, das Treibhauspotential um 61 % und der Energieverbrauch um 38 % (VAN ZANTEN *et al.*, 2015).

Bei Untersuchungen unterschiedlicher Futtersubstrate für schwarze Soldatenfliegenlarven im Zusammenhang mit den Umweltauswirkungen wurde deutlich, dass Nebenprodukte mit geringem Futterwert (z. B. Hühnermist oder Trockenschlempe) als nachhaltiger bewertet werden konnten (SMETANA *et al.*, 2015). Der Einsatz von Rübenschnitzeln, die auch als Nebenprodukt betrachtet werden können, führte jedoch zu den höchsten Umweltauswirkungen. Dies lag daran, dass die Larven sich bei Fütterung der Rübenschnitzel schlecht entwickelten und daher viel Futter und Heizenergie beansprucht wurde (HALLORAN *et al.*, 2016).

Wenn Insekten zukünftig als nachhaltiges Futtermittel dienen sollen, spielt insbesondere das Futter für die Insekten, die im Produktionsprozess verwendet werden, eine Schlüsselrolle. Die Entwicklung energieeffizienter Anlagen in Verbindung mit einer effizienten Verwendung von Futterinhaltsstoffen wird in den kommenden Jahrzehnten voraussichtlich zu einer Verringerung der Umweltauswirkungen von Insektenproduktionssystemen führen (HALLORAN *et al.*, 2016).

2.2 Die schwarze Soldatenfliegenlarve (*Hermetia illucens*)

Die schwarze Soldatenfliege fällt unter die Familie der sogenannten Waffenfliegen (Stratiomyidae), welche zur Ordnung der Zweiflügler (Diptera) gehören (MAY, 1961). Das Aussehen der schwarzen Soldatenfliegen ähnelt einer Wespe (ZHANG *et al.*, 2010). Jedoch verfügen sie im adulten Stadium über keine funktionierenden Mundwerkzeuge, weswegen sie nicht zu den stechenden Insekten zählen (BONDARI und SHEPPARD, 1987). Sie können an vielen unterschiedlichen geeigneten Brutplätzen in größeren Schwärmen angetroffen werden. Dazu zählen insbesondere Müllhaufen, Exkrete (Dung) sowie verfaulende Materialien aller Art. Die Larven sind Allesfresser, welche man häufig in Komposthaufen antrifft. Sie werden jedoch ebenfalls in der Nähe von Leichen und Aas gefunden, wo sie eine bedeutende Rolle in der forensischen Entomologie spielen (LORD *et al.*, 1994).

2.2.1 Verbreitung

Ursprünglich stammte die Soldatenfliege aus den tropischen, subtropischen Zonen Amerikas. Unter Ausnutzung internationaler Beförderungsmittel, vor allem während des Zweiten Weltkrieges, hat sich die Soldatenfliege auch auf anderen Kontinenten ausgebreitet (LECLERCQ, 1997). Seit 1915 war die Soldatenfliege in Australien und Neuseeland zu finden, seit 1945 zudem in Afrika und Asien. Heute ist sie über alle wärmeren Gebiete der Erde verbreitet (MEYER *et al.*, 2017), insbesondere in tropischen und wärmer temperierten Regionen zwischen

45°N und 40°S (DIENER *et al.*, 2011). In Europa wurde sie bislang in Portugal, Spanien, Frankreich, Deutschland, Schweiz, Italien, Malta, Kroatien und Albanien nachgewiesen. Ein Bericht aus der Türkei stellte ihren östlichsten Fund in der westlichen Paläarktis dar und lieferte zugleich den Erstnachweis für den Nahen Osten (ÜSTÜNER *et al.*, 2003). Die Fliegen treten heute insbesondere in der Nähe von Tierzuchtbetrieben, vornehmlich in Geflügel- und Schweineställen, eher erratisch aber bisweilen in gewaltigen Mengen auf. Ursprünglich wurden sie in Gewässernähe angetroffen (MEYER *et al.*, 2017).

2.2.2 Biologie und Lebenszyklus

Die schwarze Soldatenfliege durchläuft fünf Entwicklungsphasen, das Ei-, Larven-, Vorpuppen-, Puppen- und das adulte Stadium (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Sie zählt demzufolge zu den holometabolen Insekten, die eine vollständige Metamorphose durchlaufen (CARUSO *et al.*, 2013). Die Larven sind nach dem Schlupf zunächst weiß-gelblich gefärbt, ihr Farbton wandelt sich jedoch mit fortlaufender Entwicklung, wie in Abbildung 1 dargestellt. Die Larven können sich unter Idealbedingungen (ca. +28 °C) sehr schnell entwickeln. Sie sind robust gegenüber Schwankungen der Temperatur, des Sauerstoffgehalts und der Nahrungsressourcen (Menge und Qualität), weil sie ihre Entwicklungsgeschwindigkeit den Umwelteinflüssen anpassen können (DIENER *et al.*, 2011). So kann die Entwicklungszeit vom Ei bis zum adulten Insekt zwischen vier Wochen und fünf Monaten betragen (CARUSO *et al.*, 2013). In dem Entwicklungszeitraum der Larven, können diese eine Länge von 27 mm und einen Durchmesser von 6 mm erreichen, wobei sie zunehmend versteifen (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Insgesamt setzt sich der Körper der Larve aus elf Teilstücken zusammen (CARUSO *et al.*, 2013). Drei dieser Segmente bilden den Thorax. Die verbleibenden acht Segmente bilden das Abdomen. Einige Segmente sind mit luftführenden Öffnungen, den sogenannten Stigmen ausgestattet, wodurch der Thorax mit Sauerstoff versorgt wird. Das letzte Segment ist abgerundet und wird auch als Analsegment bezeichnet, da sich hier der schlitzförmige Anus der Larve befindet (OLIVEIRA *et al.*, 2015, 2016). Die Oberfläche der Segmente ist mit Haaren, den Setae, bedeckt. Aufgrund der Anordnung der Setae ist es möglich, dass die Larve auch in aquatischen Umgebungen auf der Oberfläche verbleibt und aufgrund dessen die Versorgung mit Luft gewährleistet ist (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Die Kopfkapsel sitzt ein wenig isoliert vom Körper der Larve und kann bei Bedarf in den Thorax zurückgezogen werden. Entgegen dem restlichen Körper ist die Kopfkapsel klein und schmal. Anhand der Größe des Kopfes sowie dem Abstand zwischen den Augen und den Antennen kann das Alter der Larve bestimmt werden. Zur Fortbewegung stehen der Larve keine Extremitäten zur Verfügung, stellvertretend werden die Mundwerkzeuge am Kopf unter anderem zur Fortbewegung eingesetzt (CARUSO *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Während des Larvenstadiums sind die HI überaus gefräßig. Sie besitzen starke Kauwerkzeuge, mit deren Hilfe sie feste Nahrung zerkleinern können (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Bereits unmittelbar nach dem Schlupf nutzen die Larven die umgebende organische Masse als Nahrungsquelle. Die Dauer des Larvenstadiums beträgt etwa vier bis fünf Wochen, abhängig von der Futterverfügbarkeit (FURMAN *et al.*, 1959).

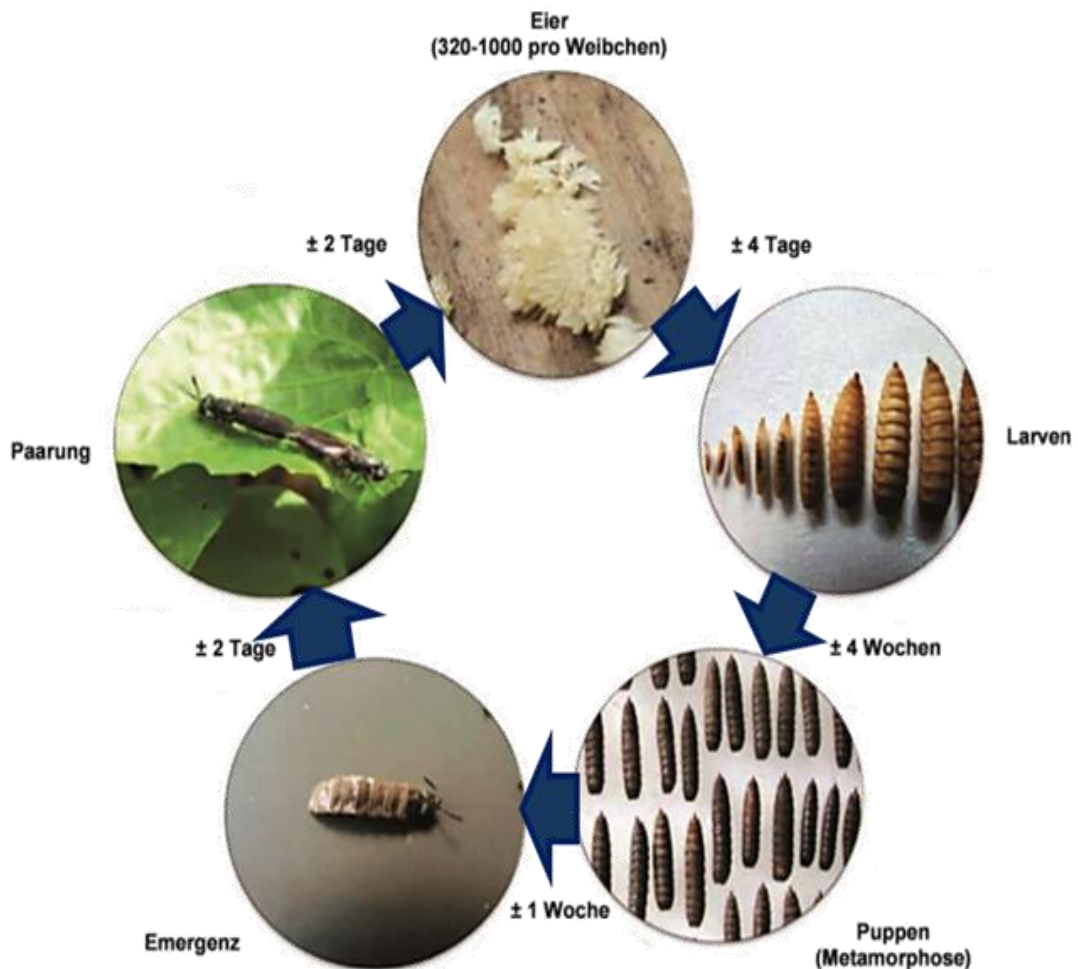


Abbildung 1: Lebenszyklus der schwarzen Soldatenfliegenlarve (*Hermetia illucens*). Eigene Darstellung in Anlehnung an Caruso *et al.* (2013)

Das äußere Erscheinungsbild der adulten Fliege (Imago) differenziert sich gänzlich von denen vorheriger Phasen (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Die adulte Fliege ist eine Nachahmung (Mimikry) der Töpfergrabwespe (*Trypoxylon politum*) und ähnelt ihnen in Größe, Farbe und Erscheinungsbild. Insbesondere die Antennen sind verlängert. Der hintere Körperteil ist blass und dadurch wespenähnlich. Zusätzlich hat die Fliege zwei kleine transparente „Fenster“ an den basalen Abdominalsegmenten, wodurch sie eine schmale „Wespentaille“ vortäuscht. Diese Nachahmung dient als Schutz vor Feinden, um in ihrer kurzen Lebenszeit genügend Eier legen zu können (SHEPPARD *et al.*, 2002). Die adulten Tiere erreichen eine Länge zwischen 13 und

22 mm, die weiblichen Individuen sind dabei meist größer als die Männchen (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Das Fressverhalten der adulten Tiere hebt sich von dem im Larvenstadium gänzlich ab (CARUSO *et al.*, 2013). Das liegt daran, dass sie keinen Unterkiefer oder andersartige Mundwerkzeuge besitzen, mit denen sie feste Nahrung zerkleinern könnten. Stattdessen ist ihr Mundwerkzeug vergleichbar mit einem Schwamm, wodurch sie in der Lage sind, Flüssigkeiten, wie z. B. Nektar aufzunehmen oder mithilfe ihre Speicheldrüsensekrete feste Nahrungsmittel aufzuweichen und anschließend aufzunehmen. Vorwiegend leben sie jedoch von Fettreserven, die sie im Larvenstadium angelegt haben, um ihrer Hauptaufgabe, der Reproduktion, nachzugehen (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Etwa zwei Tage nach dem Schlupf fängt die Paarung der adulten Tiere an und das weibliche Tier legt bis zu 500 Eier ab (DICLARO II und KAUFMAN, 2009). Die Lebenserwartung der geschlüpften schwarzen Soldatenfliege beträgt je nach Wasserverfügbarkeit 8 bis 14 Tage (MEYER *et al.*, 2017; TOMBERLIN *et al.*, 2002).

2.2.3 Verdauung – Enzymatisches und bakteriologisches System

Die Larven der schwarzen Soldatenfliege sind gefräßig und polyphag (vgl. Abschnitt 2.2.2). Diese Polyphagie, welche ihnen erlaubt, nahezu jede Futterquelle zu verwerten, verdanken sie zum einen ihren starken Mundwerkzeugen und zum anderen der enzymatischen Aktivität ihres Verdauungssystems (Darm- und Speicheldrüsen) (KIM *et al.*, 2011). Insbesondere im Darm konnte eine Vielzahl von Enzymen wie Amylasen, Lipasen, Proteasen, Cellulasen sowie eine trypsinähnliche Protease nachgewiesen werden (JEON *et al.*, 2011; KIM *et al.*, 2011). Verglichen mit anderen Fliegenarten wie der Hausfliegenlarve (*Musca domestica*), weist die HI-Larve eine außerordentliche Aktivität bestimmter Enzyme auf. Darunter fallen die Leucine A-rylamidase, α -Galactosidase, β -Galactosidase, α -Mannosidase und α -Fucosidase (KIM *et al.*, 2011). Zusätzlich verfügt die HI-Larve über eine Darmflora, die sich aktiv an den Verdauungsprozessen beteiligt. Die Identifikation der Bakteriengemeinschaften im Darm der HI-Larve erbrachte den Nachweis, dass sie eine spezielle Darmflora besitzen, die sich deutlich von anderen bisher untersuchten Insekten unterscheidet. Innerhalb dieser Bakteriengemeinschaft verfügen einige Stämme oder Arten zusätzlich über erhebliche enzymatische Aktivität, wie z. B. *Bacillus Amyloliquefaciens*, *B. Stratosphericus* und *Proteus Mirabilis* (JEON *et al.*, 2011). Es wird davon ausgegangen, dass die hohe und differenzierte enzymatische Aktivität entlang des Verdauungstraktes die effizientere Verdauung von Futterabfällen und organischen Materialien durch die HI-Larven im Vergleich zu anderen erforschten Fliegenarten erklärt (KIM *et al.*, 2011).

2.2.4 Aufzuchtstrategien

Die HI-Larve ist in der Lage, eine große Auswahl an organischen Materialien, einschließlich Tierkot, Küchenabfällen und landwirtschaftlichen Abfällen, zu verwerten. Wildlebende Fliegen wurden bereits verwendet, um Gülle erfolgreich zu managen (SHEPPARD *et al.*, 2002), wodurch Geruch- und Schädlingspopulationen verringert werden konnten (SHEPPARD, 1983). In einigen Teilen der Welt, in denen die schwarze Soldatenfliege ganzjährig beheimatet ist, sind keine besonderen Einrichtungen nötig, um eine große Anzahl von Larven zu züchten. Beispiele hierfür sind offene Systeme, die es den Fliegen erlauben, Geflügelmist oder Schweinegülle auf Höfen zu kolonisieren, während die Puppen beim Abwandern aus dem Substrat geerntet werden können (SHEPPARD *et al.*, 1994; ST-HILAIRE *et al.*, 2007a; NYAKERI *et al.*, 2017). Verschiedene kostengünstige Aufzuchtssysteme wurden entwickelt, um etwa Biofeststoffe wie Marktabfälle und menschlichen Exkremente als Futtermittel für die HI zu nutzen (DIENER *et al.*, 2009). Diese Systeme überzeugten insbesondere durch die Nutzung bereits vorhandener Strukturen, wie etwa vorhandener Produktionsanlagen (SHEPPARD *et al.*, 1994, 2002). Darüber hinaus wurden Pilot- und Großanlagen auf industrieller Ebene getestet. Diese wurden bereits als leistungsstark eingestuft, jedoch sind noch Herausforderungen zur Sicherstellung der Lebensmittelqualitätsstandards zu lösen (ČIČKOVÁ *et al.*, 2015; AZAGOH *et al.*, 2015; PASTOR *et al.*, 2015).

Sollen die HI-Larven auf konventionelle Art gezüchtet werden, müssen die verschiedenen Anforderungen an die entsprechenden Entwicklungsstadien berücksichtigt werden. Die größeren Herausforderungen liegen in der ganzjährigen Aufzucht der ausgewachsenen Tiere sowie in der Förderung der Paarung und Eiablage, insbesondere unter kälteren klimatischen Bedingungen (SHEPPARD *et al.*, 2002; NEWTON *et al.*, 2005b):

- Für die Anpaarung in der Luft benötigen die Fliegen viel Platz; die Paarung und Eiablage wurde erfolgreich in Gewächshäusern mit 1,5 × 1,5 × 3 m Nylonkäfigen beobachtet (TOMBERLIN und SHEPPARD, 2002), wobei in Einzelfällen auch die Eiproduktion in Käfigen von nur 27 × 27 × 27 cm dokumentiert wurde (NAKAMURA *et al.*, 2016).
- Die Paarungsvorgänge finden ausschließlich tagsüber bei Sonnenlicht erfolgreich statt (BOOTH und SHEPPARD, 1984). Künstliches Licht wird notwendig sein, um die Insekten in bestimmten Teilen der Welt und zu bestimmten Zeiten zu züchten, in denen kein ausreichendes Sonnenlicht zur Verfügung steht. Die Suche nach geeigneten Lichtquellen stellt eine Herausforderung dar. Quarz-Jod-Lampen erzeugten Paarungsraten von 61 % im Vergleich zum Sonnenlicht (ZHANG *et al.*, 2010).
- Wasser muss ausreichend zur Verfügung stehen, im besten Fall mit einer Zuckerergänzung, wodurch die Langlebigkeit der adulten Tiere erhöht werden konnte (NAKAMURA *et al.*, 2016).

Die wichtigsten Anforderungen an das Larvenstadium bis zum Absammeln sind (LINDEN, 2012; WANG und SHELOMI, 2017):

- Eine Umgebungstemperatur von 27 bis 30 °C; bei höheren Temperaturen sinkt die Entwicklungsrate und bei Erreichen der Schwelle von 36 °C sinkt die Überlebenschance (TOMBERLIN *et al.*, 2009).
- Als Nahrungsquelle ist jedes organische Material denkbar, welches die rechtlichen Vorgaben erfüllt. Da die Insekten ihren Wasserbedarf über das Futtersubstrat decken, sollte der Wassergehalt im Substrat nicht weniger als 70 % betragen (YU *et al.*, 2014).
- Das Futter- bzw. Aufwuchs-Substrat sollte saugfähig sein, da die Larven Stoffwechselprodukte und Flüssigkeiten aussondern.
- Entstehende Tierverluste dienen den übrigen Larven als zusätzliche Nahrungsquelle.
- Erreichen die Larven das Vorpuppenstadium, wollen sie zur Verpuppung aus dem Substrat abwandern. Dies ist der geeignete Zeitpunkt zum Absammeln/Absieben der Larven für die weitere Produktion als Futtermittel (SHEPPARD *et al.*, 1994; MUTAFELA, 2015).

Nach der Ernte der Larven oder Präpuppen kann die Haltbarkeit durch eine primäre Dehydrierung verbessert werden. Zusätzlich ist eine Entfettung mit mechanischen Pressen oder Lösungsmitteln vor dem Vermahlen der Larven möglich. Durch eine Teilentfettung kann neben der Erhöhung des XP-Gehaltes auch die Oxidationsempfindlichkeit des Futters reduziert und dadurch die Haltbarkeit verlängert werden. Zudem lässt sich entfettetes Insektenmehl leichter verarbeiten, da es weniger klebt (VELDKAMP *et al.*, 2012). Das entfernte Fett kann z. B. als Futterergänzung oder aufgrund der günstigen Fettsäurezusammensetzung zur Biodieselherstellung eingesetzt werden (SURENDRA *et al.*, 2016).

2.2.5 Ernährungsphysiologische Eigenschaften

In der Literatur variieren die Angaben zu der chemischen Zusammensetzung der HI und der Eignung als alternative Proteinquelle teils erheblich. Die HI-Larven weisen durchschnittlich einen XP-Gehalt von ca. 44 % in der TS auf, jedoch mit deutlichen Schwankungen in Abhängigkeit von den Erntezeitpunkten bzw. Entwicklungsstadien (CALVERT und MARTIN, 1969; INAOKA *et al.*, 1999; NEWTON *et al.*, 2005a; ANIEBO *et al.*, 2008), den Futtersubstraten für die Larven (NEWTON *et al.*, 1977) sowie den unterschiedlichen Verarbeitungsgraden (FSAKIN *et al.*, 2003; KORTELAJNEN *et al.*, 2014; MAKKAR *et al.*, 2014; SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2014).

Tabelle 1 zeigt die Nährstoffzusammensetzung der HI sowohl für unterschiedliche Entwicklungsstadien als auch erste Verarbeitungsstufen. Die Angaben zum XP-Gehalt reichen von 35 % in TS (HAASBROEK, 2016) bis 44 % in TS (SURENDRA *et al.*, 2016) für getrocknete Vollfett-Larven und Präpuppen (BONDARI und SHEPPARD, 1981; NEWTON *et al.*, 2005b; ST-HILAIRE *et al.*, 2007; BARROSO *et al.*, 2014; TSCHIRNER und SIMON, 2015).

Zur Ermittlung des XP-Gehaltes wird nach der Analyse des N-Gehaltes, das Ergebnis mit einem Faktor multipliziert, der den reziproken Wert des typischen N-Gehaltes von XP darstellt. Da Eiweiß 16% N enthält wird dieser Wert mit 6,25 multipliziert, um den XP-Gehalt des untersuchten Substrates zu erhalten. Die 16 % umfassen jedoch nur den Mittelwert der Nahrungsproteine, z.B. Milch und Milchprodukte weichen davon stärker ab, weswegen dort ein gesonderter Umrechnungsfaktor Verwendung findet (Kirchgeßner, 2011). Die Kutikula von Insekten besteht aus Chitin, eingfasst in einer Matrix von kutikulären Proteinen, Lipiden sowie weiteren Verbindungen (KRAMER *et al.*, 1995). Daher kann die Schätzung des Proteins unter Verwendung der Formel $N \times 6,25$ den wahren XP-Gehalt eines Insekts (d. h. die Summe der AS) überschätzen (KRAMER *et al.*, 1995; NEWTON *et al.*, 2005a). Unter Umständen wäre dauerhaft der Einsatz eines angepassten Umrechnungsfaktors zur Bestimmung des XP-Gehaltes bei Insekten sinnvoll. Jedoch zeigte sich durch eine relativ hohe Rückgewinnung von N als AS, dass N aus Chitin einen relativ kleinen Bruchteil des gesamten N-Gehaltes des Insekts darstellt (FINKE, 2007). Durch eine zusätzliche Fraktionierung könnte Chitin aber auch entfernt werden, um das AS-Profil zu verbessern (NEWTON *et al.*, 2005a).

Tabelle 1: Nährstoffzusammensetzung der schwarzen Soldatenfliege (modifiziert nach Cockcroft, 2018)

	TSCHIR- NER und SIMON, 2015	ST. HILAIRE <i>et al.</i> , 2007a	BARROSO <i>et al.</i> , 2014	BONDARI und SHEPPAR D, 1981	NEWTON <i>et al.</i> , 2005b	HAAS- BROEK, 2016	SUREN- DRA <i>et al.</i> , 2016	HAAS- BROEK, 2016	KROE- CKEL <i>et al.</i> , 2012	TSCHIR- NER und SIMON, 2015	SUREN- DRA <i>et al.</i> , 2016	SUREN- DRA <i>et al.</i> , 2016
Verarbeitungs- grad	vollfett	vollfett	vollfett	vollfett	vollfett	vollfett	vollfett	teilentfett, ge- presst	teilentfett, ge- presst	teilentfett, ge- presst	teilentfett, ge- presst	teilentfett *
Entwick- lungsstadium	Junge Larve	Prä- puppe	Larve	Larve	ge- mischt	Prä- puppe	Larve	Prä- puppe	Junge Larve	Prä- puppe	Prä- puppe	Prä- puppe
BE (MJ/kg)	-	-	-	-	-	-	24,1	-	21,1	-	21,9	19,3
XP (% in TS)	37,2	43,6	36,2	38-40,0	43,2	35,1	43,7	38,1	47,6	49,2	53,1	63,9
XL (% in TS) (saure Hydro- lyse)	-	-	-	-	-	39,1	-	33,9	-	-	-	-
XL (% in TS) (Etherextrakt)	30,8	33,1	18,0	18-28,0**	28,0	-	31,8	-	11,8	16,6	19,7	3,4
XF (% in TS)	-	-	-	-	-	-	10,1	-	9,6	-	10,9	13,2
XA (% in TS)	13,5	15,5	9,3	-	16,6	8,03	6,0	13,2	15,9	18,2	8,5	10,7

TS = Trockensubstanz, BE = Bruttoenergie; XP = Rohprotein; XL = Rohfett; XF = Rohfaser; XA = Rohasche; * Lösungsmittel extrahiert; **Methode nicht genannt

Der Fettgehalt der Larven variiert je nach Größe und Entwicklungsstadium und kann mit fortlaufendem Alter von 13 % auf bis zu 40 % ansteigen (CARUSO *et al.*, 2013). Die in Tabelle 1 dargestellten Rohfett-(XL) Gehalte der HI-Larven und -Präpuppen liegen zwischen 18 % (BONDARI und SHEPPARD, 1981) und 39 % (HAASBROEK, 2016) in der TS. Der hohe XL-Gehalt kann durch unterschiedliche Entfettungstechniken reduziert werden, wodurch der XP-Gehalt auf bis zu 64 % in der TS (bei Verwendung von Lösungsmittlextraktion) ansteigen kann (SURENDRA *et al.*, 2016). Wurden die Larven mittels einer Presse entfettet, war der Grad der Entfettung geringer (12 bis 20 % XL in der TS) und die Werte für XP lagen bei 38 bis 64 % in der TS (KROECKEL *et al.*, 2012; TSCHIRNER und SIMON, 2015; HAASBROEK, 2016; SURENDRA *et al.*, 2016).

Tabelle 2: Mittelwerte (\pm Standardfehler) der Rohnährstoffgehalte von Hausfliegenlarven-Mehl in Abhängigkeit der Verarbeitungsmethode (modifiziert nach FASAKIN *et al.*, 2003)

Art des Larvenmehls	Feuchtigkeit (%)	XP (% in TS)	XL (% in TS)	XA (% in TS)
Hydrolysiert*, ofengetrocknet	8,06 \pm 0,05	45,60 \pm 0,02	13,28 \pm 0,03	13,20 \pm 0,02
Hydrolysiert*, sonnengetrocknet	8,40 \pm 0,01	44,30 \pm 0,03	13,65 \pm 0,01	13,25 \pm 0,01
Hydrolysiert*/entfettet**, ofengetrocknet	7,56 \pm 0,02	46,70 \pm 0,01	6,28 \pm 0,01	13,30 \pm 0,01
Hydrolysiert*/entfettet**, sonnengetrocknet	8,10 \pm 0,01	45,6 \pm 0,01	6,30 \pm 0,01	12,32 \pm 0,02
Entfettet**, ofengetrocknet	9,20 \pm 0,01	45,75 \pm 0,03	7,00 \pm 0,02	13,35 \pm 0,02
Entfettet**, sonnengetrocknet	9,65 \pm 0,04	45,10 \pm 0,05	7,40 \pm 0,01	13,45 \pm 0,02
Vollfett, ofengetrocknet	8,25 \pm 0,02	43,45 \pm 0,03	14,30 \pm 0,03	14,35 \pm 0,02
Vollfett, sonnengetrocknet	8,55 \pm 0,04	43,30 \pm 0,01	14,35 \pm 0,03	14,65 \pm 0,01

XP = Rohprotein; XL = Rohfett; XA = Rohasche; TS = Trockensubstanz; *Hydrolyse des Larvenmehls unter Verwendung einer Säurekombination von 2%iger Schwefel- und 0,75%iger Ameisensäure, bei einem pH-Wert von 4,5 (BALOGUN *et al.*, 1997); **Entfetten des Larvenmehls durch Destillieren mit Petrolether bei 60-80°C für 6 Std. in einem Soxhlet-Apparat.

Wie Tabelle 2 zeigt, beeinflusst zusätzlich zur Verarbeitungsmethode die Art der Trocknung die chemische Zusammensetzung von Insektenlarven (FASAKIN *et al.*, 2003). Der XP-Gehalt variierte in Abhängigkeit der Methode zwischen 43,3 % und 46,7 % der TS. Zusätzlich gibt Tabelle 3 XP- und XL-Gehalte von HI-Larven in Abhängigkeit des Futtersubstrates wieder (WANG und SHELOMI, 2017). Der Rohfaser- (XF) Gehalt wurde nur in wenigen Arbeiten ermittelt und liegt für Präpuppen zwischen 9,6 und 13,2 % in der TS (vgl. Tabelle 1; KROECKEL *et al.*, 2012; SURENDRA *et al.*, 2016).

Tabelle 3: Mittlere Rohprotein- (XP) und Rohfett-(XL) Gehalte der schwarzen Soldatenfliegenlarve, aufgewachsen auf unterschiedlichen Futtersubstraten (modifiziert nach WANG und SHELOMI, 2017).

Futtermischung/Futterquelle	XP (% in TS)	XL (% in TS)	Quelle
Rinderblut und Weizenkleie	47,6	35,3	ANIEBO <i>et al.</i> , 2009
Geflügelmist	37,9	18,7	ARANGO GUTIÉRREZ <i>et al.</i> , 2004
Firmeneigene Futtermischung auf Pflanzenbasis (Hermetia Futtermittel GbR)	31,7	21,1	BUSSLER <i>et al.</i> , 2016
Firmeneigene Futtermischung auf Pflanzenbasis (Hermetia Futtermittel GbR)	36,6	34,3	DE MARCO <i>et al.</i> , 2015
UFA 625 Geflügelfutter	37,9	-	DIENER <i>et al.</i> , 2009
Firmeneigene Futtermischung auf Pflanzenbasis (Hermetia Futtermittel GbR)	47,6	11,8	KROECKEL <i>et al.</i> , 2012
Organische Siedlungsabfälle	39,8	30,1	MUTAFELA,2015
Pferdemist	40,9	12,9	MUTAFELA,2015
Frischobstabfall	37,8	41,7	MUTAFELA,2015
Schweinemist	43,2	28,0	NEWTON <i>et al.</i> , 2005a
Geflügelmist	42,1	34,8	NEWTON <i>et al.</i> , 2005a
Wildlebend (West Kenia, Bondo Gebiet)	40,0	33,0	NYAKERI <i>et al.</i> , 2017
Gemischte Nebenprodukte der Lebensmittelindustrie	38-46,0	21-35,0	ONINCX <i>et al.</i> , 2015b
Legehennenmist	42,0	35,0	SHEPPARD <i>et al.</i> , 1994
Total 77 Hühnerfutter	41,2	33,6	SPRANGHERS <i>et al.</i> , 2016
Biogasgärreste	42,2	21,8	SPRANGHERS <i>et al.</i> , 2016
Pflanzliche Abfälle	39,9	37,1	SPRANGHERS <i>et al.</i> , 2016
Restaurantabfälle (vegan)	43,1	38,6	SPRANGHERS <i>et al.</i> , 2016
Kuhmist	-	21,4	ST-HILAIRE <i>et al.</i> , 2007b
50 : 50 Fischabfall : Kuh Mist	-	30,4	ST-HILAIRE <i>et al.</i> , 2007b
Schweinemist	43,2	33,1	ST-HILAIRE <i>et al.</i> , 2007b
Tiermist	42-44,0	31-35,0	YU <i>et al.</i> , 2009

Aminosäuregehalt

Die Proteinqualität eines Einzelfuttermittels kann in einem ersten Schritt auf Basis des AS-Profiles bewertet werden (SURENDRA *et al.*, 2016). Ausgenommen die schwefelhaltige AS Cystein (Cys) (MAKKAR *et al.*, 2014), weisen Insektenproteine ähnliche AS-Relationen wie Sojaprotein auf.

Die AS-Gehalte getrockneter HI-Larven und -Präpuppen variieren teils deutlich zwischen den veröffentlichten Studien (vgl. Tabelle 4), was sich weitgehend durch Unterschiede im Futtersubstrat, Entwicklungsstadium zum Erntezeitpunkt und der Art der Verarbeitung erklären lässt. Darüber hinaus können unterschiedliche Verfahren bei der AS-Analyse zu variierenden Ergebnissen führen (DRIEMEYER, 2016). Die HI-Larven sind insbesondere reich an Lysin (Lys) (SHEPPARD *et al.*, 2008) und daher sehr gut geeignet für den Einsatz als Tierfutter (NEWTON *et al.*, 1977). In der Studie von MAKKAR *et al.* (2014) zeigte sich, dass das HI-Mehl in den Gehalten an Lys, Leucin (Leu), Phenylalanin (Phe) und Threonin (Thr) vergleichbare Werte zu SES aufwies (NEWTON *et al.*, 2005a). Allerdings liegt im HI-Mehl ein relatives Defizit an schwefelhaltigen AS vor (LIEBERT *et al.*, 2017).

Tabelle 4: Aminosäuregehalte (g/16 g N) von *Hermetia illucens*-Larven und -Präpuppen im Vergleich zu Sojaextraktionsschrot und Aminosäuren-Relationen (Referenz Lysin = 100)

	KORTELAINEIN <i>et al.</i> , 2014	MAKKAR <i>et al.</i> , 2014	SPRANGHERS <i>et al.</i> , 2016	MAKKAR <i>et al.</i> , 2014	SPRANGHERS <i>et al.</i> , 2016	AMINODAT 5.0, 2016
	Hermetia Mehl	Hermetia Mehl	Hermetia Mehl	SES	Hermetia Mehl	SES
Entwicklungs- stadium	Larve	Larve	Präpuppe		Präpuppe	
Verarbeitungs- grad	gemahlen, entfettet		vollfett		vollfett	
	Aminosäuregehalte (g/16 g N)				Relationen	
Lys	5,4	6,6	2,03-2,35*	6,2	100	100
Thr	3,9	3,7	1,43-1,58*	3,8	67-70*	64
Met	1,8	2,1	0,63-0,80*	1,3	31-34*	22
Cys	0,5	0,1	0,19-0,23*	1,4	9-10*	24
Try	-	0,5	0,48-0,63*	1,4	24-27*	22
Ile	4,3	5,1	1,62-1,78*	4,1	76-80*	74
Leu	6,9	7,9	2,69-2,88*	7,6	123-132,5*	124
Val	6,2	8,2	1,98-2,55*	4,5	97,5-108,5*	78
His	3,0	3,0	1,22-1,28*	3,1	54,5-60*	43
Phe	4,1	5,2	1,45-1,71*	5,2	71-73*	83
Tyr	6,8	6,9	-	3,4	-	-
Arg	-	5,6	1,76-2,06*	7,6	87-88*	120
Gly	6,3	5,7	2,07-2,28*	4,5	97-102*	70

SES=Sojaextraktionsschrot, *in Abhängigkeit des Substrates

Fettsäuregehalt

In Tabelle 5 ist die Fettsäurezusammensetzung von HI-Larven und -Präpuppen nach unterschiedlichen Autoren dargestellt. In einer Reihe von Studien wurde festgestellt, dass die HI-Larven und -Präpuppen zu 58 bis 72 % der Gesamt-Frischsubstanz (FS) aus gesättigten Fettsäuren und zu 19 bis 40 % der Gesamt-FS aus einfach- und mehrfach ungesättigten Fettsäuren bestehen (KROECKEL *et al.*, 2012; LI *et al.*, 2011; MAKKAR *et al.*, 2014; SURENDRA *et al.*, 2016). Insbesondere hohe Gehalte an Laurin-, Palmitin und Ölsäure konnten ausgemacht werden (SURENDRA *et al.*, 2016). Auffallend ist, dass der Gehalt an Myristinsäure und Linolsäure in den Larven deutlich höher war, als in den Präpuppen (vgl. Tabelle 5).

Mit ca. 51 % der Gesamt-FS wurde die Laurinsäure zu einem überproportional hohen Anteil in den Larven ermittelt. In den Präpuppen wurden Werte zwischen 23,6 und 60,9 % der Gesamtfettsäuren ermittelt. Die Tabelle zeigt, dass die Fettsäurezusammensetzung teilweise durch das Futtersubstrat beeinflusst werden konnte (SPRANGHERS *et al.*, 2016). Enthielt das Substrat hohe Gehalte an Omega-3-Fettsäuren, erhöhte sich auch der Gehalt an Omega-3-Fettsäuren in den Larven (ST-HILAIRE *et al.*, 2007b; SEALEY *et al.*, 2011; MAKKAR *et al.*, 2014). In den Präpuppen zeigte sich auch dann ein hoher Gehalt an Laurinsäure, wenn das Futtersubstrat diese Fettsäure nur zu geringen Anteilen enthielt. Daraus wurde geschlossen, dass Laurinsäure in HI aus anderen im Substrat vorhandenen Nährstoffen, wie z. B. Kohlenhydraten (Stärke und Zucker) synthetisiert wurde (SPRANGHERS *et al.*, 2016). Diese Synthetisierung von Kohlenhydraten in Fette, konnte in einigen Studien für Insekten nachgewiesen werden (VENKATESH und MORRISON, 1980; INAGAKI und YAMASHITA, 1986; BRIEGEL, 1990). OONINCX *et al.* (2015b) stellten zudem fest, dass aus einem höheren Fettgehalt in dem Futtersubstrat ebenfalls hohe Gehalte an Laurinsäure folgten. Dies führte zu der Vermutung, dass das Fettsäuremuster der HI-Larven und -Präpuppen nur begrenzt beeinflussbar ist.

Die in großen Mengen enthaltene Laurinsäure besitzt eine hemmende Wirkung auf das Wachstum von *Clostridium perfringens* und *Escherichia coli*. Verfüttert man diese HI-Larven und -Präpuppen, könnten sie dadurch einen positiven Einfluss auf die Darmgesundheit der Tiere haben (SKŘIVANOVÁ *et al.*, 2006, 2014; SPRANGHERS *et al.*, 2016).

Tabelle 5: Fettsäurezusammensetzung (% der Gesamtfettsäuren) von schwarzen Soldatenfliegenlarven und -Präpuppen aus verschiedenen Studien

	ST-HILAIRE <i>et al.</i> , 2007a	SEALEY <i>et al.</i> , 2011	SEALEY <i>et al.</i> , 2011	FINKE, 2012	SPRANGHERS <i>et al.</i> , 2016
Futtersubstrat	Schweine- mist	Rindermist	Fischabfälle	Nicht spezifiziert	4 verschiedene*
Entwicklungsstadium	Präpuppe	Präpuppe	Präpuppe	Larve	Präpuppe
Verarbeitungsmethode	getrocknet bei 80 °C	getrocknet bei 40 °C	getrocknet bei 40 °C	-	gefrier-getrocknet
Caprinsäure 10:0	-	-	-	0,69	1,17-2,03
Laurinsäure 12:0	49,34	23,60	37,10	51,20	43,65-60,89
Myristinsäure 14:0	6,83	5,10	6,30	12,00	6,87-7,34
Myristoleinsäure 14:1	-	-	-	0,50	-
Pentadecansäure 15:0	-	-	-	0,12	-
Palmitinsäure 16:0	10,48	19,80	17,30	16,10	8,70-10,29
Palmitoleinsäure 16:1	3,45	6,30	7,60	4,96	1,97-7,58
Margarinsäure 17:0	-	-	-	0,20	-
Margaroleinsäure 17:1	-	-	-	<0,08	-
Stearinsäure 18:0	2,78	6,50	2,00	2,45	0,98-1,75
Ölsäure 18:1	11,81	22,70	18,80	15,60	5,66-7,97
Linolsäure 18:2	3,68	6,80	5,90	16,90	4,52-11,55
Linolensäure 18:3	0,08	0,00	0,50	0,65	0,7-1,37
Arachinsäure 20:0	-	-	-	0,16	-
Gadoleinsäure 20:1	-	-	-	<0,08	-
Arachidonsäure 20:4	-	-	-	<0,08	-
Behensäure 22:0	-	-	-	0,09	-

*Vier verschiedene Substrate: Hühnerfutter, Gärreste, Gemüseabfälle, Restaurantabfälle

Mineralstoffgehalt

Bei dem Vergleich der HI-Larven mit anderen Insektenarten, die für den Einsatz in der Tierernährung getestet wurden, zeigte sich, dass sie deutlich höhere Mineralstoffgehalte aufweisen (DIERENFELD und KING, 2009). Insbesondere Mangan (Mn), Eisen (Fe), Zink (Zn), Kupfer (Cu), Phosphor (P) und Kalzium (Ca) wurden in relativ hohen Konzentrationen ermittelt (MAKKAR *et al.*, 2014). Jedoch fielen insbesondere geringere Konzentrationen an Natrium (Na) als bei anderen Insekten auf (DIERENFELD und KING, 2009). Wie Tabelle 6 entnommen werden kann, finden sich

in den Studien Ca-Gehalte für die HI-Larven zwischen 1,23 und 66,15 g/kg in der TS. Auch in einer Studie von MAKKAR *et al.* (2014) zeigte sich mit 75,6 g/kg in der TS ein hoher Wert für Ca. Diese Variabilität scheint durch die unterschiedlichen Futtersubstrate beeinflusst zu werden. Darüber hinaus ist in HI-Larven, im Vergleich zu anderen Insektenarten, eine erhebliche Menge an Ca in der Kutikula enthalten (DASHEFSKY *et al.*, 1976; ROSELAND *et al.*, 1985; TOMBERLIN *et al.*, 2002).

Die Gehalte an anderen, für die Tierernährung wichtigen Mineralien wie P, Kalium (K) und Magnesium (Mg), scheinen vom Aufzuchtsubstrat weitestgehend unbeeinflusst zu sein (SPRANGHERS *et al.*, 2016). Darüber hinaus entsprechen die P-Gehalte den Anforderungen von Schweinen (NRC, 2012) und Geflügel (AVIAGEN, 2014b). Andererseits könnte ein zu hoher Aschegehalt für die Verwendung von HI-Präpuppen als Bestandteil einer Futterformulierung problematisch sein. Präpuppen, die auf energiereichen Substraten mit einem geringen Gehalt an Asche und Ballaststoffen wie Restaurantabfällen gezüchtet wurden, wiesen jedoch einen sehr geringen Aschegehalt auf, wodurch sie als Futtermittel besser geeignet wären (SPRANGHERS *et al.*, 2016)

Tabelle 6: Mineralstoffgehalte (g/kg TS) von schwarzen Soldatenfliegenlarven und Präpuppen, gezüchtet auf unterschiedlichem Futtersubstrat

	SPRANGHERS <i>et al.</i> , 2016	SPRANGHERS <i>et al.</i> , 2016	SPRANGHERS <i>et al.</i> , 2016	SPRANGHERS <i>et al.</i> , 2016	NEWTON <i>et al.</i> , 2005a
Futtersubstrat	Hühnerfutter	Gärreste	Gemüseabfälle	Restaurantabfälle	Schweinemist
Entwicklungsstadium	Präpuppe	Präpuppe	Präpuppe	Präpuppe	Larve
Ca	28,70	66,15	28,72	1,23	53,60
Cu	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
Fe	0,35	0,43	0,11	0,11	0,80
K	6,16	6,75	5,94	5,98	11,60
Mg	2,65	3,13	2,46	2,11	4,40
Mn	0,22	0,38	0,24	0,02	0,30
Na	0,67	0,89	0,60	0,68	1,30
P	4,99	4,44	4,04	4,08	8,80
S	0,20	0,31	0,18	0,11	-
Zn	0,16	0,05	0,07	0,07	0,30

2.2.6 Einsatz in der Tierernährung

Aus Sicht der Tierernährung können sowohl Präpuppen als auch Larven als Futterbestandteil in Futtermischungen für Nutztiere in Frage kommen und wurden intensiv als Futtermittel für Fische erforscht, jedoch weniger intensiv für den Fütterungseinsatz bei warmblütigen Monogastriden (BONDARI und SHEPPARD, 1981, 1987; NEWTON *et al.*, 2005b; ST-HILAIRE *et al.*, 2007b; SEALEY *et al.*, 2011). Fliegenlarven unterschiedlicher Insektenarten wurden als potenzielle erneuerbare Proteinquelle für Schweine, Fische und Geflügel eingestuft (NEWTON *et al.*, 1977; BONDARI und SHEPPARD, 1987; AWONIYI *et al.*, 2003).

2.2.6.1 Geflügelernährung

Der Verzehr von Geflügelfleisch und -eiern wird in naher Zukunft voraussichtlich erheblich ansteigen, was die Nachfrage nach neuen Geflügelfutterkomponenten zur Umsetzung einer nachhaltigen, intensiven Produktion weiter erhöht (JÓZEFIAK *et al.*, 2016). Ein Hauptproblem der Geflügelindustrie ist die Versorgung mit Futtermitteln, die Mastgeflügel für ein schnelles Wachstum in kurzer Zeit benötigen (OYEGOKE *et al.*, 2006). Der Verdauungstrakt von Geflügel ist kürzer als der anderer Nutztiere. Zu den einzigartigen Merkmalen gehören der Kropf als Speicherorgan und der Muskelmagen als Mahlorgan. Bei den schnell wachsenden Masthähnchen benötigt das Futter weniger als drei Stunden, um den gesamten Verdauungsapparat zu durchlaufen und währenddessen die Nährstoffe verdauen und aufnehmen zu können. Um den verhältnismäßig kurzen Verdauungstrakt und die schnelle Passagerate optimal ausnutzen zu können, benötigen leistungsfähige Masthähnchen eine leicht verdauliche, nährstoffreiche Futtermischung. Das genetische Potential der heutigen Züchtungen kann nur mit angepasst formulierten Mischungen, die protein- und energiereiche Futtermittel beinhalten, ausgeschöpft werden (RAVINDRAN, 2013).

In der Geflügelfütterung ist die AS-Zusammensetzung und Verdaulichkeit innerhalb der Proteinquelle von großer Bedeutung (LEMME *et al.*, 2004). Das AS-Profil eines Geflügelfutters sollte an das ideale Aminosäureverhältnis (IAAR) der Masthähnchen angepasst werden, um z. B. einer Hemmung des Wachstums, insbesondere durch unangepasste Anteile an Methionin (Met), Lys und Thr zu vermeiden (LEWIS *et al.*, 1963). Met oder Met+Cys stellen die erstlimitierenden AS für wachsendes Geflügel dar, gefolgt von Lys und Thr (RAVINDRAN, 2013). Daher benötigt die Futtermittelindustrie neue Quellen von hochverdaulichem Protein mit einer möglichst idealen AS-Zusammensetzung, um begrenzt verfügbare Proteinquellen tierischen Ursprungs, wie Fischmehl, zu ersetzen (JÓZEFIAK *et al.*, 2016).

Insekten gehören zu der natürlichen Ernährung von Wildgeflügel und werden von ihnen in ihrer adulten, Puppen- und Larven-Form verzehrt (ZUIDHOF *et al.*, 2003; VAN HUIS *et al.*, 2013). Die Fütterung von HI-Larven an Geflügel ist daher kein vollständig neues Konzept (COCKCROFT, 2018). Obwohl es einige sehr interessante Übersichtsarbeiten über die Verwendung von Insekten

in der Ernährung von Mastgeflügel gibt (KHUSRO *et al.*, 2012; MAKKAR *et al.*, 2014; VELDKAMP und BOSCH, 2015), lassen sich nur wenige belastbare Studien über den Einsatz von HI in Geflügel-futtermischungen ausmachen.

HI-Larven und -Präpuppen, die auf Schweinemist oder Küchenabfällen gezüchtet wurden, eigneten sich zufriedenstellend als Futterzusatz in Mischungen für junge Küken (HALE, 1973 zitiert durch BARRAGAN-FONSECA *et al.*, 2017). Der Austausch von 60 bis 100 % Fischmehl durch HI-Larvenmehl in der Fütterung von Perlhühnküken führte zu keinen physio-pathologischen Anomalien. Die Mastleistung zeigte, dass der Einsatz von 60 % HI-Larvenmehl anstelle von Fischmehl bedenkenlos möglich war (WALLACE *et al.*, 2017). Eine teilweise Substitution von SES (10 bis 20 %) in der Futtermischung von Mastwachteln ergab vergleichbare Mastleistungen, Futtereffizienz, Mortalität sowie Schlachtkörpermerkmale, wie bei mit kommerziellem Mastfutter gefütterten Tieren (CULLERE *et al.*, 2016). Ebenso ergab sowohl der partielle Austausch (50 %) wie auch ein 100%iger Austausch von Sojakuchen durch teilentfettetes HI-Larvenmehl in Futtermischungen für Legehennen keine Einschränkung in der Legeleistung oder der Futtereffizienz im Vergleich zu der Kontrollfuttermischung (MAURER *et al.*, 2016).

Zusätzlich wurden von SCHIAVONE *et al.* (2017) Verdaulichkeitsuntersuchungen mit teil- und hochentfettetem HI-Larvenmehl in Futtermischungen (jeweils 250 g/kg wie gefüttert) für Masthähnchen durchgeführt. Unabhängig vom Grad der Entfettung ergab sich mit 0,77 und 0,80 für beide Larvenmehle ein hoher Koeffizient für die scheinbare precaecale Verdaulichkeit (spcV) der AS. Daraus wurde geschlossen, dass sich die Proteinquelle als wertvoller Bestandteil in Masthähnchenfuttermischungen eignet (DE MARCO *et al.*, 2015; SCHIAVONE *et al.*, 2017).

OLUOKUN (2000) untersuchte die Effekte von Fischmehl oder HI-Larvenmehl im Vergleich zu Vollfett-Sojamehl als Kontrollfuttermischung in der Fütterung von Masthähnchen. Die durchschnittlichen LMZ von den mit Fischmehl oder HI-Larvenmehl gefütterten Tieren waren höher als die der Kontrollgruppe. Zusätzlich hatte die Zugabe von HI-Larvenmehl keinen negativen Einfluss auf LM-Entwicklung, FI und FA im Vergleich zu der Fischmehlfuttermischung. Darüber hinaus zeigte sich eine verbesserte Schlachtausbeute, festgestellt durch die Messung innerer Organe (Niere, Muskelmagen und Leber) und des Bauchfetts, wenn die Tiere mit HI-Larvenmehl gefüttert wurden. Daraus resümierte der Autor, dass HI-Larven Fischmehl in den Futtermischungen für Masthähnchen ohne Einbußen in den zootechnischen Parametern ersetzen können (OLUOKUN, 2000, zitiert durch SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2016).

Eine weitere Studie mit Masthähnchen wurde von ELWERT *et al.* (2010) während der Starter- und Grower-Phase durchgeführt. In der Starter-Phase dienten eine „all-vegetable“ (38,7 % Weizen, 36 % SES und 15 % Mais in der Gesamtmischung) und eine Fischmehl-Futtermischung (3 % Fischmehl und 15 % Mais in der Gesamtmischung) als negative bzw. positive Kontrollen. In den Versuchsmischungen wurden unterschiedliche HI-Larvenmehlgehalte, abhängig vom unter-

schiedlichen Entfettungsgrad (6,6 % HI-Larvenmehl mit XL-Gehalt = 37 % in TS, 5,4 % HI-Larvenmehl mit XL-Gehalt = 22 % in TS und 4,7 % HI-Larvenmehl mit XL-Gehalt = 15 % in TS) ergänzt. Die Mischungen wurden nach Bedarf mit AS (Lys, Met+Cys, Thr) supplementiert. In der Grower-Phase wurde die „all-vegetable“-Futtermischung vergleichend zu 5 % HI-Larvenmehl (XL-Gehalt = 22 % in TS) in der Gesamtmischung getestet. Während der Starter-Phase erreichten die mit Fischmehl gefütterten Masthähnchen vergleichbare Werte für die LM wie die mit vollfetttem HI-Larvenmehl gefütterten. Ein gesteigerter Grad der Entfettung des Insektenmehls führte zu signifikant schlechterer LM und FI nach zehn Versuchstagen. Die Versuche in der Grower-Phase ergaben keine nennenswerten Unterschiede.

Insgesamt 4 % getoastete, sonnengetrocknete und vermahlene HI-Larven wurden in einer Studie von MOHAMMED *et al.* (2017) in Futtermischungen für Masthähnchen (Woche 3 bis 8) untersucht. Das HI-Larvenmehl ersetzte dazu 0 oder 33 % des Fischmehls in der Mischung. Mit HI-Larvenmehl gefütterte Tiere zeigten identische Werte für FI, LMZ sowie FA, allerdings mit höheren Werten beim „carcass dressing“ ($p < 0,05$) als die Kontrollgruppe. Darüber hinaus konnten signifikant höhere Hämoglobin-, Hämatokrit- und rote Blutkörperchen-Werte nach der Fütterung von HI-Larven gefunden werden.

In weiteren Experimenten untersuchte UUSHONA (2015) neben den Mastleistungen zusätzlich die Nährstoff- (Protein-, Fett-, Faser-, Asche- und AS-) Verdaulichkeit und die scheinbare umsetzbare Energie von HI-Präpuppenmehl in Masthähnchen-Futtermischungen. MOHAMMED *et al.* (2017) fütterten 43-Tage alten Cobb-500-Masthähnchen ($n = 64$) nach einer dreitägigen Adaptionszeit drei Tage lang vier Versuchsfuttermischungen. Die Kontrollfuttermischung bestand zu 100 % aus Mais, zusätzlich wurden drei Mischungen mit HI-Präpuppenmehl in Abhängigkeit der Verarbeitungsmethode gefüttert: 1. HI-Präpuppenmehl bei 100 °C getrocknet, 2. bei 65 °C getrocknet und 3. entfettet und bei 65 °C getrocknet. Versuchsfuttermischung 1 und 2 ersetzen 50 % und Mischung 3 40 % der Kontrollfuttermischung. Alle Versuchsgruppen zeigten akzeptable Verdaulichkeitswerte (über 70 %), wobei die entfettete Mischung höher verdaulich war als die nicht entfettete gleicher Trocknungsintensität. Die scheinbare umsetzbare Energie der bei 65 °C getrockneten HI-Präpuppen betrug 16,52 MJ/kg, mit einem XP-Verdaulichkeitskoeffizienten des gesamten Verdauungstrakts von 86 %, der damit höher war als für SES anderer Studien.

In einem zweiten Teil der Studie wurde das bei 65 °C getrocknete Präpuppenmehl gestaffelt (0, 10 und 15 % der Gesamtmischung) an 320 Masthähnchen (Lebenstag (LT) 1 bis 36) verfüttert. Anschließend wurden die Auswirkungen auf die Mastleistungen sowie die Organ-, Darm- und Skelettparameter und die Fleischqualität untersucht. Ausschließlich in der durchschnittlichen wöchentlichen FI gab es einen signifikanten Unterschied zwischen den Versuchsgruppen, alle weiteren Leistungsparameter (LMZ, FA) zeigten vergleichbare Werte. Zusätzlich hatte die Inklusion von HI in der Futtermischung keinen Effekt auf die Organ-, Darm, Skelett- und Fleischqualitätsparameter. Daraus ergab sich, dass bis zu 15 % HI-Präpuppenmehl ohne negative Effekte in

Futtermischungen für Masthähnchen eingesetzt werden konnten (UUSHONA, 2015). Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangte COCKCROFT (2018) bei dem Einsatz von 15 % HI-Larvenmehl in der Gesamtfuttermischung für Masthähnchen. In ihrer Studie wurden zwei unterschiedlich entfettete HI-Larvenmehle (trocken hydrolisiert oder extrudiert) mit einem vollfetten Larvenmehl und einer auf Soja (vollfettes Sojamehl und Sojabohnenkuchen) basierten Kontrollfuttermischung verglichen. Die trocken teilentfetteten Larven führten zu Versuchsende zu einer höheren FI, jedoch ohne verbesserte Wachstumsleistung der Masthähnchen. Die Zugabe von vollfetttem HI-Larvenmehl führte zu der stärksten Widerstandskraft gegen Knochenbrüche und wies in allen anderen Parametern wie LMZ, FA, „European production efficiency factor“ (EPEF) und Proteinverwertung überlegene Ergebnisse im Vergleich zu den übrigen Versuchsgruppen auf. Bei dem Einsatz der beiden entfetteten Futtermischungen erreichte die Versuchsgruppe mit dem extrudierten Larvenmehl signifikant überlegene Ergebnisse in den zootecnischen Parametern LMZ, FA und EPEF, verglichen mit der Kontrollgruppe. Für keine der getesteten Futtermischungen wurden Anzeichen einer Magenläsion gefunden. Die drei getesteten Verarbeitungsvarianten von HI zeigten hohe Verdaulichkeitskoeffizienten (über 90 %) für alle analysierten Nährstoffe. Insgesamt konnte sowohl vollfettes als auch teilentfettetes extrudiertes HI-Larvenmehl erfolgreich mit bis zu 15 % in Futtermischungen für Masthähnchen eingesetzt werden (COCKCROFT, 2018).

2.2.6.2 Schweineernährung

Auch in der Fütterung von Schweinen ist Protein einer der teuersten Nährstoffe, wodurch die Dringlichkeit der Erforschung von alternativen Proteinquellen stetig zunimmt (NEWTON *et al.*, 2005a). Für ein effizientes Wachstum, insbesondere für die Entwicklung von Muskelgewebe, ist eine hochwertige Proteinquelle notwendig (VAN HEUGTEN, 2010). Die Versorgung mit essenziellen AS im richtigen Verhältnis zueinander ist für die Schweineproduktion von entscheidender Bedeutung (GOODBAND *et al.*, 2014). Lys ist die erstlimitierende AS in der Schweineernährung. Steht diese nicht in ausreichender Menge zur Verfügung, können auch die weiteren AS nicht zur Muskelproteinsynthese genutzt werden (REESE *et al.*, 1995; GOODBAND *et al.*, 2014). Darüber hinaus ist das richtige Gleichgewicht von Energie zu AS notwendig, wobei ein Überangebot an Energie zu einer unerwünschten übermäßigen Fettablagerung im Tier führen würde (REESE *et al.*, 1995). Bei einem Überangebot an Proteinen bzw. AS werden diese zeitnah wieder abgebaut, da eine Speicherung im Körper nur begrenzt (z. B. im Muskelwachstum oder in der Leber) möglich ist. Dazu wird das Kohlenstoffgerüst abgespalten und zur Energiegewinnung genutzt, während das freiwerdende Ammoniak über die Synthese von Harnstoff aus dem Körper ausgeschleust werden muss. Dieser Prozess ist äußerst energieaufwendig (AWT, 1998).

DRIEMEYER (2016) stellte fest, dass die ernährungsphysiologischen Eigenschaften der HI-Larven und -Präpuppen (vgl. Abschnitt 2.2.5) zeigen, dass sie eine nachhaltige und alternative Proteinquelle in der Schweinefütterung sein können. HI-Larvenmehl ist aufgrund seines hohen Gehalts

an AS, Fett, Ca und seiner guten Schmackhaftigkeit ein geeigneter Bestandteil in der Schweinefuttermischung (NEWTON *et al.*, 1977; MAKKAR *et al.*, 2014). Der relative Mangel an Met+Cys und Thr erfordert eine zusätzliche Supplementierung dieser AS (MAKKAR *et al.*, 2014). Es sind nur wenige Studien über HI-Larven und -Präpuppen in der Ferkel- und Schweinefütterung verfügbar. In Tabelle 7 ist eine Übersicht über die bisherigen Versuche dargestellt. NEWTON *et al.* (1977) konnten in Verdaulichkeitsversuchen an fünf Wochen alten Ferkeln mit getrockneten und vermahlenden HI-Larven (42 % XP, 35 % XL und 5 % Ca auf TS-Basis) zeigen, dass die Verdaulichkeit von TS, XP, Rohasche (XA) und N-freien-Extraktstoffen (NfE) signifikant schlechter war als in der mit SES gefütterten Kontrolle. Die FI sowie die Verdaulichkeit von XL, Ca und P wurden hingegen nicht negativ beeinflusst. Insgesamt schien mit 33 % nicht entfettetem HI-Larvenmehl in der Futtermischung aufgrund schlechterer Verdaulichkeit die Obergrenze für Aufzuchtferkel überschritten worden zu sein. Als ein Grund wurde hierbei der hohe XA- und XL-Gehalt vermutet. Bei einem gleichzeitig durchgeführten Akzeptanzversuch mit HI-Larven zeigte sich eine ebenso gute FI wie bei SES (NEWTON *et al.*, 1977).

Larvenmehl von HI hat sich in einer Studie von DRIEMEYER (2016) bei einer Einsatzhöhe von 3,5 % der Gesamtfuttermischung als eine qualitativ hochwertige und nachhaltige Proteinquelle erwiesen, die effizient anstelle von vollfetterm Sojamehl in der Ferkelernährung eingesetzt werden kann. Die HI-Larven bestanden aus 35,9 % XP, 48,1 % XL, 6,5 % XF und 7,8 % XA auf TS-Basis. Die Larven wurden getrocknet und nicht entfettet verfüttert. Die Futtermischungen wurden an die Anforderungen der Ferkelfütterung angepasst, weswegen ein Einsatz von 3,5 % HI-Larvenmehl der Gesamtmischung aufgrund des hohen Fettgehaltes nicht überschritten werden konnte. Die Ergebnisse zeigten, dass HI-Larvenmehl keinen signifikanten Einfluss auf die LMZ und die FI hatte und das normale Wachstum der Ferkel gewährleistete. Zusätzlich hatte die Fütterung des HI-Larvenmehls keine signifikanten Auswirkungen ($p > 0,05$) auf die Blutparameter (kompletter Blutstatus) der Ferkel. Daraus wurde abgeleitet, dass der Einsatz von HI-Larvenmehl keinen nennenswerten immunologischen Einfluss oder Gesundheitseffekt (positiv oder negativ) bewirkte und somit in Ferkelfuttermischungen verwendet werden kann (DRIEMEYER, 2016).

In aktuellen Untersuchungen wurden 21 Tage alte Absetzferkel mit Futtermischungen aus vollfetten (4 % und 8 % der Gesamtmischung) und entfetteten (5,4 % der Gesamtmischung) HI-Präpuppen gefüttert (SPRANGHERS *et al.*, 2018). Die Ergebnisse wurden mit einer Kontrollfuttermischung basierend auf Soja (SES und getoastete Sojabohnen) als Fett- und Proteinquelle verglichen. Neben den Auswirkungen auf die Darmmikrobiota wurden ausgewählte histologische Parameter des Darms (z. B. Villus-Höhe und Krypten-Tiefe) untersucht, zootechnische Parameter ermittelt sowie die XP-Verdaulichkeit der Futtermischungen bestimmt. Es wurden keine Unterschiede bei den täglichen LMZ, der FI und dem FA festgestellt. Die scheinbare Verdaulichkeit auf Kotbasis ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (XP-Verdaulichkeit zwischen 77 und 78 % für alle Behandlungen). Im Gegensatz dazu waren die Werte für

die precaecale Proteinverdaulichkeit mit 67,4 % für die vollfetten HI-Präpuppen (8 % in der Mischung) tendenziell niedriger als für die Kontrollfuttermischung (69,7 %). Die Fütterung von vollfetten (4 % in der Mischung) und entfetteten HI-Präpuppen zeigte verbesserte Werte (73,3 %) für die precaecale Proteinverdaulichkeit. Zusammenfassend ergab sich aus der Studie, dass eine erhebliche Menge an Soja (SES und/oder getoastet) durch vollfette HI-Präpuppen (bis zu 8 % der Gesamtmischung) ohne nachteilige Wirkung auf alle untersuchten Parameter substituiert werden konnte (SPRANGHERS *et al.*, 2018).

Tabelle 7: *Hermetia illucens* Larven und -Präpuppen in Futtermischungen für Ferkel

Tiere	Einsatzmenge	Ergebnisse	Quellen
Ferkel (LT ~35)	~33 % getrocknete Larven ersetzen SES in Ration	Signifikant schlechtere Verdaulichkeit von TS, N, XA, NfE als in Kontrollgruppe; kein signifikanter Unterschied bei Verdaulichkeit von XL, Ca, P und bei der FI	NEWTON <i>et al.</i> , 1977
Saugferkel (LT 10 bis 28)	Bis 3,5 % getrocknete Larven ersetzen SES und Fischmehl in der Ration	Kein Unterschied bei LMZ und FI	DRIEMEYER, 2016
Absetzferkel (LT ~21)	Bis 8 % vollfette oder entfettete HI-Präpuppen in der Futtermischung anstelle von getoasteten Sojabohnen oder SES	Keine Unterschiede für LMZ, FI und FA sowie scheinbare fäkale Verdaulichkeit	SPRANGHERS <i>et al.</i> , 2018

LT = Lebenstage; SES = Sojaextraktionsschrot; HI = *Hermetia illucens*; TS = Trockensubstanz; XA = Rohasche; NfE = N-freie Extraktstoffe; XL = Rohfett; FI = Futteraufnahme; LMZ = Lebendmassezunahme; FA = Futteraufwand

2.2.6.3 Mögliche Einsatzgrenzen und Besonderheiten

Wie bereits dargestellt, muss im Insektenmehl insbesondere die Limitierung durch die schwefelhaltigen AS beachtet werden. Ohne entsprechenden Ausgleich sind Einsatzbeschränkungen zu erwarten (BOSCH *et al.*, 2014; MAKKAR *et al.*, 2014).

Hinzu kommt die Vermutung, dass der den Larvenkörper umgebende Chitin-Anteil einsatzbegrenzend sein könnte. Chitin ist ein hochmolekulares Polysaccharid aus N-Acetylglucosamin und anderen Glucosaminen, dessen Anteil bei steigendem Alter der Larven zunimmt und für Monogastrier als unverdaulich gilt (SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2014). Zusätzlich soll Chitin allergische Reaktionen auslösen können (BRINCHMANN *et al.*, 2011). Studien zeigten, dass Chitin in der Futtermischung sowohl die FI (MUZZARELLI, 1977) als auch die Proteinverdaulichkeit (LONGVAH *et al.*, 2011) bei Hühnern negativ beeinflussen könnte.

Andererseits zeigte eine Fütterung von 10 % Chitin in der Futtermischung bei Fischen positive Auswirkungen auf Wachstumsraten und Futtereffizienz (KONO *et al.*, 1987). Bei Schweinen wurden Chitinasen im Verdauungstrakt nachgewiesen, welche zum Abbau von Chitin nötig sind (JEUNIAUX und CORNERIUS, 1977; SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2014). Das Vorhandensein dieser Enzyme sagt jedoch nichts über die Verdaulichkeit des Chitins (VAN HUIS, 2013) oder die Nutzbarkeit

der eventuell anfallenden Abbauprodukte für die Tiere aus (JACKSON *et al.*, 1992). Ebenfalls wurde herausgefunden, dass Geflügel Chitinasen bildet (SUZUKI *et al.*, 2002), die Verdaulichkeit von Chitin scheint jedoch limitiert zu sein (HOSSAIN und BLAIR, 2007). Aus bisherigen vorläufigen Daten konnte zwar abgeschätzt werden, dass vollfette HI-Mehle etwa 4 bis 6 % Chitin enthalten, allerdings fehlen aufgrund der anspruchsvollen Chitin-Analytik zuverlässige Vergleichsdaten. Durch die angestrebte Teilentfettung wird der Chitingehalt im HI-Mehl in etwa verdoppelt. Allerdings kann dieser Faktor bei realistischem Mischungsanteil von Insektenmehl nicht als erstrangig eingeordnet werden. Es konnte in Fütterungsversuchen mit Hühnern festgestellt werden, dass der Einsatz von ca. 2 % Chitin in der Futtermischung die LM-Entwicklung signifikant verbessern konnte (SPREEN *et al.*, 1984). Als positive Eigenschaften werden Chitin eine stimulierende Wirkung auf das Immunsystem (LEE *et al.*, 2008; HENRY *et al.*, 2015) sowie antimikrobielle und entzündungshemmende Eigenschaften zugesprochen (BRINCHMANN *et al.*, 2011; VAN HUIS, 2013; SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2014).

Eine weitere Herausforderung bilden die Transferfragen vom Substrat in die Insektenlarve (EFSA, 2015). Potenzielle biologische (Bakterien, Viren, Parasiten, Pilze etc.) und chemisch kritische Substanzen (Schwermetalle, Toxine, Hormone etc.) der aus Insekten gewonnenen Lebens- und Futtermittel hängen von verschiedenen Faktoren ab. Dazu gehören die Produktionsverfahren, die Nahrung der Insekten, die jeweilige Lebenszyklusphase sowie die Verarbeitungsmethoden. Es ist jedoch anzunehmen, dass, wenn die futtermittelrechtlichen Vorgaben eingehalten werden, kein erhöhtes Gefahrenpotential besteht. Zu diesen wichtigen Fragen bestehen nach wie vor erhebliche Informationsdefizite, die schrittweise aufgeklärt werden müssen.

3 Zielstellung

Eine nahezu vollständige Substitution der umfangreichen Importe proteinhaltiger Futtermittel, wie z. B. SES, durch alternative Proteine, ist kurz- bis mittelfristiges Entwicklungsziel im Bereich der nachhaltigen Tierproduktion. Aus der Literaturrecherche kann entnommen werden, dass trotz dieses größer werdenden Interesses an alternativen Proteinquellen, und im besonderen Fall an Insekten in der Tierernährung, nur sehr unzureichende tierexperimentelle Daten zu *Hermetia illucens* für die Masthähnchen- und Mastschweinefütterung verfügbar sind. Die ersten Versuche zeigten jedoch, dass HI eine durchaus vielsprechende Alternative zu SES oder Fischmehl sein kann. Daher sollen in der vorliegenden Arbeit Fragen nach den Substitutionsmöglichkeiten von SES als Proteinquelle durch Insektenlarvenmehl von HI im Rahmen des vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur geförderten Projektes „Sustainability Transitions: Alternative Proteinquellen in sozio-technischer Perspektive“ bearbeitet und insbesondere die Voraussetzungen oder Grenzen für hohe Anteile an HIM im Futter von Masthähnchen und Mastschweinen erforscht werden.

Für die Gewährleistung höchstmöglicher Konvertierungseffizienz müssen zudem ernährungsphysiologisch fundierte Aussagen zum Proteinwert, dessen Variabilität und Beeinflussbarkeit sowie den praktischen Einsatzmöglichkeiten in Futtermischungen erhoben werden (LIEBERT und LEBZIEN 2008; LIEBERT, 2013). Auf der Grundlage einer analytischen Erfassung der wertgebenden Inhaltsstoffe der Proteinquellen wurde daher primär die tierexperimentelle Überprüfung der Einsatzmöglichkeiten von HIM fokussiert. Dazu wurde der Proteinträger SES gestaffelt zu 50 bis 100 % durch die alternativen Proteinquellen, bei gleichzeitig unterschiedlichem Ergänzungsumfang durch kristalline AS, ersetzt. Die Effekte wurden durch die Bestimmung der Akzeptanz der Futtermischungen, der Erhebung zootechnischer Parameter, Ganzkörperanalysen (GKA), Verdaulichkeitsuntersuchungen und eines Vergleichs der Proteinqualität der Futtermischungen für Mastschweine und Masthähnchen auf Grundlage des Göttinger N-Verwertungsmodells evaluiert. Darüber hinaus sollte das finale AS-Muster der formulierten Futtermischungen durch die Supplementation von kristallinen AS optimiert werden.

Die Zielgrößen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Erfassung der laboranalytischen Charakteristik von HI zur Beurteilung der ernährungsphysiologisch relevanten und wertgebenden Inhaltsstoffe, mit besonderem Augenmerk auf die Variabilität der Protein- und AS-Gehalte.
- Evaluierung des Futterpotentials von *Hermetia illucens* in Mastschweine- und Masthähnchenfuttermischungen über kombinierte Wachstums- und N-Bilanzversuche.

4 Material und Methoden

Ausgehend von der dargestellten Zielstellung werden in diesem Kapitel die einzelnen Versuchsdurchführungen vorgestellt.

Die Masthähnchen- und Mastschweineversuche werden aufgrund einer besseren Übersicht getrennt voneinander betrachtet. Als erstes erfolgt jeweils eine dezidierte Darstellung der Versuchskonzeption, um einen Überblick über die durchgeführten Versuche zu geben. Dabei werden die im Gesamtprojekt parallel untersuchten Proteinquellen (*HIM* und *Spirulina platensis* Mehl, (SPM)) im Versuchsdesign dargestellt. Die weiteren Ausführungen erfassen jedoch ausschließlich die Proteinquelle *HIM*. Darauffolgend werden eingesetztes Tiermaterial, Futterkomponenten, Tierhaltung sowie die Versuchsmischungen und Versuchsdurchführungen für die Wachstums- und N-Bilanzversuche detailliert dargestellt.

Abschließend werden die Datenerhebung sowie analytische und mathematisch-statistische Auswertungsmethoden für beide Tierarten gemeinsam beschrieben.

Alle Versuche wurden in den tierexperimentellen Einrichtungen der Abteilung Tierernährungsphysiologie der Georg-August-Universität Göttingen durchgeführt und zuvor beim Niedersächsischen Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit angezeigt und von diesem genehmigt (AZ: 03.2016/AZ15/2027).

4.1 Versuche mit Masthähnchen

An Masthähnchen wurden drei Wachstums- und drei N-Bilanzversuche durchgeführt. Die N-Bilanzversuche verliefen jeweils parallel zu den Wachstumsversuchen. Der Versuchszeitraum aller Versuche erstreckte sich von Mai 2016 bis März 2017.

4.1.1 Versuchskonzeption

In Tabelle 8 und 9 sind alle im Projekt mit Masthähnchen durchgeführten Wachstums- und N-Bilanzversuche abgebildet. Aufgrund der Vielzahl der durchgeführten Versuche standen beim Verfassen der Dissertation noch nicht alle Ergebnisse zur Verfügung, es wird daher nicht auf alle Untersuchungen eingegangen. Zur Verdeutlichung, welche Versuche Gegenstand der vorliegenden Arbeit waren, sind diese in Tabelle 8 und Tabelle 9 grau hinterlegt.

4.1.1.1 Wachstumsversuche

Es wurden drei konsekutive Wachstumsversuche mit gestaffelter Substitution des SES zur Evaluierung von Wachstumsleistungen, GKA, Proteinqualitätsparametern sowie Parametern der Verdaulichkeit von Masthähnchenfuttermischungen durchgeführt (siehe Tabelle 8). In den Futtermischungen wurden gestaffelt 50 %, 75 % und 100 % des SES durch *HIM* oder *SPM* substituiert. Jeder Versuch teilte sich in eine Starter- (LT 1-21) und eine Grower-Phase (Versuch I und III:

LT 22 bis 34, Versuch II: LT 22 bis 35) auf. In den Wachstumsversuchen wurden in Versuch I insgesamt 288 Masthähnchen, in den Versuchen II und III jeweils 336 Masthähnchen eingesetzt. Es folgte eine Aufteilung anhand der durchschnittlichen LM in fünf homogene Fütterungsgruppen. Als Kontrollgruppe diente für die Wachstumsversuche I bis III eine Futtermischung mit SES als Hauptproteinträger, welche mit kristallinen AS, angepasst an das IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013), ergänzt wurde.

In Wachstumsversuch I wurden neben der Kontrollgruppe zwei Versuchsgruppen (HM und SM) konzipiert, in denen ausschließlich SES zu 50 % auf Basis des XP-Gehaltes durch HIM oder SPM substituiert wurde. Der Basisumfang der AS-Supplementierung der SES-Kontrollmischung wurde exakt für die Versuchsgruppen übernommen. Dadurch sollte eine erste Beurteilung der Austauschbarkeit von SES durch HIM und SPM unter vergleichbaren Bedingungen ermöglicht werden. In zwei weiteren Versuchsgruppen (HM+ und SM+) wurde ein erweiterter AS-Umfang, wiederum angepasst an das IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013), eingesetzt.

In Wachstumsversuch II erfolgte ein Anstieg des Austauschniveaus auf 75 % begrenzt auf die Starter-Phase. In der Grower-Phase wurden nur 50 % substituiert, um vergleichbare Bedingungen zu Wachstumsversuch I für weiterführende Schlachtkörper- und Fleischqualitätsuntersuchungen in einem anderen Teilprojekt zu sichern. Das Versuchskonzept unterschied sich zu Versuch I durch das Austauschniveau und durch die Art der AS-Supplementierung. Die Kontrolle wurde identisch zum Wachstumsversuch I konzipiert, jedoch mit einem veränderten Lys-Gehalt (1,35 % Starter-Phase/1,15 % Grower-Phase) als Grundlage für die AS-Supplementierungen (vgl. Tabelle 8), um den neuesten Empfehlungen von WECKE *et al.* (2016) gerecht zu werden. In den ersten beiden Versuchsgruppen (HM+ und SM+) erfolgte neben dem 75%igen/50%igen Austausch von SES (auf Basis des XP-Gehaltes) eine AS-Supplementierung angepasst an das IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013). Im nächsten Schritt wurde die jeweils rechnerisch ermittelte erstlimitierende AS im Futterprotein (LAS) auf 80 % der Versorgungsempfehlung herabgesenkt. Diese Absenkung verfolgte das Ziel, die Wichtigkeit der bedarfsdeckenden LAS-Supplementation sowie Messungen zur AS-Wirksamkeit zu ermöglichen (Versuchsgruppe HM-LAS und SM-LAS).

Im Wachstumsversuch III wurde das maximale Austauschniveau von 100 % des XP-Gehaltes von SES durch HIM und SPM evaluiert. Die Kontrolle wurde identisch zum Wachstumsversuch II konzipiert. Zusätzlich wurde L-Cys eingesetzt, um das angenommene Idealverhältnis Met : Cys = 1 : 1 (GRABER und BAKER, 1971; MORAN, 1981; BAKER *et al.*, 1996; KHAN *et al.*, 2015) einstellen zu können. Das weitere Versuchskonzept wurde von Wachstumsversuch II übernommen und unterschied sich ausschließlich in dem höheren Austauschniveau, einschließlich der Grower-Phase.

Nach Beendigung der Wachstumsversuche wurden die Masthähnchen zur Gewinnung der Ganzkörper sowie zur Gewebe- und Chymusentnahme durch CO₂-Inhalation getötet. Masthähnchen für die sensorische Bewertung der Fleischqualität wurden traditionell geschlachtet. Die Aufteilung der Tiere für die unterschiedlichen Probeentnahmen kann ebenfalls Tabelle 8 entnommen werden. Die Gewinnung der Ganzkörpertiere sowie der Chymusproben zur Analyse der scheinbaren precaecalen Protein- und AS-Verdaulichkeiten wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführt und sind jeweils im Abschnitt 4.3.3 sowie Abschnitt 4.3.4 ausführlich beschrieben.

Darüber hinaus erfolgten mikrobiologische und histologische Untersuchungen sowie Bestimmungen der Fleischqualitätsparameter, die von verschiedenen externen Arbeitsgruppen übernommen wurden und nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit waren.

Die mikrobiologische Untersuchung der Futtermischungen und des Dünndarmchymus der Masthähnchen wurde von der Arbeitsgruppe von Herrn Prof. Czerny (Abteilung Tierhygiene und Mikrobiologie, Department für Nutztierwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen) durchgeführt.

Die histologischen und stereologischen Untersuchungen von Organen und Darmgewebe wurden von zwei verschiedenen Kooperationspartnern durchgeführt. Mit Histologie A (vgl. Tabelle 8) wurde die Arbeitsgruppe von Frau Dr. Gruber-Dujardin (Deutsches Primatenzentrum, Abteilung Pathologie, Göttingen) gekennzeichnet. Mit Histologie B (vgl. Tabelle 8) wurde die Arbeitsgruppen von Frau Hanuszewska (Department of Poultry Science, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Polen) und von Frau Prof. Dr. Przybylska-Gornowicz (Department of Histology and Embryology, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Polen) bezeichnet.

Eine sensorische Bewertung der Fleischqualität der Masthähnchen wurde von Arbeitspaket III des Projektes „Sustainability Transitions“ unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Mörlein (Abteilung Produktqualität tierischer Erzeugnisse, Department für Nutztierwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen) vorgenommen.

Tabelle 8: Versuchskonzept Wachstumsversuch I (Mai/Juni 2016), II (Sept./Okt. 2016) und III (Feb./März 2017) mit Masthähnchen

Diäten	Kontrolle	Hermetia (HM)	Spirulina (SM)	Hermetia (HM+)	Spirulina (SM+)
Versuch I 1,25/1,05 % Lys	SES = HPQ	50 % von SES Starter/Grower	50 % von SES Starter/Grower	50 % von SES Starter/Grower Erweiterter	50 % von SES Starter/Grower Erweiterter
AS-Supplementierung	Angepasst an das IAAR*	Basisumfang der Kontrolle	Basisumfang der Kontrolle	Umfang angepasst an das IAAR*	Umfang angepasst an das IAAR*
Boxen-/Tierzahl (n)	12/72	9/54	9/54	9/54	9/54
Ganzkörper	4 Tiere	4 Tiere	4 Tiere	4Tiere	4 Tiere
spcV	4 Poolproben	4 Poolproben	4 Poolproben	-	-
Mikrobiologie	4 Poolproben Futter/Chymus	4 Poolproben Futter/Chymus	4 Poolproben Futter/Chymus	-	-
Histologie A	8 Tiere	8 Tiere	8 Tiere	-	-
Histologie B	12 Tiere	12 Tiere	12 Tiere	-	-
Fleischqualität	ja	-	-	ja	ja
	Kontrolle	Hermetia (HM+)	Spirulina (SM+)	Hermetia (HM-LAS)	Spirulina (SM-LAS)
Versuch II 1,35/1,15 % Lys	SES = HPQ	75 %/50 % von SES Starter/Grower Erweiterter	75 %/50 % von SES Starter/Grower Erweiterter	75 %/50 % von SES Starter/Grower	75 %/50 % von SES Starter/Grower
AS-Supplementierung	Angepasst an das IAAR*	Umfang angepasst an das IAAR*	Umfang angepasst an das IAAR*	1. LAS auf 80 % von B	1. LAS auf 80 % von C
Boxen-/Tierzahl (n)	12/84	9/63	9/63	9/63	9/63
Ganzkörper	4 Tiere	4 Tiere	4 Tiere	4Tiere	4 Tiere
spcV	4 Poolproben	-	-	4 Poolproben	4 Poolproben
Mikrobiologie	4 Poolproben Futter/Chymus	-	-	4 Poolproben Futter/Chymus	4 Poolproben Futter/Chymus
Histologie A**	5 Tiere	5 Tiere	5 Tiere	-	-
Histologie B	8 Tiere	8 Tiere	8 Tiere	8 Tiere	8 Tiere
Fleischqualität	ja	ja	ja	-	-
	Kontrolle	Hermetia (HM+)	Spirulina (SM+)	Hermetia (HM-LAS)	Spirulina (SM-LAS)
Versuch III 1,35/1,15% Lys***	SES = HPQ	100 % von SES Starter/Grower Erweiterter	100 % von SES Starter/Grower Erweiterter	100 % von SES Starter/Grower	100 % von SES Starter/Grower
AS-Supplementierung	Angepasst an das IAAR*	Umfang angepasst an das IAAR*	Umfang angepasst an das IAAR*	1. LAS auf 80 % von B	1. LAS auf 80 % von C
Boxen-/Tierzahl (n)	12/84	9/63	9/63	9/63	9/63
Ganzkörper	4 Tiere	4 Tiere	4 Tiere	4Tiere	4 Tiere
spcV	4 Poolproben	4 Poolproben	4 Poolproben	-	-
Mikrobiologie	4 Poolproben Futter/Chymus	4 Poolproben Futter/Chymus	4 Poolproben Futter/Chymus	-	-
Histologie A**	5 Tiere	-	-	5 Tiere	5 Tiere
Histologie B	-	-	-	-	-
Fleischqualität	ja	ja	ja	-	-

SES = Sojaextraktionsschrot; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl; HPQ = Hauptproteinquelle; HM+/SM+ = Futtermischungen HM und SM mit erweiterter AS-Supplementierung; LAS = limitierende AS im Futterprotein; spcV = scheinbare precaecale Verdaulichkeit von XP und AS; *IAAR= ideales Aminosäurenverhältnis nach WECKE und LIEBERT (2013); ** Tiere für Histologie A wurden nach der Starter-Phase beprobt; ***Met : Cys = 1 : 1

4.1.1.2 N-Bilanzversuche

Parallel zu den Wachstumsversuchen mit Masthähnchen wurden drei aufeinanderfolgende N-Bilanzversuche mit vollständiger Substitution des SES mit HIM oder SPM durchgeführt. Gegenstand dieser Studien war die Messung der täglichen N-Aufnahme und N-Ausscheidung, um über die Differenz die tägliche N-Bilanz abzuleiten. Der detaillierte Versuchsaufbau kann Tabelle 9 entnommen werden.

Die N-Bilanzversuche I bis III teilten sich in eine Starter- und eine Grower-Phase auf, wobei die Exkrementensammeltage in allen drei Versuchen identisch von LT 10 bis 20 (Starter) und LT 25 bis 35 (Grower) festgelegt wurden. In N-Bilanzversuch I wurden insgesamt 70 Masthähnchen (35 für die Starter-Phase und 35 für die Grower-Phase) eingesetzt und in fünf Versuchsgruppen aufgeteilt. Für die N-Bilanzversuche II und III wurden jeweils 72 Masthähnchen (36 für die Starter-Phase und 36 für die Grower-Phase) auf neun Versuchsmischungen aufgeteilt. Als Kontrollgruppe diente für die N-Bilanzversuche I bis III, vergleichbar zu den Wachstumsversuchen I bis III, eine Futtermischung mit SES als Hauptproteinträger und kristallinen AS, angepasst an das IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013).

N-Bilanzversuch I wurde in Anlehnung an den Wachstumsversuch I konzipiert. Das bedeutet, neben der Kontrollmischung wurden zunächst zwei Futtermischungen (HM und SM) eingesetzt, bei denen der Basisumfang der AS-Supplementierung der Kontrollmischung übernommen wurde, allerdings mit 100 % Substitution von SES durch HIM und SPM. In der 4. und 5. Versuchsmischung (HM+ und SM+) wurde wiederum ein erweiterter AS-Umfang, angepasst an das IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013), eingesetzt.

In den N-Bilanzversuchen II und III wurde die Kontrolle in Anlehnung an den Bilanzversuch I konzipiert, jedoch mit einem veränderten Lys-Gehalt (1,35 % Starter-Phase/1,15 % Grower-Phase) als Grundlage für die AS-Supplementierungen (vgl. Tabelle 9). Zusätzlich wurde L-Cys ergänzt, um ein Met : Cys -Verhältnis von 1 : 1 (GRABER und BAKER, 1971; MORAN, 1981; BAKER *et al.*, 1996; KHAN *et al.*, 2015) einzustellen. Neben der Kontrollgruppe wurde in den ersten beiden Versuchsgruppen (HM+ und SM+) neben dem 100%igen Austausch von SES durch HIM und SPM eine AS-Supplementierung angepasst an das IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) vorgenommen. Im nächsten Schritt wurde die jeweils rechnerisch ermittelte 1., 2. oder 3. LAS auf 80 % der Versorgungsempfehlung herabgesenkt, um die Wichtigkeit der AS-Supplementationen aufzeigen zu können und Aussagen zur AS-Wirksamkeit zu ermöglichen.

Tabelle 9: Versuchskonzept N-Bilanzversuche I (Mai/Juni 2016), II (Sept./Okt. 2016) und III (Feb./März 2017) mit Masthähnchen

Diäten	Kontrolle	Hermetia (HM)	Spirulina (SM)	Hermetia (HM+)	Spirulina (SM+)
Versuch I 1,25/1,05% Lys	SES = HPQ	100 % Austausch von SES Starter/Grower	100 % Austausch von SES Starter/Grower	100 % Austausch von SES Starter/Grower	100 % Austausch von SES Starter/Grower
AS-Supplementierung	Angepasst an das IAAR*	Basisumfang der Kontrolle	Basisumfang der Kontrolle	Erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*	Erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*
Tierzahl Starter/ Grower	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7

Diäten	Kontrolle	HM+	SM+	HM -Met	SM -Lys	HM -Arg	SM -Met	HM -Lys	SM -His
Versuch II 1,35/1,15 % Lys**	SES = HPQ	100 % Austausch von SES Starter/Grower							
AS-Supplementierung	Angepasst an das IAAR*	Erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*		1. LAS auf 80% von B	1. LAS auf 80% von C	2. LAS auf 80% von B	2. LAS auf 80% von C	3. LAS auf 80% von B	3. LAS auf 80% von C
Tierzahl Sarter /Grower	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4

Diäten	Kontrolle	HM+	SM+	HM -Met	SM -Met	HM -Arg	SM -His	HM -Thr	SM -Try
Versuch III 1,35/1,15 % Lys**	SES = HPQ	100 % Austausch von SES Starter/Grower							
AS-Supplementierung	Angepasst an das IAAR*	Erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*		1. LAS auf 80% von B	1. LAS auf 80% von C	2. LAS auf 80% von B	2. LAS auf 80% von C	3. LAS auf 80% von B	3. LAS auf 80% von C
Tierzahl Sarter /Grower	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4

SES = Sojaextraktionsschrot; HM = Futtermischung mit *Hermetia Illucens* Mehl; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl; LAS = limitierende AS im Futterprotein; HPQ = Hauptproteinquelle; *IAAR= ideales AS-Verhältnis nach WECKE und LIEBERT (2013); ** Met : Cys = 1 : 1

4.1.2 Herkunft, Haltung und Fütterung der Tiere

Für die Versuche mit Masthähnchen wurden ausschließlich männliche Tiere der Genetik Ross 308 verwendet. Die Tiere wurden von der Brüterei Wimex Agrarprodukte aus Dessau-Roßlau bezogen.

4.1.2.1 Wachstumsversuche

Beim Ankunftstag (Schlupftag) wurden die Küken gemeinsam bei 32 °C in Bodenhaltung auf Holzspänen eingestallt. Zu Versuchsstart (1. LT) wurden alle Tiere einzeln gewogen und anschließend auf 48 Bodenhaltungsboxen zu je sechs (Wachstumsversuch I) oder sieben Tieren (Wachstumsversuch II und III) pro Box in homogene Versuchsgruppen eingeteilt. Bei dieser Aufteilung handelte es sich jeweils um eine Kontrollgruppe (12 Boxen) und vier Versuchsgruppen (jeweils 9 Boxen) (vgl. Tabelle 8). Die Boxenzuteilung erfolgte dabei pro Raum zufällig, jedoch mit möglichst gleicher Anzahl der jeweiligen Versuchsgruppen in den zwei Räumen, um einen Raumeffekt ausschließen zu können. Die 48 Bodenhaltungsboxen standen in zwei Räumen (24 Boxen pro Raum). Als Einstreu wurden Sägespäne verwendet. Alle Boxen waren mit einer automatischen Rundtränke und einem Futtertrog ausgestattet. Die Boxenabmessungen in den Räumen unterschieden sich (Raum 1: 70 x 150 cm = 1,05 m², Raum 2: 108 x 120 cm = 1,30 m²). Für Wachstumsversuch I stand jedem Tier entsprechend eine Fläche von 0,17 bis 0,22 m² und in Wachstumsversuch II und III eine Fläche von 0,15 bis 0,19 m² zur Verfügung. Die Temperatur wurde den Bedürfnissen entsprechend von anfänglich 32 °C um 2 bis 3 °C pro Woche herabgesenkt. Die Belüftung wurde durch ein automatisches Zu- und Abluftsystem geregelt und es wurde ein Hell : Dunkel-Rhythmus von 23 : 1 h angewandt. Bei Bedarf wurde während der gesamten Versuchszeit nasse Einstreu aus den Boxen entfernt und durch frische ersetzt. Abbildung 2 zeigt eine dieser Bodenhaltungsboxen.

Die ordnungsgemäßen experimentellen Versuchsabläufe wurden zweimal täglich routinemäßig überprüft. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Futter- und Wasserversorgung, das Raumklima sowie den Gesundheitszustand der Masthähnchen gelegt. Den Masthähnchen wurde das Futter in pelletierter Form *ad libitum* zur Verfügung gestellt. Dazu wurde mehrmals täglich der Füllungsgrad der Tröge kontrolliert. Um Streuverluste zu vermeiden wurden die Tröge maximal zu dreiviertel gefüllt. Die Tiere hatten jederzeit freien Zugang zu Wasser. Einmal wöchentlich wurden die Futterreste pro Box zurückgewogen.



Abbildung 2: Haltung der Versuchstiere im Wachstumsversuch

4.1.2.2 N-Bilanzversuche

Die für den jeweiligen N-Bilanzversuch vorgesehenen Masthähnchenküken wurden bis zur Einteilung in den Bilanzversuch zusammen mit den Reservetieren der Wachstumsversuche in Bodenhaltung auf Einstreu aus Holzspänen gehalten. Für die jeweilige Starter- und Grower-Phase wurden unterschiedliche Tiere eingesetzt. In Bilanzversuch I wurden jeweils 35 Masthähnchen und in Bilanzversuch II und III wurden aufgrund anderer Versuchsgruppenaufteilung jeweils 36 Masthähnchen in der Starter- und Grower-Phase eingesetzt.

Starter-Phase (10.-20. LT)

Am vierten LT erfolgte die Umsetzung der Masthähnchen aus der Bodenhaltung in die Bilanzkäfige für eine Adaptionsperiode. Um eine homogene Verteilung der durchschnittlichen LM in allen Versuchsgruppen zu gewährleisten, erfolgte zuvor eine Einzeltierwägung. Vom vierten bis zum fünften LT teilten sich die Küken jeweils zu zweit einen Bilanzkäfig. Dadurch wurde eine schnellere bzw. leichtere Eingewöhnung an die neue Haltungsumwelt sichergestellt. Wenn die Adaption an die neue Haltungssituation für ein einzelnes Tier nicht gelang, wurde es durch ein Küken iden-

tischer LM ersetzt. Am fünften LT wurden die Tiere getrennt voneinander in jeweils einen Stoffwechsellkäfig (Abmaße 25 cm x 30 cm) eingestallt. Am zehnten Tag begann eine zweimal fünftägige Sammelperiode, um bei möglichst geringer Tierzahl die Anzahl der Wiederholungen pro Versuchsmischung zu erhöhen. Um die Exkremente sammeln zu können, waren die Bilanzkäfige mit Gitterböden und darunter angebrachten Sammelblechen ausgestattet. Zusätzlich war jeder Bilanzkäfig mit einer Selbsttränke und einem außen angebrachten Futtertrog mit darunter befindlichem Blech zum Aufsammeln von herausgefallenen Futterpartikeln versehen. Im Verlauf der Experimente wurde die Haltungstemperatur entsprechend der Vorgaben des Zuchtunternehmens AVIAGEN (2014a) angepasst. Die tägliche Lichtphase hatte eine Länge von 23 Stunden.

Grower-Phase (25.-35. LT)

Haltungsbedingungen und Adaptionzeit der Tiere für die Grower-Phase verliefen identisch zur Starter-Phase. Entsprechend wurden am 20. LT alle Tiere für eine fünftägige Adaptionperiode einzeln in Stoffwechsellkäfige mit den Abmaßen 80 cm x 80 cm (vgl. Abbildung 3) eingestallt. Die zweimal fünftägige Sammelperiode erfolgte vom 25. LT bis 30. LT bzw. vom 30. LT bis 35. LT.

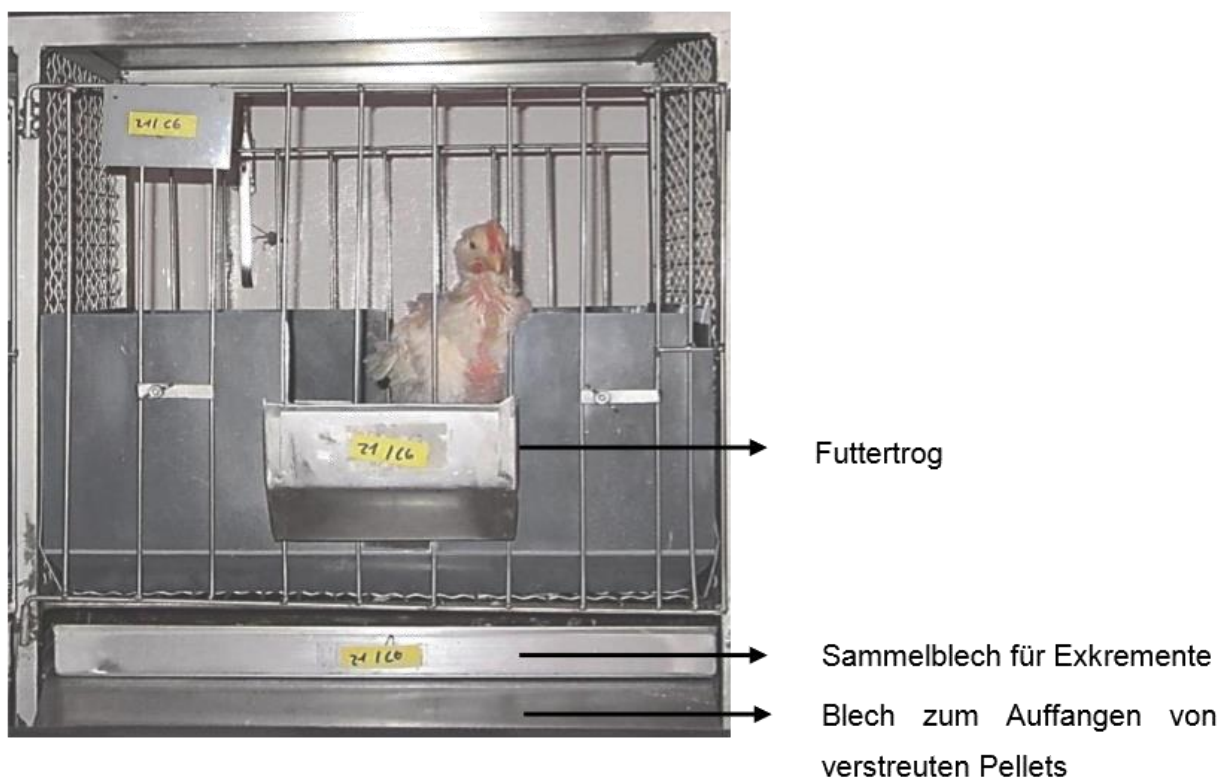


Abbildung 3: Bilanzkäfig während der Grower-Phase (Abbildung aus PASTOR, 2014)

Während die Masthähnchen in Bodenhaltung eingestallt waren, erhielten sie ein konventionelles Standardfutter oder das Kontrollfutter auf SES-Basis. Mit Einstellen in die Bilanzkäfige wurde das Futter schrittweise vier Tage lang durch das entsprechende Versuchsfutter ersetzt. Insgesamt

wurden die Masthähnchen während des Versuches leicht restriktiv gefüttert, um Streuverluste minimal zu halten. Zur exakten Bestimmung der täglichen Futtermenge erhielten die Tiere zu Beginn der Adaptionsperiode *ad libitum* Zugang zu Futter. Dabei wurde die durchschnittliche tägliche FI aller eingestellten Tiere bestimmt und daran angepasst eine fetsgelegte tägliche Futtermenge errechnet. Bei Bedarf wurde die Futtermenge bedingt durch den alterstypischen Anstieg der FI für alle Tiere erhöht. Den Masthähnchen wurde zweimal täglich zu identischer Uhrzeit (08:00 h und 20:00 h) Futter vorgelegt. Einmal täglich wurden nicht aufgenommenes Futter sowie herausgefallene Reste von den Futterblechen gesammelt und zurückgewogen. Wasser stand den Tieren über die Selbsttränken *ad libitum* zur Verfügung. Alle Masthähnchen wurden zu Beginn der Adaptionsphase sowie zu Beginn und am Ende der jeweiligen Sammelperioden morgens nüchtern gewogen.

4.1.3 Futterherstellung

Das Futter für die Versuchstiere wurde in den Einrichtungen der Tierernährungsphysiologie des Departments für Nutztierwissenschaften der Georg-August-Universität hergestellt.

Die Herstellung der Futtermischungen für alle Masthähnchen-Versuchsfuttermischungen erfolgte mit Chargenmischern unterschiedlichen Fassungsvermögens der Fa. Gebrüder Lödige Maschinenbau GmbH, 33102 Paderborn, Deutschland (Typ M20MK oder Typ FM130D1MZ). Zur Realisierung einer möglichst hohen Mischgenauigkeit in den Futtermischungen wurde zunächst eine Vormischung, bestehend aus den Kleinkomponenten mit einem Anteil $\leq 5\%$, hergestellt. Der anschließende Mischvorgang der Vormischung erfolgte in einem Exaktmischer mit einem Fassungsvermögen von 10 kg. Die Hauptkomponenten wurden separat abgewogen und anschließend mit der Vormischung im Lödige-Futtermischer (Typ FM150D1MZ) vermischt. Im Anschluss wurde das Futter mit einer Pelletpresse (R.A. Lister & Company Ltd., England; Typ 3530 FPP 20) pelletiert und für 24 Stunden unter Kaltluftzufuhr getrocknet, um den Feuchtegehalt zu reduzieren. Für die Starter-Phase wurde eine Pelletgröße mit einem Durchmesser von etwa 2 mm und für die Grower-Phase von 4 mm hergestellt.

4.1.4 Futterkomponenten und Versorgungsempfehlungen

Zur Gestaltung der Versuchsfuttermischungen wurden die einzelnen Futterkomponenten anhand ihrer allgemeinen Bedeutung in der Masthähnchenfütterung ausgewählt. SES wurde als Hauptproteinquelle eingesetzt, um das Projektziel, „Austausch von SES durch alternative Proteinquellen“, realisieren zu können. Eine korrekte Erstellung der Versuchsmischungen bedarf detaillierter Kenntnisse des Nährstoffbedarfes der Masthähnchen sowie der verfügbaren Nährstoffe in den verwendeten Einzelfuttermitteln. Der Nährstoffbedarf wurde nach entsprechenden Versorgungsempfehlungen für die Rationsberechnungen definiert. Die Rohnährstoff- und AS-Zusammenset-

zung der zu verwendenden Einzelfuttermittelkomponenten wurde mittels Analysen vor der Formulierung und Herstellung der Futtermischungen erhoben. Die Kalkulation der Futtermischungen erfolgte mithilfe eines Computerprogramms zur Mischfutteroptimierung (HYBRIMIN® WinFumi Vers. 8).

Futtermittelskomponenten

Entsprechend der praxisüblichen Futtermischungen wurden SES, Weizen und Mais als Hauptkomponenten für die Kontrollfuttermischungen der Masthähnchen, sowohl für die Wachstumsversuche als auch für die N-Bilanzversuche, ausgewählt. Darüber hinaus wurde eine Vitaminvorbereitung (Broiler Vilomix), Mineralstoffe (Dicalciumphosphat, Calciumcarbonat, Natriumchlorid), Sojaöl sowie Titandioxid als Markersubstanz, oder als dessen Ersatz Weizenstärke, eingesetzt. Die verwendeten Wirkstoffvorbereitungen wurden auf Grundlage von wissenschaftlichen Vorgaben seitens der Abteilung Tierernährungsphysiologie von der Deutschen Vilomix Tierernährung GmbH hergestellt. Neben SES wurde HIM als Proteinquelle in den Versuchsmischungen eingesetzt. Bei Nichterreichen des idealen AS-Verhältnisses für die Masthähnchen durch die Mischung der Einzelkomponenten wurden zusätzlich kristalline AS eingesetzt. Die im Labor für Tierernährungsphysiologie der Georg-August-Universität Göttingen analysierten Rohstoffgehalte und AS-Zusammensetzungen der eingesetzten Proteinquellen SES und HIM können Tabelle 10, sowie der weiteren Einzelfuttermittel Weizen und Mais Anhangs-Tabelle 1 entnommen werden.

Das untersuchte HIM wurde von einem kommerziellen Hersteller (Hermetia Futtermittel GbR, Baruth/Mark, Deutschland) bezogen. Die schwarzen Soldatenfliegenlarven wurden nach 20 Masttagen vom Futtersubstrat (Roggenmehl, Weizenkleie, Wasser) getrennt und bei einer Temperatur zwischen 65 °C und 70 °C für 14 Stunden getrocknet. Anschließend wurden die Larven mithilfe einer Schneckenpresse (Type AP08, Reinartz) teilentfettet und zu einem Mehl vermahlen.

Tabelle 10: Nährstoff- und Aminosäuren-Gehalte der verwendeten Hauptproteinquellen

Inhaltsstoffe	SES		HIM	
TS (%)	89,5		94,5	
XP (% der TS)	48,1		60,8	
XA (% der TS)	6,9		7,5	
XL (% der TS)	2,1		14,1	
XF (% der TS)	9,3		10,9	
Aminosäuren-Gehalte	g AS/16 g N	mg AS/g TS	g AS/16 g N	mg AS/g TS
Lys	6,07	29,18	5,42	32,97
Met	1,28	6,17	1,24	7,53
Cys	1,45	6,99	0,80	4,89
Thr	3,77	18,14	3,57	21,70
Arg	7,19	34,54	4,12	25,05
Val	4,37	21,00	5,35	32,58
Leu	7,32	35,16	6,24	37,95
Ile	4,34	20,84	3,86	23,47
His	2,53	12,17	2,73	16,58
Phe	4,88	23,45	3,45	20,96
Tyr	3,71	17,81	7,04*	42,86*
Ala	4,22	20,25	9,03	54,93
Gly	4,29	20,61	5,11	31,10
Pro	5,09	24,46	6,26	38,08
Glu	17,30	83,15	10,06	61,20
Ser	4,81	23,10	4,11	25,02
Asp	11,27	54,14	7,54	45,90

SES = Sojaextraktionsschrot; HIM = *Hermetia illucens* Larvenmehl; TS = Trockensubstanz; XP = Rohprotein; XA = Rohasche; XL = Rohfett; XF = Rohfaser; *unter Vorbehalt, aufgrund schlechter Peakform bei der Analyse

Versorgungsempfehlungen

Als Grundlage zur Erstellung der Futtermischungen dienten unterschiedliche Versorgungsempfehlungen. Die Gehalte an XP, Energie, Ca, Na und P wurden auf Basis mehrerer Literaturempfehlungen identisch zu PASTOR (2014) festgesetzt. Die entsprechenden Richtwerte können Tabelle 11 entnommen werden.

Tabelle 11: Festgesetzte Zielgrößen für die Gehalte an Energie, Rohprotein, Kalzium, Phosphor und Natrium für die Versuchsfuttermischungen der Masthähnchen (nach PASTOR, 2014)

	Energie (MJ ME/kg)	Rohprotein (%)	Kalzium (%)	Gesamt Phosphor (%)	Natrium (%)
Starter-Phase	12,7	22	1,00	0,60	0,20
Grower-Phase	13,3	20	0,85	0,55	0,18

Zur Berechnung der AS-Relationen wurde zunächst der Lys-Gehalt für die Starter-Phase auf 1,25 % (Wachstums- und Bilanzversuch I) bzw. 1,35 % (Wachstums- und Bilanzversuch II bis III) und für die Grower-Phase entsprechend auf 1,05 % und 1,15 % festgesetzt. Die Steigerung der Lys-Gehalte für die Versuche II und III begründete sich durch zwischenzeitlich aktualisierte Empfehlungen von WECKE *et al.* (2016). Die weiteren AS-Gehalte wurden anhand des aus verschiedenen Literaturdaten erhobenen IAAR nach WECKE und LIEBERT (2013) eingestellt. Für das IAAR wird Lys als Referenz-AS (100) eingesetzt. Anhand der idealen relativen Verhältnisse der essentiellen AS im Vergleich zu Lys wird das AS-Bedarfsmuster des tierischen Organismus ausgedrückt und dient als Richtwert für die Futtermischungen (Tabelle 12).

Tabelle 12: Ideales Aminosäurenverhältnis für Masthähnchen in der Starter- und Grower-Phase (WECKE und LIEBERT, 2013)

Aminosäure	Starter-Phase	Grower-Phase
Lys	100	100
Met	38	38
Met+Cys	74	74
Thr	60	62
Trp	19	17
Arg	105	105
His	34	34
Ile	55	65
Val	63	79
Leu	105	105
Phe	66	66
Phe + Tyr	120	120

4.1.5 Versuchsfuttermischungen

Anhand des Versuchskonzeptes, wie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben, wurden die Versuchsmischungen der Wachstums- und Bilanzversuche konzipiert.

4.1.5.1 Wachstumsversuche

In den Wachstumsversuchen I bis III wurden insgesamt jeweils fünf verschiedene Futtermischungen (vgl. Tabelle 8) auf Basis der Kontrollfuttermischung (vgl. Abschnitt 4.1.4) hergestellt, um den Einsatz von HIM und SPM als alternative Proteinquelle zu evaluieren. In diesem Kapitel werden die Versuchsfuttermischungen der Kontrollgruppen sowie die experimentellen Futtermischungen mit HIM der Wachstumsversuche I bis III dargestellt und erläutert. Das Verhältnis Weizen : Mais wurde in allen Versuchsmischungen konstant mit 2 : 1 eingestellt, wodurch eine Verschiebung der AS-Verhältnisse durch die Getreidekomponenten verhindert werden sollte.

Wachstumsversuch I

In Wachstumsversuch I wurde das Potential von HIM bei 50%igem Austausch von SES im Masthähnchenfutter untersucht, sowohl bei einem Basis-, als auch bei einem erweiterten Umfang an AS-Supplementierungen. Die exakten Versuchsfuttermischungen sowie die analysierten Nährstoffgehalte können Tabelle 13 entnommen werden.

Die Kontrollfuttermischung wurde, basierend auf SES, Weizen und Mais, zusätzlich mit Lys und Met supplementiert, um die Tiere entsprechend dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) zu versorgen.

Für die Versuchsfuttermischung HM wurden 50 % des SES auf Basis des XP-Gehaltes durch HIM substituiert, wobei Lys und Met identisch zur Kontrollfuttermischung zugesetzt wurden. Dadurch wurde der AS-Bedarf der Masthähnchen nicht vollständig gedeckt.

Im nächsten Schritt wurde für die Futtermischung HM+ eine erweiterte AS-Supplementierung nach dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) durchgeführt. Dazu wurde neben einem höheren Gehalt an Lys und Met zusätzlich Arginin (Arg) und in der Grower-Phase darüber hinaus Valin (Val) ergänzt.

Die analysierten Nährstoffgehalte (vgl. Tabelle 13) zeigen, dass die Futtermischung HM+ jeweils in der Starter- und Grower-Phase im Vergleich zur Kontrolle und Futtermischung HM einen leicht erhöhten XP-Gehalt aufwies. Dieser resultierte aus der erweiterten AS-Supplementierung. Darüber hinaus wiesen alle Futtermischungen mit HIM einen um ca. 1 MJ/kg höheren Energiegehalt als in der Kontrollfuttermischung auf. Dieser ließ sich auf der einen Seite durch den höheren XL-Gehalt des HIM im Vergleich zu SES erklären, andererseits musste in den Futtermischungen mit HIM aufgrund des höheren XP-Gehaltes im Vergleich zu SES mehr Weizen und Mais eingesetzt werden, um die Mischungsanteile zu vervollständigen. Die daraus resultierende Veränderung des Energiegehaltes wurde nicht durch eine Reduktion des eingesetzten Sojaöls korrigiert.

Tabelle 13: Versuchsfuttermischungen Masthähnchen Wachstumsversuch I

Komponenten	Starter-Mischungen 50 % Austausch von SES			Grower-Mischungen 50 % Austausch von SES		
	K	HM	HM+	K	HM	HM+
<u>Mischungsanteile (g/kg wie gefüttert)</u>						
Weizen	328,8	362,8	358,3	375,8	405,8	416,8
Mais	164,4	181,4	179,2	187,9	202,9	208,4
SES	390	195,0	195,0	320	160,0	160,0
HIM	-	145,4	145,4	-	119,0	119,0
Sojaöl	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5
Premix*	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Calciumcarbonat	11,0	9,9	9,9	9,0	8,0	8,0
DCP 40	11,0	12,0	12,0	10,0	8,0	8,0
Natriumchlorid	3,0	1,7	1,7	3,0	2,0	2,0
Weizenstärke/TiO ₂	-	-	-	3,0	3,0	3,0
L-Lys-HCl	1,3	1,3	3,2	0,8	0,8	2,4
DL-Met	2,0	2,0	4,1	2,0	2,0	3,0
L-Thr	-	-	0,6	-	-	0,4
L-Arg	-	-	2,2	-	-	1,4
L-Val	-	-	-	-	-	0,2
<u>Analysierte Nährstoffgehalte (g/kg TS)</u>						
XP	249,5	249,6	259,3	220,2	217,7	230,9
XL	111,6	124,3	131,1	112,8	119,8	131,4
XF	45,2	49,4	47,1	40,4	43,6	41,7
XA	65,6	60,1	60,4	61,6	55,4	56,5
NfE	528,1	516,6	502,1	565,0	563,5	539,5
AME _N (MJ/kg) in TS**	14,4	15,2	15,3	14,8	15,5	15,6
<u>Kalkulierte AS-Gehalte (g/kg wie gefüttert)***</u>						
Lys	12,6	12,2	13,7	10,5	10,2	11,5
Met	4,9	5,0	7,0	4,6	4,7	5,6
Met+Cys	8,4	8,1	10,1	7,9	7,6	8,5
Thr	7,8	7,9	8,4	6,9	6,9	7,3
Arg	14,3	12,0	14,1	12,4	10,5	11,9
His	5,4	5,7	5,7	4,8	5,1	5,1
Ile	8,8	8,6	8,6	7,8	7,6	7,6
Leu	16,1	15,7	15,6	14,5	14,1	14,1
Val	9,3	10,4	10,4	8,3	9,2	9,7
Phe	10,3	9,4	9,4	9,2	8,4	8,4
Phe + Tyr	18,1	18,2	18,1	16,0	16,1	16,1

SES = Sojaextraktionsschrot; HIM = *Hermetia illucens*-Larvenmehl; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit HIM mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; TiO₂ = Titandioxid (unverdaulicher Marker); *Zusammensetzung siehe Anhangs-Tabelle 2; ** N korrigierte scheinbare metabolisierbare Energie, berechnet nach WPSA, 1984; *** abgeleitet aus den analysierten AS-Gehalten der Proteinträger.

Wachstumsversuch II

In Wachstumsversuch II erfolgte in der Starter-Phase eine Anhebung des Austauschniveaus von SES auf 75 % und wurde, wie in Abschnitt 4.1.1 erläutert, in der Grower-Phase auf 50 % zurückgesetzt. Die exakten Versuchsfuttermischungen sowie die analysierten Nährstoffgehalte zeigt Tabelle 14. Die Kontrollfuttermischung wurde nahezu identisch zu Wachstumsversuch I konzipiert, jedoch mit einem erhöhten Lys-Gehalt (1,35 % Starter-Phase/1,15 % Grower-Phase), um den neuesten Empfehlungen von WECKE *et al.* (2016) gerecht zu werden (vgl. Abschnitt 4.1.4). Bedingt durch den höher eingestellten Lys-Gehalt als Referenz-AS musste neben Lys und Met auch Thr in der Starter-Phase supplementiert werden. In der Grower-Phase wurde zusätzlich Val eingesetzt, um dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) zu entsprechen.

Analog wurde die Versuchsfuttermischung HM+ nach dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) konzipiert. Dazu wurden in der Starter-/Grower-Phase neben dem 75/50%igen Austausch von SES Lys, Met, Thr und Arg supplementiert.

In einem weiteren Schritt wurde die Konzentration der rechnerisch ermittelten erstlimitierenden AS der Versuchsfuttermischung HM+ auf 80 % der Versorgungsempfehlung herabgesenkt. Daraus resultierte die Versuchsfuttermischung HM-LAS mit herabgesetzter Met-Konzentration. Dadurch sollte neben der Option, die Wichtigkeit der AS-Supplementation aufzuzeigen, auch die Grundlage dafür geschaffen werden, Daten zur AS-Wirksamkeit ermitteln zu können.

Die analysierten Nährstoffgehalte (vgl. Tabelle 14) zeigten, dass die Futtermischungen HM+ und HM-LAS in der Starter-Phase im Vergleich zur Kontrolle einen komfortabel eingestellten XP-Gehalt aufwiesen. In der Grower-Phase erreichten die Kontrollgruppe und Mischung HM-LAS einen identischen XP-Gehalt, während Futtermischung HM+ mit 224 g/kg TS einen geringeren XP-Gehalt aufwies. Wie in Wachstumsversuch I, zeigte sich in den Futtermischungen mit HIM höherer Energiegehalt als in der Kontrollfuttermischung. Tabelle 14 kann entnommen werden, dass die Reduzierung des Sojaöls nicht zu einem vollständigen Ausgleich der um N korrigierten Gehalte umsetzbarer Energie (AME_N) führte, die durch den höheren XL-Gehalt des HIM im Vergleich zu SES sowie den höheren Anteil von Weizen und Mais begründet waren.

Tabelle 14: Versuchsfuttermischungen Masthähnchen Wachstumsversuch II

Komponenten	Starter-Mischungen 75 % Austausch von SES			Grower-Mischungen 50 % Austausch von SES		
	K	HM+	HM-LAS	K	HM+	HM-LAS
<i>Mischungsanteile (g/kg wie gefüttert)</i>						
Weizen	326,7	390,3	391,6	360,2	396,5	397,7
Mais	163,4	195,1	195,8	180,1	198,3	198,9
SES	390,0	97,5	97,5	330,0	165,0	165,0
HIM	-	217,1	217,1	-	122,5	122,5
Sojaöl	78,5	58,0	58,0	91,0	80,0	80,0
Premix*	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Calciumcarbonat	11,0	11,0	11,0	8,0	8,0	8,0
DCP 40	11,0	8,0	8,0	10,0	8,0	8,0
Natriumchlorid	3,0	1,0	1,0	2,5	1,5	1,5
Weizenstärke/TiO ₂	-	-	-	3,0	3,0	3,0
L-Lys-HCl	2,5	4,2	4,2	1,8	2,8	2,8
DL-Met	3,6	4,2	2,1	2,6	2,9	1,2
L-Thr	0,3	0,1	0,1	0,1	0,03	0,03
L-Arg	-	3,5	3,5	-	1,5	1,5
L-Val	-	-	-	0,7	-	-
<i>Analysierte Nährstoffgehalte (g/kg TS)</i>						
XP	247,8	268,6	255,4	236,9	224,4	237,6
XL	102,2	111,0	107,1	117,1	120,6	117,6
XF	49,6	48,9	48,4	57,7	47,0	41,8
XA	63,0	57,2	55,6	61,1	56,8	56,9
NfE	537,4	514,3	533,5	527,2	551,2	546,1
AME _N (MJ/kg) in TS**	14,4	15,3	15,3	15,0	15,5	15,5
<i>Kalkulierte AS-Gehalte (g/kg wie gefüttert)***</i>						
Lys	13,5	14,3	14,3	11,5	12,0	12,0
Met	6,5	7,1	5,1	5,3	5,6	3,9
Met+Cys	10,0	10,1	8,1	8,5	8,6	6,8
Thr	8,1	8,0	8,0	7,1	7,1	7,1
Arg	14,2	14,3	14,3	12,6	12,2	12,2
His	5,4	5,9	5,9	4,9	5,2	5,2
Ile	8,8	8,6	8,6	7,9	7,7	7,7
Leu	16,1	15,6	15,6	14,6	14,3	14,3
Val	9,3	11,0	11,0	9,1	9,4	9,4
Phe	10,3	9,0	9,0	9,3	8,5	8,5
Phe + Tyr	18,1	18,3	18,3	16,2	16,4	16,4

SES = Sojaextraktionsschrot; HIM = *Hermetia illucens*-Larvenmehl; K = Kontrolle; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-LAS = Mischung HM+ mit kalkulatorisch erst limitierender AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; TiO₂ = Titandioxid (unverdaulicher Marker); *Zusammensetzung siehe Anhangs-Tabelle 2; ** N-korrigierte scheinbare metabolisierbare Energie, berechnet nach WPSA, 1984; *** abgeleitet aus den analysierten AS-Gehalten der Proteinträger.

Wachstumsversuch III

In Wachstumsversuch III sollte experimentell das höchste Austauschniveau von SES durch HIM untersucht werden. Die konzipierten Futtermischungen und die dazugehörigen analysierten Nährstoffgehalte können Tabelle 15 entnommen werden.

Die Kontrollfuttermischung wurde analog zur Kontrolle in Wachstumsversuch II konzipiert und enthielt in der Starter-Phase Lys, Met sowie Thr und in der Grower-Phase Lys, Met, Thr sowie Val als Supplemente. Zusätzlich wurde für beide Fütterungsphasen Cys ergänzt, um das empfohlene Verhältnis Met : Cys = 1 : 1 (GRABER und BAKER, 1971; MORAN, 1981; BAKER *et al.*, 1996; KHAN *et al.*, 2015) einstellen zu können.

Die Versuchsfuttermischung HM+ wurde ebenfalls analog zu Wachstumsversuch II konzipiert. Aufgrund des 100%igen Austausches von SES durch HIM sowie des angestrebten Met : Cys-Verhältnisses von 1 : 1 wurden in der Starter-Phase Lys, Met, Thr, Arg, Leu und Cys supplementiert. In der Grower-Phase war es notwendig, an Stelle von Leu Ile zu ergänzen.

Die Konzentration der kalkulatorisch erst-limitierenden AS Met+Cys der Versuchsmischung HM+ wurde in der Starter- und Grower-Phase auf 80 % der Versorgungsempfehlung (HM-LAS) reduziert. Dadurch sollte neben der Option, die Wichtigkeit der AS-Supplementation aufzuzeigen, auch die Grundlage dafür geschaffen werden, Daten zur AS-Wirksamkeit ermitteln zu können.

Bei Betrachtung der analysierten Nährstoffgehalte der unterschiedlichen Versuchsfuttermischungen (vgl. Tabelle 15) wurde deutlich, dass der XP-Gehalt der Kontrollfuttermischung in der Starter-Phase 1 bis 1,5 % niedriger eingestellt war, als in den Futtermischungen mit HIM. In der Grower-Phase gelang für die Mischung HM-LAS ein vergleichbarer XP-Gehalt wie in der Kontrollfuttermischung, Futtermischung HM+ war im XP-Gehalt komfortabler ausgestattet.

Analog zu Wachstumsversuch II führte eine Reduzierung des Sojaöls nicht zu einem vollständigen Angleichen der berechneten AME_N-Gehalte zwischen den Mischungen mit HIM und der Kontrollfuttermischung.

Tabelle 15: Versuchsfuttermischungen Masthähnchen Wachstumsversuch III

Komponenten	Starter-Mischungen 100 % Austausch von SES			Grower-Mischungen 100 % Austausch von SES		
	K	HM+	HM-LAS	K	HM+	HM-LAS
<u>Mischungsanteile (g/kg wie gefüttert)</u>						
Weizen	326,3	439,5	441,2	359,9	456,5	457,9
Mais	163,2	219,8	220,6	178,0	228,2	229,0
SES	390,0	-	-	330,0	-	-
HIM	-	250,0	250,0	-	210,0	210,0
Sojaöl	78,5	42,0	42,0	91,0	62,0	62,0
Premix*	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Calciumcarbonat	11,0	11,0	11,0	8,0	8,0	8,0
DCP 40	11,0	8,0	8,0	10,0	7,0	7,0
Natriumchlorid	3,0	1,0	1,0	2,5	0,5	0,5
Weizenstärke/TiO ₂	-	-	-	3,0	3,0	3,0
L-Lys-HCl	2,5	6,1	6,0	1,8	4,8	4,8
DL-Met	2,2	2,3	1,2	1,7	1,8	0,8
L-Thr	0,3	0,8	0,8	0,1	0,6	0,6
L-Arg	-	5,5	5,4	-	4,2	4,2
L-Leu	-	0,8	0,7	-	-	-
L-Ile	-	-	-	-	0,8	0,8
L-Val	-	-	-	0,7	0,1	0,1
L-Cys-HCl x H ₂ O	2,0	3,4	2,1	1,3	2,6	1,4
<u>Analysierte Nährstoffgehalte (g/kg TS)</u>						
XP	246,4	259,9	253,8	218,6	230,8	218,9
XL	104,2	103,0	105,8	116,9	104,3	114,0
XF	52,3	48,7	47,0	39,1	36,0	34,3
XA	63,4	53,6	56,9	61,9	51,9	50,9
NfE	533,7	534,8	536,5	563,5	577,9	581,9
AME _N (MJ/kg) in TS**	14,4	15,4	15,4	15,0	15,9	15,9
<u>Kalkulierte AS-Gehalte (g/kg wie gefüttert)</u>						
Lys	13,5	14,4	14,4	11,5	12,3	12,3
Met	5,1	5,1	4,0	4,4	4,3	3,4
Met+Cys	10,0	10,1	8,1	8,5	8,6	6,9
Thr	8,1	8,0	8,0	7,1	7,1	7,1
Arg	14,2	14,3	14,3	12,6	12,2	12,2
His	5,4	5,5	5,5	4,9	5,0	5,0
Ile	8,8	7,7	7,7	7,9	7,7	7,7
Leu	16,1	15,0	15,0	14,6	13,0	13,0
Val	9,3	10,5	10,5	9,1	9,4	9,4
Phe	10,3	7,9	7,9	9,3	7,2	7,2
Phe + Tyr	18,1	16,9	16,9	16,2	15,1	15,1

SES = Sojaextraktionsschrot; HIM = *Hermetia illucens*-Larvenmehl; K = Kontrolle; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-LAS = Mischung HM+ mit kalkulatorisch erst limitierender AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; TiO₂ = Titandioxid (unverdaulicher Marker); *Zusammensetzung siehe Anhangs-Tabelle 2; ** N-korrigierte scheinbare metabolisierbare Energie, berechnet nach WPSA, 1984; *** abgeleitet aus den analysierten AS-Gehalten der Proteinträger.

4.1.5.2 N-Bilanzversuche

Parallel zu den Wachstumsversuchen wurden N-Bilanzversuche zur Bewertung der Proteinqualität der Futtermischungen durchgeführt. In N-Bilanzversuch I wurden insgesamt jeweils fünf verschiedene Rationen und in N-Bilanzversuch II neun verschiedene Rationen (vgl. Tabelle 9) auf Basis der Grundration (vgl. Abschnitt 4.1.4) zur Evaluierung der alternativen Proteinquellen hergestellt. In diesem Kapitel werden die Versuchsfuttermischungen der N-Bilanzversuche I und II der Kontrolle und der experimentellen Gruppen mit HIM als SES-Austausch detailliert dargestellt und erläutert. In beiden N-Bilanzversuchen wurde ein Austauschniveau von 100 % des XP-Gehaltes von SES gewählt. Das Verhältnis Weizen : Mais wurde analog zu den Wachstumsversuchen I bis III in allen Versuchsmischungen konstant mit 2 : 1 eingestellt, wodurch eine Verschiebung der AS-Verhältnisse durch die Getreidekomponenten verhindert werden sollte.

N-Bilanzversuch I

In N-Bilanzversuch I sollte das Potential und die Proteinqualität von HIM bei 100%igem Austausch von SES, sowohl bei einem Basis- als auch bei einem erweiterten Umfang der AS-Supplementierung, in der Fütterung von Masthähnchen evaluiert werden. Die exakten Versuchsfuttermischungen sowie die analysierten Nährstoffgehalte können Tabelle 16 entnommen werden. Die Kontrollfuttermischung wurde, identisch zu Wachstumsversuch I, basierend auf SES, Weizen und Mais, zusätzlich mit Lys und Met supplementiert, um die Tiere entsprechend dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) versorgen zu können.

In der Versuchsmischung HM wurden neben der 100%igen Substitution des SES durch HIM auf Basis des XP-Gehaltes Lys und Met identisch zur Kontrollfuttermischung supplementiert. Der AS-Bedarf der Masthähnchen wurde dadurch nicht vollständig gedeckt.

Im nächsten Schritt wurde für die Futtermischung HM+ eine erweiterte AS-Supplementierung nach dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) durchgeführt. Dazu wurden der Lys- und Met-Gehalt erhöht. Zusätzlich wurde in der Starter-Phase Thr und Arg sowie in der Grower-Phase darüber hinaus Val und Ile supplementiert.

Die analysierten Nährstoffgehalte (vgl. Tabelle 16) zeigten, dass die Futtermischung HM+ in der Grower-Phase im Vergleich zur Kontrolle und Futtermischung HM einen erhöhten (+1,8 %) XP-Gehalt aufwies. Darüber hinaus zeigte sich identisch zu den Wachstumsversuchen in allen Futtermischungen mit HIM ein höherer Energiegehalt als in der Kontrollfuttermischung. Dieser ließ sich abermals durch den höheren XL-Gehalt des HIM im Vergleich zu SES sowie dem angepassten Einsatz von Weizen und Mais begründen.

Tabelle 16: Versuchsfuttermischungen Masthähnchen N-Bilanzversuch I

Komponenten	Starter-Mischungen 100 % Austausch von SES			Grower-Mischungen 100 % Austausch von SES		
	K	HM	HM+	K	HM	HM+
<u>Mischungsanteile (g/kg wie gefüttert)</u>						
Weizen	328,8	416,9	408,9	375,8	455,5	449,7
Mais	164,4	208,5	204,5	187,9	227,7	224,8
SES	390,0	-	-	320,0	-	-
HIM	-	260,0	260,0	-	220,0	220,0
Sojaöl	78,5	78,5	78,5	78,5	65,0	65,0
Premix*	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Calciumcarbonat	11,0	9,1	9,1	9,0	7,0	7,0
DCP 40	11,0	12,0	12,0	10,0	8,0	8,0
Natriumchlorid	3,0	1,7	1,7	3,0	1,0	1,0
Weizenstärke	-	-	-	3,0	3,0	3,0
L-Lys-HCl	1,3	1,3	4,7	0,8	0,8	3,3
DL-Met	2,0	2,0	4,7	2,0	2,0	3,3
L-Thr	-	-	1,2	-	-	0,7
L-Arg	-	-	4,8	-	-	3,3
L-Val	-	-	-	-	-	0,5
L-Ile	-	-	-	-	-	0,5
<u>Analysierte Nährstoffgehalte (g/kg TS)</u>						
XP	249,5	244,4	248,9	222,9	219,9	241,4
XL	111,6	146,9	142,6	118,3	118,0	120,2
XF	45,2	44,5	44,4	45,7	42,0	40,2
XA	65,6	57,6	55,3	60,6	49,3	50,5
NfE	528,1	506,6	508,8	552,5	570,8	547,7
AME _N (MJ/kg) in TS**	14,4	16,1	16,1	14,8	16,0	16,0
<u>Kalkulierte AS-Gehalte (g/kg wie gefüttert)***</u>						
Lys	12,6	11,0	13,6	10,5	9,5	11,4
Met	4,9	4,8	7,5	4,6	4,6	5,9
Met+Cys	8,4	7,4	10,1	7,9	7,2	8,4
Thr	7,8	7,3	8,5	6,9	6,7	7,3
Arg	14,3	9,0	13,7	12,4	8,3	11,6
His	5,4	5,6	5,6	4,8	5,1	5,1
Ile	8,8	7,8	7,8	7,8	7,1	7,5
Leu	16,1	14,4	14,3	14,5	13,3	13,3
Val	9,3	10,7	10,6	8,3	9,7	10,1
Phe	10,3	8,0	7,9	9,2	7,4	7,4
Phe + Tyr	18,1	17,1	17,0	16,0	15,6	15,5

SES = Sojaextraktionsschrot; HIM = *Hermetia illucens*-Larvenmehl; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit HIM mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; *Zusammensetzung siehe Anhangs-Tabelle 2; ** N-korrigierte scheinbare metabolisierbare Energie, berechnet nach WPSA, 1984; *** abgeleitet aus den analysierten AS-Gehalten der Proteinträger.

N-Bilanzversuch II

In N-Bilanzversuch II erfolgte zusätzlich zu dem 100 %igen Austausch von SES durch HIM ein schrittweises Herabsenken der Konzentration der errechneten LAS der Versuchsfuttermischungen. Ziel dieses Versuches war, die Bedeutung der AS-Supplementierungen herauszustellen sowie bei gelungener Limitierung der jeweiligen AS zusätzlich die Option zu haben, die AS-Wirksamkeit zu ermitteln. Die exakten Versuchsfuttermischungen und die analysierten Nährstoffgehalte zeigt Tabelle 17.

Die Kontrollfuttermischung und Versuchsfuttermischung HM+ wurden identisch zu Bilanzversuch I entsprechend dem derzeit empfohlenen IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) mit kristallinen AS supplementiert. Aufgrund aktualisierter Empfehlungen von WECKE *et al.* (2016) wurde der Lys-Gehalt auf 1,35 % (Starter) bzw. 1,15 % (Grower) angepasst (vgl. Abschnitt 4.1.4). Bedingt durch den höher eingestellten Lys-Gehalt als Referenz-AS mussten in der Kontrollfuttermischung neben Lys und Met auch Thr und Lys in der Starter- und Grower-Phase ergänzt werden, um dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) zu entsprechen. Um zusätzlich das angestrebte Met : Cys-Verhältnis von 1 : 1 zu erreichen, erfolgte eine angepasste Supplementierung von Cys.

In Versuchsfuttermischung HM+ war eine weitere Supplementierung von Arg und Isoleucin (Ile) notwendig.

In den Versuchsmischungen HM-Met+Cys, HM-Arg und HM-Lys wurde die kalkulatorisch jeweils als erst-, zweit- und drittlimitierend erwartete AS (Met+Cys, Arg bzw. Lys) auf 80 % der Empfehlungen herabgesenkt. Dadurch sollte neben der Option, die Wichtigkeit der AS-Supplementation aufzuzeigen, auch die Grundlage dafür geschaffen werden, Daten zur AS-Wirksamkeit ermitteln zu können. Die weiteren AS wurden analog zu Mischung HM+ supplementiert.

Vergleichbar zu Bilanzversuch I zeigte sich in den Futtermischungen mit HIM in beiden Fütterungsphasen ein höherer Energiegehalt als in der Kontrollfuttermischung. Die Reduzierung des Sojaöls führte nicht zu einem vollständigen Ausgleich der AME_N-Gehalte, die in dem höheren XL-Gehalt des HIM im Vergleich zu SES sowie dem höheren Anteil von Weizen und Mais begründet waren (vgl. Tabelle 17).

Tabelle 17: Versuchsfuttermischungen Masthähnchen N-Bilanzversuch II

Komponenten	Starter-Mischungen 100 % Austausch von SES					Grower-Mischungen 100 % Austausch von SES				
	K	HM+	HM -Met +Cys	HM -Arg	HM -Lys	K	HM+	HM -Met +Cys	HM -Arg	HM -Lys
Mischungsanteile (g/kg wie gefüttert)										
Weizen	326,3	453,0	454,3	454,6	455,0	362,6	465,9	467,3	467,6	467,9
Mais	163,2	226,3	227,2	227,3	227,5	181,3	233,0	233,7	233,8	233,9
SES	390,0	-	-	-	-	330,0	-	-	-	-
HIM	-	230,	230,0	230,0	230,0	-	200,0	200,0	200,0	200,0
Sojaöl	78,5	40,0	40,0	40,0	40,0	90,0	59,0	59,0	59,0	59,0
Premix*	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Calciumcarbonat	11,0	10,0	10,0	10,0	10,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
DCP 40	11,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Natriumchlorid	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,5	0,2	0,2	0,2	0,2
L-Lys-HCl	2,5	6,7	6,7	6,7	3,2	1,8	5,1	5,1	5,1	2,2
DL-Met	2,2	2,4	1,3	2,4	2,4	1,7	1,8	0,8	1,8	1,8
L-Thr	0,3	1,2	1,2	1,2	1,2	0,1	0,8	0,8	0,8	0,8
L-Arg	-	5,8	5,8	2,9	5,8	-	4,3	4,3	1,9	4,3
L-Ile	-	0,4	0,4	0,4	0,4	-	1,0	1,0	1,0	1,0
L-Cys-HCl x H ₂ O	2,0	3,5	2,2	3,5	3,5	1,3	2,6	1,5	2,6	2,6
Analysierte Nährstoffgehalte (g/kg TS)										
XP	257,7	242,7	242,1	239,4	250,4	227,9	227,4	228,3	234,6	215,7
XL	110,2	100,5	95,0	98,9	111,7	118,2	112,8	113,6	108,0	119,6
XF	56,5	47,4	50,6	53,7	50,3	53,7	45,7	47,6	44,0	50,7
XA	68,5	53,4	56,0	56,2	56,7	56,6	49,0	50,4	45,3	46,9
NfE	507,1	556,0	556,3	551,8	530,9	543,6	565,0	560,1	568,1	567,1
AME _N (MJ/kg) in TS**	14,4	15,4	15,4	15,3	15,4	15,0	15,9	15,9	15,8	15,9
Kalkulierte AS-Gehalte (g/kg wie gefüttert)										
Lys	13,5	14,4	14,4	14,4	11,7	11,5	12,3	12,3	12,3	10,0
Met	5,1	5,1	4,0	5,1	5,1	4,4	4,3	3,4	4,4	4,4
Met+Cys	10	10,0	8,1	10,1	10,1	8,5	8,6	6,9	8,6	8,6
Thr	8,1	8,0	8,0	8,0	8,0	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
Arg	14,2	14,3	14,3	11,5	14,3	12,6	12,2	12,2	9,8	12,2
His	5,4	5,3	5,3	5,3	5,3	4,9	4,8	4,8	4,8	4,8
Ile	8,8	7,7	7,7	7,7	7,7	7,9	7,7	7,7	7,7	7,7
Leu	16,1	13,7	13,7	13,7	13,7	14,6	12,8	12,8	12,8	12,8
Val	9,3	10,0	10,0	10,0	10,0	9,1	9,4	9,4	9,4	9,4
Phe	10,3	7,6	7,6	7,6	7,6	9,3	7,1	7,1	7,1	7,1
Phe + Tyr	18,1	16,0	16,1	16,1	16,1	16,2	14,8	14,8	14,8	14,8

SES = Sojaextraktionsschrot; HIM = *Hermetia illucens*-Larvenmehl; K = Kontrolle; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-Met+Cys (-Arg/-Lys) = Mischung HM+ mit Met+Cys (-Arg/-Lys) herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; *Zusammensetzung siehe Anhangs-Tabelle 2; ** N-korrigierte scheinbare metabolisierbare Energie, berechnet nach WPSA, 1984; *** abgeleitet aus den analysierten AS-Gehalten der Proteinträger.

4.2 Versuche mit Mastschweinen

Die Versuche mit Ferkeln und Mastschweinen teilten sich in zwei aufeinanderfolgende kombinierte Wachstumsversuche und N-Bilanzversuche auf. Die N-Bilanzversuche wurden für beide Altersstufen jeweils parallel zu den Wachstumsversuchen durchgeführt. Die Versuche erstreckten sich über einen Zeitraum von Juni bis Dezember 2016.

4.2.1 Versuchskonzeption

In Tabelle 18 bis Tabelle 20 sind alle im Projekt durchgeführten Wachstums- und N-Bilanzversuche mit Ferkeln und Mastschweinen sowohl mit HIM als auch mit SPM als alternative Proteinquelle dargestellt. Die Versuche wurden identisch zu den Masthähnchenversuchen jeweils mit beiden alternativen Proteinquellen (HIM und SPM) durchgeführt. In der vorliegenden Arbeit wird auf alle bereits ausgewerteten Teilversuche mit HIM eingegangen. Zur Verdeutlichung, welche Versuche Gegenstand der vorliegenden Arbeit waren, sind diese in Tabelle 18 bis Tabelle 20 grau hinterlegt.

4.2.1.1 *Wachstumsversuche*

Insgesamt wurden zwei konsekutive Wachstumsversuche mit gestaffelter Substitution von SES durch HIM oder SPM zur Evaluierung von zootechnischen Leistungen und Parametern der Verdaulichkeit (nur Ferkel) von Ferkel- und Mastschweinefuttermischungen durchgeführt, die in Tabelle 18 und Tabelle 19 schematisch dargestellt sind. In den Futtermischungen bis ca. 70 kg LM wurden gestaffelt 50 % und 75 % des SES durch HIM oder SPM substituiert. In Wachstumsversuch I und II wurde in der Endmastphase ab ca. 75 kg LM ein 100 %iger Austausch von SES durch HIM gewählt. Dieser begründete sich in dem deutlich geringeren XP-Bedarf der Mastschweine in der Endmast, wodurch der prozentuale Einsatz von HIM in der Gesamtration entsprechend sank.

Für die Ferkelversuche standen jeweils 40 Tiere mit einem Absetzalter von durchschnittlich 21 Lebenstagen zur Verfügung. Nach einer entsprechenden Eingewöhnungsphase fanden die Versuche in einem durchschnittlichen Alter von LT 36 bis 61 (Wachstumsversuch I) bzw. LT 40 bis 61 (Wachstumsversuch II), aufgeteilt in fünf Versuchsgruppen, statt. Im Anschluss an die Ferkelversuche wurden jeweils 24 dieser Tiere erneut in drei Versuchsgruppen aufgeteilt und bis zur Schlachtreife gehalten.

Als Kontrollfuttermischung wurde für Wachstumsversuch I und II eine Futtermischung mit SES als Hauptproteinträger mit kristallinen AS angepasst an das IAAR (GFE, 2008), hergestellt.

In Wachstumsversuch I mit Ferkeln wurden neben der Kontrollfuttermischung zwei Futtermischungen (HM und SM) konzipiert, in denen ausschließlich SES zu 50 % auf Basis des XP-Gehaltes durch HIM oder SPM substituiert wurden. Der Basisumfang der AS-Supplementierung der Kontrolle wurde dabei exakt übernommen. In zwei weiteren Futtermischungen (HM+ und SM+) wurde ein erweiterter AS-Umfang, wiederum angepasst an das IAAR (GFE, 2008), eingesetzt.

In Wachstumsversuch II mit Ferkeln erfolgte ein Anstieg des Austauschniveaus auf 75 %. Darüber hinaus unterschied sich das Versuchskonzept nicht von Wachstumsversuch I.

Nach Beendigung der Ferkelversuche (bis ca. 20 kg LM) wurden zwölf Ferkel (jeweils vier Tiere aus der Kontrolle, HM und SM) zur Gewebe- und Chymusentnahme zunächst durch die Gabe von Stresnil betäubt und anschließend vorschriftsgemäß durch einen Tierarzt euthanasiert (unter Verwendung von Ketamin und T61). Die Aufteilung der Tiere für die unterschiedlichen Probenentnahmen kann ebenfalls Tabelle 18 entnommen werden.

Die Gewinnung von Chymusproben zur Analyse der scheinbaren precaecalen Protein- und AS-Verdaulichkeiten wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführt und werden im Abschnitt 4.3.4.4 ausführlich erläutert.

Darüber hinaus erfolgten analog zu den Versuchen mit Masthähnchen mikrobiologische und histologische Untersuchungen, die von verschiedenen externen Arbeitsgruppen übernommen wurden und nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit waren.

Die mikrobiologische Untersuchung der Futtermischungen und des Darmchymus der Ferkel wurde von der Arbeitsgruppe von Herrn Prof. Czerny (Abteilung Tierhygiene und Mikrobiologie, Department für Nutztierwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen) durchgeführt. Die histologischen und stereologischen Untersuchungen von Organen und Darmgewebe wurde durch die Arbeitsgruppe von Frau Dr. Gruber-Dujardin (Deutsches Primatenzentrum, Abteilung Pathologie, Göttingen) vorgenommen.

Tabelle 18: Versuchskonzept Wachstumsversuche I (Juni/Juli 2016) und II (Oktober 2016) mit Ferkeln

Diäten	Kontrolle	Hermetia (HM)	Spirulina (SM)	Hermetia (HM+)	Spirulina (SM+)
Versuch I (11-ca.20 kg LM)	SES = HPQ	50 % von SES	50 % von SES	50 % von SES	50 % von SES
AS-Supplementierung	angepasst an das IAAR*	Basisumfang der Kontrolle	Basisumfang der Kontrolle	erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*	erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*
Tierzahl (n)	8	8	8	8	8
spcV	4 Tiere	4 Tiere	4 Tiere	-	-
Mikrobiologie	4 Tiere	4 Tiere	4 Tiere	-	-
Histologie	4 Tiere	4 Tiere	4 Tiere	-	-
Versuch II (11-ca.20 kg LM)	SES = HPQ	75 % von SES	75 % von SES	75 % von SES	75 % von SES
AS-Supplementierung	angepasst an das IAAR*	Basisumfang der Kontrolle	Basisumfang der Kontrolle	eErweiterter Umfang angepasst an das IAAR*	erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*
Tierzahl (n)	8	8	8	8	8
spcV	4 Tiere	4 Tiere	4 Tiere	-	-
Mikrobiologie	4 Tiere	4 Tiere	4 Tiere	-	-
Histologie	4 Tiere	4 Tiere	4 Tiere	-	-

SES = Sojaextraktionsschrot; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens*-Mehl; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis*-Mehl; HM+/SM+ = Futtermischungen HM und SM mit erweiterter AS-Supplementierung; HPQ = Hauptproteinquelle; spcV = scheinbare precaecale Verdaulichkeit von XP und AS; *IAAR= ideales Aminosäurenverhältnis nach GfE (2008)

Der Wachstumsversuch I mit Mastschweinen ab 25 kg wurde mit drei Versuchsgruppen zu je acht Schweinen durchgeführt. Neben einer Kontrollfuttermischung wurden zwei Versuchsmischungen (HM+ und SM+) konzipiert (vgl. Tabelle 19), in denen 50 % des SES auf Basis des XP-Gehaltes durch HIM oder SPM substituiert wurden. Alle Mischungen wurden angepasst an das IAAR (GfE, 2008) mit kristallinen AS supplementiert.

Für Wachstumsversuch II mit Mastschweinen ab 25 kg wurde das Fütterungskonzept von Wachstumsversuch I übernommen, jedoch mit einem 75%igen Austausch von SES durch die alternativen Proteinquellen auf Basis des XP-Gehaltes.

Mit Erreichen der Schlachtreife (ca. 120 kg LM) wurden die Schweine für Arbeitspaket III des Projektes „Sustainability Transitions“, unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Mörlein (Abteilung Produktqualität tierischer Erzeugnisse, Department für Nutztierwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen), zur sensorischen Bewertung der Fleischqualität zur Verfügung gestellt.

Tabelle 19: Versuchskonzept Wachstumsversuche I (Juli-September 2016) und II (November/Dezember 2016) mit Mastschweinen ab 25 kg LM

Diäten	Kontrolle	Hermetia (HM+)	Spirulina (SM+)
Versuch I Mast (25-75 kg LM) AS-Supplementierung	SES = HPQ angepasst an das IAAR*	50 % von SES erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*	50 % von SES erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*
Tierzahl (n)	8	8	8
Mast (75-110 kg LM) AS-Supplementierung	SES = HPQ angepasst an das IAAR*	100 % von SES erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*	100 % von SES erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*
Tierzahl (n)	8	8	8
Fleischqualität	ja	ja	ja
Versuch III Mast (25-75 kg LM) AS-Supplementierung	SES = HPQ angepasst an das IAAR	75 % von SES erweitertes Niveau angepasst an das IAAR*	75 % von SES erweitertes Niveau angepasst an das IAAR*
Tierzahl (n)	8	8	8
Mast (75-110 kg LM) AS-Supplementierung	SES = HPQ angepasst an das IAAR*	100 % von SES erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*	100 % von SES erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*
Tierzahl (n)	8	8	8
Fleischqualität	ja	ja	ja

SES = Sojaextraktionsschrot; HM+ = Futtermischung mit *Hermetia illucens*-Mehl mit erweiterter AS-Supplementierung; SM+ = Futtermischung mit *Spirulina platensis*-Mehl mit erweiterter AS-Supplementierung; HPQ = Hauptproteinquelle
*IAAR = ideales Aminosäurenverhältnis nach GrE (2008)

4.2.1.2 N-Bilanzversuche

Parallel zu den Wachstumsversuchen mit Ferkeln und Mastschweinen wurden zwei aufeinanderfolgende N-Bilanzversuche mit vollständiger Substitution des SES mit HIM oder SPM durchgeführt. Der detaillierte Versuchsaufbau ist in Tabelle 20 dargestellt.

N-Bilanzversuch I und II teilte sich in zwei Altersklassen (Ferkel und Mastschwein) mit jeweils 16 Tieren (vier Tiere pro Versuchsmischung) auf. Die Exkrement-Sammeltage wurden im N-Bilanzversuch I für die Ferkel vom 67.-77. LT und für die Mastschweine vom 107.-117. LT festgelegt. Für N-Bilanzversuch II wurden die Exkremente der Ferkel vom 75.-85. LT gesammelt, während für die Mastschweine der identische Sammelzeitraum wie in Versuch I gewählt wurde. Darüber hinaus waren Bilanzversuch I und II analog zueinander aufgebaut. Das Versuchsdesign wurde aufgrund der geringen Tierzahlen ohne Kontrollgruppe auf SES-Basis gewählt. Die Futtermischungen HM und SM wurden mit Lys auf 80 % der Versorgungsempfehlungen supplementiert, um die Wichtigkeit der AS-Supplementierungen aufzeigen zu können und Aussagen zur AS-Wirksamkeit zu ermöglichen. Die Futtermischungen HM+ und SM+ wurden für beide Altersabschnitte in Anlehnung an die Wachstumsversuche mit AS angepasst an das IAAR (GrE, 2008), supplementiert.

Tabelle 20: Versuchskonzept Bilanzversuche I (Juli 2016) und II (Okt./Nov. 2016) mit Ferkeln (25 kg LM) und Bilanzversuche I (Aug./Sept. 2016) und II mit Mastschweinen (Dez. 2016) (60 kg LM)

Diäten	Hermetia (HM)	Spirulina (SM)	Hermetia (HM+)	Spirulina (SM+)
Versuch I				
Ferkel (ca. 25 kg LM)	HIM = HPQ	SPM = HPQ	HIM = HPQ	SPM = HPQ
AS-Supplementierung	Lys auf 80 % der Empfehlung	Lys auf 80 % der Empfehlung	erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*	erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*
Tierzahl (n)	4	4	4	4
Versuch II				
Ferkel (ca. 25 kg LM)	HIM = HPQ	SPM = HPQ	HIM = HPQ	SPM = HPQ
AS-Supplementierung	Lys auf 80 % der Empfehlung	Lys auf 80 % der Empfehlung	erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*	erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*
Tierzahl (n)	4	4	4	4
Mastschwein (ca. 60 kg LM)	HIM = HPQ	SPM = HPQ	HIM = HPQ	SPM = HPQ
AS-Supplementierung	Lys auf 80 % der Empfehlung	Lys auf 80 % der Empfehlung	erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*	erweiterter Umfang angepasst an das IAAR*
Tierzahl (n)	4	4	4	4

HIM = *Hermetia illucens*-Larvenmehl; SPM = *Spirulina platensis*-Mehl; HPQ = Hauptproteinquelle; HM = Futtermischung mit HIM mit Supplementierung von Lysin auf 80 % der Empfehlungen; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; SM = Futtermischung mit SPM mit Supplementierung von Lys auf 80 % der Empfehlungen; SM+ = Futtermischung mit SPM mit erweiterter AS-Supplementierung; *IAAR = ideales Aminosäurenverhältnis nach GfE (2008)

4.2.2 Herkunft, Haltung und Fütterung der Tiere

Für die Fütterungsversuche mit Mastschweinen wurden Absatzferkel mit einem Durchschnittsalter von 21 Tagen von dem Ferkelzuchtbetrieb Weißkittel (37181 Hardeggen-Trögen, Deutschland) bezogen. Zur Vermeidung von Einflüssen durch Geschlechtsdimorphismus wurden ausschließlich männliche, kastrierte Ferkel für die Versuche ausgewählt. Bei den Kastraten handelte es sich um Tiere einer Dreilinienkreuzung aus der Sauenlinie Large White x Landrasse und dem Endstufeneber der Vaterlinie PIC 408. Die Ferkel bekamen zwischen dem 2. und 3. LT eine Ursoferran®-Injektion (400 mg Eisen) verabreicht. Zwischen dem 3. und 5. LT erfolgte eine Impfung gegen Mycoplasmen, parallel zu der Kastration. Kurz vor dem Absetzen wurden die Ferkel zur aktiven Immunisierung gegen das Porcine Circovirus Typ2 mit Ingelvac CircoFLEX® sowie der notwendigen Folgeimpfung gegen Mycoplasmen behandelt.

4.2.2.1 Wachstumsversuche

Ferkel

Für den jeweiligen Wachstumsversuch standen 40 Ferkel mit einem Durchschnittsalter von 21 LT zur Verfügung. Die Haltung der Ferkel erfolgte in 0,4 m² großen Einzelflatdecks. Zur Ausstattung der Flatdecks gehörten Kunststoffspaltenböden (Spaltenanteil 78 %), eine integrierte Heizplatte, ein kippbarer Trog sowie eine Beißnippeltränke. Die Absetzferkel wurden ohne Einstreu in den Flatdecks gehalten. Die Haltung der Ferkel ist in Abbildung 4 dargestellt. Um optimale Klimaverhältnisse zu schaffen, wurde die Raumtemperatur mittels Sensor erfasst, zwei Mal täglich überprüft (morgens/abends) und an die sich mit fortlaufendem Alter verändernden Bedürfnisse der Ferkel angepasst (Versuchsbeginn ca. 30 °C, Versuchsende ca. 25 °C). Dem Versuchsstart ging eine ca. 16-tägige Adaptionsphase voraus. Für 7 bis 9 Tage wurden die Zwischenwände von jeweils zwei Flatdecks demontiert und zwei Ferkel zusammen eingestallt. Etwa eine Woche vor Versuchsstart wurden die Ferkel einzeln gewogen und anhand ihrer LM in fünf homogene Versuchsgruppen eingeteilt und einzeln aufgestellt. Die experimentellen Versuchsbedingungen wurden zweimal täglich mit besonderem Augenmerk auf Futter- und Wasserversorgung, Raumtemperatur sowie Kotkonsistenz und dem allgemeinen Gesundheitszustand der Ferkel überprüft. Nach abgeschlossener Fütterung wurden die Käfige morgens mit Wasser ausgespritzt. Die LM der Ferkel wurde wöchentlich ermittelt.



Abbildung 4: Haltung der Ferkel in Wachstumsversuch I und II

Während der Adaptionszeit wurden die Ferkel mit einem Prestarter gefüttert, an den die Tiere bereits auf dem Aufzuchtbetrieb gewöhnt wurden. Ab einer Woche vor Versuchsbeginn wurden die Tiere separiert und der Prestarter schrittweise mit dem jeweiligen Versuchsfutter verschnitten. Das Futter wurde den Ferkeln dreimal täglich zu gleicher Uhrzeit (7:00 Uhr, 12:00 Uhr, 17:00 Uhr) geschrotet und in trockener Form vorgelegt. Die Futtermenge wurde *semi ad libitum* gewählt, sodass die Tiere nahezu ständigen Zugang zu Futter hatten. Wasser stand den Ferkeln *ad libitum* zur Verfügung. Jedem Futtervorgang ging die Kontrolle der Tröge und Tränken voraus. Futterreste im Trog und am Boden wurden in Eimern gesammelt, Kot aus den Trögen entfernt sowie feuchtes Futter in Aluminiumschalen gesammelt und im Trockenschrank getrocknet. Einmal wöchentlich wurden die Futterreste zurückgewogen und die individuelle FI erfasst.

Mastschweine ab ca. 25 kg

Nach Beendigung des Ferkelversuches fand eine neue Aufteilung statt. Es wurden 24 der 40 Ferkel anhand ihrer LM in drei homogene Versuchsgruppen aufgeteilt. Sie wurden in Buchten (Abmaße: 1,2 m x 1,4 m) auf wärmeisoliertem Beton einzeln aufgestellt (vgl. Abbildung 5). Die Schweine wurden bis zum Erreichen von 70 kg LM auf Stroh gehalten, um den Aspekten des Tierwohls gerecht zu werden und wöchentlich komplett entmistet. Bei Bedarf wurde Stroh nachgestreut. Bei Erreichen des letzten Altersabschnittes (ab ca. 75 kg LM) wurden die Schweine aus Gründen des Stallmanagements ohne Einstreu gehalten und die Buchten täglich komplett mit Wasser gereinigt. Jede Bucht war mit einem Futtertrog und einer Nippeltränke ausgestattet. Die Raumtemperatur wurde, an die sich mit fortlaufendem Alter veränderten Bedürfnisse angepasst und, beginnend bei 24 °C, entsprechend auf 18 °C herunterreguliert. Der Gesundheitszustand der Schweine wurde zweimal täglich routinemäßig überprüft. Darüber hinaus wurden die Futter- und Wasserversorgung sowie die Raumtemperatur kontrolliert. Die LM der Schweine wurde wöchentlich ermittelt.



Abbildung 5: Haltung der Mastschweine im Wachstumsversuch ab ca. 25 kg LM

Nach dem Einstellen der Schweine in ihre Buchten begann eine schrittweise über vier Tage ansteigende Verschneidung mit dem Versuchsfutter. Das Futter wurde den Schweinen, identisch zu den Ferkelwachstumsversuchen, in geschroteter und trockener Form verabreicht. Die Futtervorlage erfolgte zweimal täglich (7.00 Uhr und 17.00 Uhr). Wasser stand den Tieren *ad libitum* zur Verfügung. Die Futtermenge wurde *semi ad libitum* gewählt, sodass möglichst alle Tiere gesättigt wurden. Jeder Futtervorlage ging die Kontrolle der Tröge und Tränken voraus. Futterreste im Trog und am Boden wurden in Eimern gesammelt, Kot aus den Trögen entfernt sowie feuchtes Futter in Aluminiumschalen gesammelt und im Trockenschrank getrocknet. Einmal wöchentlich wurden die Futterreste zurückgewogen und dadurch die individuelle wöchentliche FI erhoben.

4.2.2.2 N-Bilanzversuche

Die für den jeweiligen N-Bilanzversuch vorgesehenen 16 Ferkel wurden bis zum Versuchsbeginn in Kleingruppen von vier Tieren auf Flatdecks einstreulos gehalten. Die Ferkel wurden fünf Tage vor dem geplanten Versuchsstart gewogen, in vier homogene Versuchsgruppen eingeteilt und für eine Eingewöhnungsphase in die Stoffwechselkäfige eingestallt. Im Anschluss erfolgte eine zweimal fünftägige konsekutive Sammelperiode, in der Kot einmal und Harn zweimal täglich (6.00 Uhr und 18.00 Uhr (nur Kot)) getrennt voneinander und tierindividuell gesammelt wurden. Nach Beendigung der Versuche wurden die Ferkel in Kleingruppen in eingestreuten Buchten gehalten, bis sie eine LM von ca. 60 kg erreichten und erneut für eine Eingewöhnungsphase sowie zwei fünftägigen Sammelperioden in N-Bilanzkäfige eingestallt wurden.



Abbildung 6: links: Stoffwechselkäfig für Ferkel; rechts: Stoffwechselkäfig für Schweine

Die Stoffwechselkäfige konnten während des gesamten Versuches in der Länge und Breite dem Wachstum des individuellen Ferkels/Mastschweins angepasst werden (vgl. Abbildung 6 und Abbildung 7). Zusätzlich waren die Käfige mit schwenkbaren Nippeltränken und abnehmbaren Trögen ausgestattet. Wie Abbildung 7 entnommen werden kann, waren unter dem perforierten Käfigboden ein Trichter sowie eine Kotsammelschale angebracht. Über den Trichter konnte der Harn direkt in einem Kanister aufgefangen werden.

Die Raumtemperatur wurde den sich mit fortlaufendem Alter verändernden Bedürfnissen der Ferkel und Schweine angepasst (26 °C und 21 °C). Der Gesundheitszustand und die Kotkonsistenz der Ferkel und Schweine wurden zweimal täglich routinemäßig überprüft und dokumentiert. Die LM der Tiere wurde vor und nach jeder Sammelperiode erfasst.

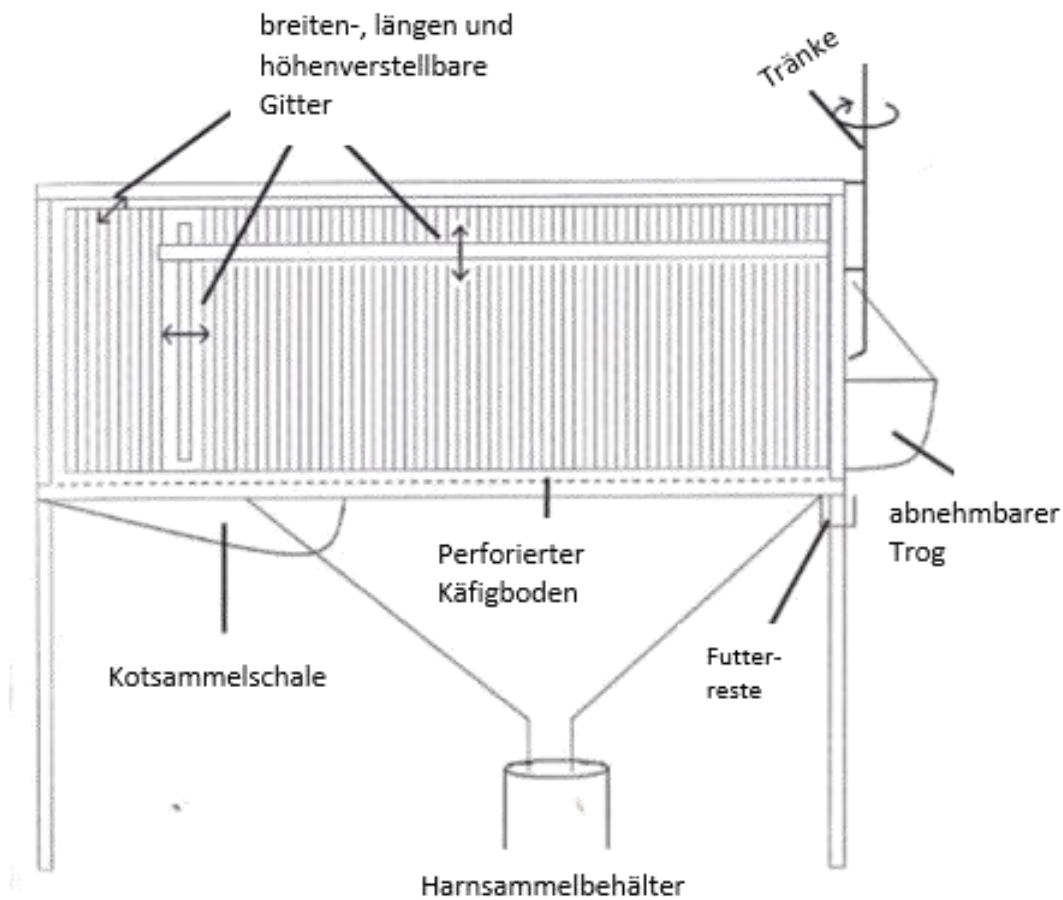


Abbildung 7: Skizze eines Stoffwechselkäfiges für Ferkel und Schweine

Die Ferkel und Mastschweine wurden vor und zwischen den N-Bilanzversuchen mit einem handelsüblichen Standardfutter gefüttert. Um eine ausreichende Adaptionszeit an das Versuchsfutter sicherzustellen, wurde das Standardfutter bereits ca. sechs Tage vor der Gewöhnungsphase schrittweise mit dem Versuchsfutter verschnitten. Das Futter wurde den Ferkeln dreimal täglich (6:00 Uhr, 12:00 Uhr, 18:00 Uhr) und den Schweinen zweimal täglich (6:00 Uhr und 18:00 Uhr) in pelletierter Form vorgelegt. Um den Einfluss unterschiedlich hoher FI auf die N-Bilanz zu reduzieren, wurde eine tägliche Futtermenge gewählt, die innerhalb der jeweiligen Sammelperiode weitgehend konstant eingehalten wurde. Zusätzlich wurden die Tiere mehrmals täglich über eine Nippeltränke getränkt. Zur Quantifizierung der exakten FI wurden Futterreste täglich gesammelt, getrocknet und zurückgewogen.

4.2.3 Futterherstellung

Die Herstellung der Futtermischungen für alle Ferkel- und Mastschweineversuchsfuttermischungen erfolgte in den Einrichtungen der Tierernährungsphysiologie des Departments für Nutztierwissenschaften der Georg-August-Universität.

Zur Realisierung einer möglichst hohen Mischgenauigkeit in den Futtermischungen wurde zunächst eine Vormischung, bestehend aus den Kleinkomponenten, hergestellt. Der anschließende Mischvorgang der Vormischung erfolgte in einem Exaktmischer mit einem Fassungsvermögen von 10 kg (Fa. Gebrüder Lödige Maschinenbau GmbH, 33102 Paderborn, Deutschland; Typ M20MK oder Typ FM130D1MZ). Die Hauptkomponenten wurden separat abgewogen und anschließend mit der Vormischung im Futtermischer der Fa. Blase Mühlenbau GmbH und Co KG, 32257 Bünde-Ennigloh, Deutschland (Typ Z752), gemischt. Für die Bilanzversuche wurden die fertigen Futtermischungen in einem weiteren Schritt mit einer Pelletpresse (R.A. Lister & Company Ltd., England; Typ 3530 FPP 20) pelletiert und für 24 Stunden unter Kaltluftzufuhr getrocknet.

4.2.4 Futterkomponenten und Versorgungsempfehlungen

Die einzelnen Futterkomponenten für die Versuchsfuttermischungen wurden aufgrund ihrer Bedeutung in der Schweinefütterung ausgewählt. Entsprechend dem Projektziel, „Austausch von SES durch alternative Proteinquellen“, wurde für die Kontrollfuttermischung der Wachstumsversuche SES als Hauptproteinquelle eingesetzt. Der Nährstoffbedarf wurde nach entsprechenden Versorgungsempfehlungen für die Rationsberechnungen definiert. Die Rohnährstoff- und AS-Zusammensetzung der zu verwendenden Einzelfuttermittelkomponenten wurde mittels Analysen vor der Formulierung und Herstellung der Futtermischungen erhoben. Die Kalkulation der Futtermischungen erfolgte mithilfe eines Computerprogramms zur Mischfutteroptimierung (HYBRIMIN® WinFumi Vers. 8).

Futterkomponenten

Entsprechend der praxisüblichen Futtermischungen wurden SES, Weizen und Gerste als Hauptkomponenten für die Kontrollfuttermischungen der Ferkel und Mastschweine für die Wachstumsversuche und N-Bilanzversuche ausgewählt.

Darüber hinaus wurde eine Vitaminvormischung (Premix), Mineralstoffe (Calciumcarbonat, Natriumchlorid), Sojaöl und Titandioxid als Markersubstanz für die Ferkelfuttermischungen eingesetzt. Neben SES wurde HIM als Proteinquelle in den Versuchsmischungen verwendet. Bei Nichterreichen des IAAR (GFE, 2008) für die entsprechenden Altersstufen der Ferkel bzw. Schweine wurden zusätzlich kristalline AS supplementiert. Die Rohnährstoffgehalte sowie die AS-Zusammensetzung von SES und HIM wurden bereits in Abschnitt 4.1.4 vorgestellt und können Tabelle

10 entnommen werden. Die Zusammensetzungen der Einzelfuttermittel Weizen und Gerste sind in Anhangs-Tabelle 1, dargestellt. Alle Einzelfuttermittel und Versuchsfuttermischungen wurden im Labor der Tierernährungsphysiologie der Georg-August-Universität Göttingen analysiert.

Versorgungsempfehlungen

Als Grundlage zur Erstellung der Futtermischungen der Ferkel und Mastschweine dienten unterschiedliche Versorgungsempfehlungen (BSAS, 2003; DLG, 2008; GfE, 2008; NRC, 2012; LNW, 2014). Die Versuchsfuttermischungen für die Ferkel wurden in Anlehnung an die von der DLG (2008) veröffentlichten Bedarfsempfehlungen zur Ferkelfütterung modelliert. Als Referenz für die AS-Relationen für Ferkel dienten die Angaben der GfE (2008). Auf dieser Basis wurde ein Lys-Gehalt von 1,27 % festgesetzt. Histidin (His) wurde zu Lys in Relation von 34 % eingesetzt, was den Angaben von BSAS (2003) und NRC (2012) entsprach. Die verwendeten Richtwerte können Tabelle 21 entnommen werden.

Tabelle 21: Verwendete Zielgrößen der Nährstoff- und Aminosäuregehalte für die Versuchsfuttermischungen der Ferkel

Nährstoffe	Ferkel 11-25 kg LM*	
ME (MJ/kg)	13,4	
XP (%)	18,5	
Ca (%)	0,75	
P (%)	0,55	
Na (%)	0,15	
Aminosäure	AS-Relationen Ferkel (<30 kg LM)**	AS-Gehalte (%) Ferkel 11-25 kg LM****
Lys	100	1,270
His	34***	0,432
Ile	49	0,622
Leu	100	1,270
Met+Cys	50	0,635
Phe+Tyr	90	1,143
Thr	60	0,762
Trp	17	0,216
Val	62	0,787

*nach DLG (2008); ** nach GfE (2008); *** nach BSAS (2003) und NRC (2012); ****anhand der AS-Relationen kalkulierte Werte.

Zur Gestaltung der Versuchsfuttermischungen der Mastschweine dienten insbesondere die Bezugsgrößen der LNW (2014) sowie die AS-Relationen der GfE (2008) als Bedarfsgrundlage. Bedingt durch die altersabhängige Bedarfsveränderung der Schweine wurden die Versuchsfutter-

mischungen für drei Fütterungsphasen konzipiert. Der festgesetzte Lys-Gehalt lag in der Anfangsmast bei 1,07 % und wurde stufenweise für Phase 2 und 3 reduziert (0,94 %, 0,87 %). Die AS-Relation von His : Lys wurde in dieser Phase auf 35 % festgesetzt, um den Angaben von NRC (2012) zu entsprechen. Die zusammengestellten Versorgungsempfehlungen können Tabelle 22 entnommen werden.

Tabelle 22: Verwendete Zielgrößen der Nährstoff- und Aminosäuregehalte für die Versuchsfuttermischungen der Mastschweine ab 25 kg LM

Nährstoffe	Mastschweine (25-50 kg LM)*	Mastschweine (50-75 kg LM)*	Mastschweine (75-120 kg LM) *	
ME (MJ/kg)	13,4	13,2	13,0	
XP (%)	17,2	15,8	14,7	
Ca (%)	0,65	0,58	0,52	
P (%)	0,47	0,45	0,42	
Na (%)	0,15	0,15	0,15	
Aminosäure	AS-Relationen Schwein (<30 kg LM)**	AS-Gehalte (%) Schwein 25-50 kg LM****	AS-Gehalte (%) Schwein 50-75 kg LM****	AS-Gehalte (%) Schwein 75-110 kg LM****
Lys	100	1,070	0,940	0,870
His	35***	0,375	0,329	0,305
Ile	49	0,524	0,461	0,426
Leu	105	1,124	0,987	0,914
Met+Cys	51	0,546	0,479	0,444
Phe+Tyr	88	0,942	0,827	0,766
Thr	60	0,642	0,564	0,522
Trp	16	0,171	0,150	0,139
Val	65	0,696	0,611	0,566

* in Anlehnung an LNW (2014); **nach GfE (2008); *** nach NRC (2012); ****anhand der AS-Relationen kalkulierte Werte.

4.2.5 Versuchsfuttermischungen

Die Versuchsmischungen der Wachstums- und Bilanzversuche wurden anhand des Versuchskonzeptes (vgl. Abschnitt 4.2.1 Versuchskonzeption) aufgebaut und sind nachfolgend beschrieben.

4.2.5.1 Wachstumsversuche

In den Wachstumsversuchen I und II der Ferkel wurden insgesamt jeweils fünf verschiedene Futtermischungen (vgl. Tabelle 18) und in denen der Mastschweine insgesamt drei verschiedene Futtermischungen (vgl. Tabelle 19), aufgeteilt in eine Dreiphasenfütterung auf Basis der Grundration (vgl. Abschnitt 4.2.4), hergestellt. Das Verhältnis Weizen : Gerste wurde in allen Versuchsmischungen konstant mit 1 : 1 eingestellt, wodurch eine Verschiebung der AS-Verhältnisse durch

die Getreidekomponenten verhindert werden sollte.

Wachstumsversuch I – Ferkel

In Wachstumsversuch I der Ferkel wurde analog zu den Masthähnchenversuchen das Potential von HIM bei 50%igem Austausch von SES, sowohl bei einem Basis- als auch bei einem erweiterten Umfang der AS Supplementierung, überprüft. Die exakten Versuchsfuttermischungen sowie die analysierten Nährstoffgehalte können Tabelle 23 entnommen werden. Die Kontrollfuttermischung wurde, basierend auf SES, Weizen und Gerste, zusätzlich mit Lys, Met und Thr supplementiert, um die Tiere entsprechend dem IAAR (GFE, 2008) zu versorgen.

Für die Versuchsfuttermischung HM wurden 50 % des SES auf Basis des XP-Gehaltes durch HIM substituiert, wobei Lys, Met und Thr identisch zur Kontrollfuttermischung zugesetzt wurden. Der AS-Bedarf der Ferkel wurde dadurch nicht vollständig gedeckt.

Im nächsten Schritt wurde für die Versuchsfuttermischung HM+ eine erweiterte AS-Supplementierung nach dem IAAR (GFE, 2008) durchgeführt. Dazu mussten höhere Gehalte an Lys, Met und Thr eingemischt werden.

Wachstumsversuch I – Mastschweine

Analog zu Wachstumsversuch I-Ferkel wurde der Wachstumsversuch I-Mastschweine aufgebaut (vgl. Tabelle 23). Neben der Kontrollfuttermischung wurde hingegen nur eine weitere Versuchsfuttermischung (HM+) eingesetzt. Bis zu einer LM von 75 kg wurden 50 % des SES auf Basis des XP-Gehaltes durch HIM substituiert und in der Endmastphase 100 %. Beide Futtermischungen wurden entsprechend dem IAAR (GFE, 2008) mit Lys, Met und Thr supplementiert. Dabei erfolgte über die Phasenfütterung ebenfalls eine altersabhängige Anpassung der XP-, Energie-, Natrium- und Kalziumkonzentration.

Tabelle 23: Versuchsfuttermischungen Ferkel- und Mastschweine-Wachstumsversuch I (11 bis 120 kg LM)

	Ferkel (11-25 kg LM) 50 % Austausch von SES			Schwein (25-50 kg LM) 50 % Austausch von SES		Schwein (50-75 kg LM) 50 % Austausch von SES		Schwein (75-120 kg LM) 100 % Aus- tausch von SES	
	K	HM	HM+	K	HM+	K	HM+	K	HM+
<u>Mischungsanteile (g/kg wie gefüttert)</u>									
Weizen	325,5	331,8	331,0	365,2	369,5	394,1	397,1	416,8	427,1
Gerste	325,5	331,8	331,0	365,2	369,5	394,1	397,1	416,8	427,1
SES	280,0	140,0	140,0	220,0	110,5	175,0	88,0	140,0	-
HIM	-	104,5	104,5	-	81,6	-	65,0	-	95,0
Sojaöl	30,0	55,0	53,0	24,0	43,0	14,0	29,0	5,0	28,0
Premix*	15,0	15,0	15,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Calciumcarbonat	12,0	11,0	11,0	11,0	10,0	9,0	9,0	8,0	7,0
Natriumchlorid	3,0	2,0	2,0	0,5	-	0,5	-	-	-
TiO ₂	3,0	3,0	3,0	-	-	-	-	-	-
L-Lys-HCl	4,4	4,4	6,2	3,4	4,8	3,0	4,1	3,1	4,8
DL-Met	0,5	0,5	1,4	0,1	0,7	0,4	0,2	-	0,3
L-Thr	1,1	1,1	2,0	0,6	0,9	-	0,6	0,4	0,8
<u>Analysierte Nährstoffgehalte (g/kg TS)</u>									
XP	216,5	224,7	219,5	190,4	217,1	201,4	234,2	139,0	172,0
XL	58,7	100,6	100,0	50,3	89,1	42,0	75,1	36,3	71,2
XF	51,4	50,2	54,3	56,4	55,9	45,1	38,0	43,7	49,2
XA	59,6	62,2	58,9	52,3	58,5	47,9	54,2	40,2	41,3
NfE	613,8	562,3	567,3	650,6	579,4	663,3	598,5	740,8	666,3
ME (MJ/kg) in TS**	15,2	16,2	16,2	15,3	16,1	15,2	15,8	15,1	16,0
<u>Kalkulierte AS-Gehalte (g/kg wie gefüttert)***</u>									
Lys	12,8	12,5	13,9	10,8	11,6	9,5	10,1	8,8	9,5
Met	3,1	3,1	3,9	2,5	3,0	2,2	2,4	2,1	2,3
Met+Cys	6,5	6,0	6,8	5,5	5,8	5,1	5,1	4,9	4,8
Thr	7,7	7,6	8,5	6,5	6,7	5,7	5,9	5,3	5,5
Arg	11,8	10,0	10,0	10,3	8,9	9,1	8,1	8,3	6,4
His	4,5	4,7	4,6	4,0	4,1	3,6	3,7	3,4	3,4
Ile	7,3	7,1	7,1	6,4	6,2	5,8	5,6	5,3	4,9
Leu	12,9	12,4	12,4	11,6	11,2	10,5	10,2	9,7	8,9
Val	8,0	8,7	8,7	7,3	7,8	6,7	7,1	6,2	6,6
Phe	8,7	7,9	7,9	7,8	7,2	7,1	6,6	6,6	5,6
Phe + Tyr	15,1	15,0	15,0	13,4	13,3	12,2	12,1	11,2	10,7

SES = Sojaextraktionsschrot; HIM = *Hermetia illucens*-Larvenmehl; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit HIM mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; *Zusammensetzung siehe Anhangs-Tabelle 3; **Metabolisierbare Energie, berechnet nach Mischfutterformel HYBRIMIN®; *** abgeleitet aus den analysierten AS-Gehalten der Proteinträger.

Wachstumsversuch II – Ferkel

In Wachstumsversuch II-Ferkel wurde ein analoges Versuchskonzept gewählt, wie in Wachstumsversuch I-Ferkel. Es erfolgte zudem eine Anhebung des Austauschniveaus von SES auf 75 %. Die exakten Versuchsfuttermischungen sowie die analysierten Nährstoffgehalte zeigt Tabelle 24. Die Kontrollfuttermischung wurde wie in Wachstumsversuch I konzipiert und entsprechend mit Lys, Met und Thr ergänzt.

Die Versuchsfuttermischung HM unterschied sich von der Kontrollfuttermischung ausschließlich in dem 75%igen Austauschniveau von SES durch HIM, die AS-Supplementierung wurde exakt übernommen.

Ein erweitertes Spektrum der AS-Supplementierung wurde für die Versuchsfuttermischung HM+ gewählt, um auch bei dieser höheren Austauschrate des SES dem IAAR (GFE, 2008) zu entsprechen. Dazu wurde neben Lys, Met und Thr ebenfalls Leu supplementiert.

Wachstumsversuch II - Mastschweine

Entsprechend dem Versuchsdesign von Wachstumsversuch I-Mastschweine wurde auch Wachstumsversuch II-Mastschweine geplant. Allerdings erfolgte die Substitution des SES auf Basis des XP-Gehaltes durch HIM bis zu einer LM von 75 kg in einer Höhe von 75 % und ab einer LM von 75 kg zu 100 % (vgl. Tabelle 24). Es erfolgte erneut eine altersabhängige Anpassung der XP-, Energie-, Na- und Ca-Konzentrationen. Die Kontrollfuttermischung wurde analog zu Wachstumsversuch I-Mastschweine übernommen. Die Versuchsmischung HM+ wurde gemäß dem IAAR (GFE, 2008), bedingt durch das höhere Austauschniveau, zusätzlich mit Leu supplementiert.

Die analysierten Nährstoffgehalte (vgl. Tabelle 24) zeigen deutlich, dass der XP-Gehalt bis zu einer LM von 75 kg in allen Futtermischungen auf einem vergleichbaren Niveau lag. Ab einer LM über 75 kg entsprach der XP-Gehalt der Mischung HM+ den Versorgungsempfehlungen, wohingegen die Kontrollfuttermischung komfortabler eingestellt war.

Tabelle 24: Versuchsfuttermischungen Ferkel- und Mastschweine-Wachstumsversuch II (11 bis 120 kg LM)

Komponenten	Ferkel (11-25 kg LM) 75 % Austausch von SES			Schwein (25-50 kg LM) 75 % Austausch von SES		Schwein (50-75 kg LM) 75 % Austausch von SES		Schwein (75-120 kg LM) 100 % Austausch von SES	
	K	HM	HM+	K	HM+	K	HM+	K	HM+
Mischungsanteile (g/kg wie gefüttert)									
Weizen	327,0	336,1	333,5	365,0	371,2	394,1	398,9	416,8	426,57
Gerste	327,0	336,1	333,5	365,0	371,2	394,1	398,9	416,8	426,57
SES	280,0	70,0	70,0	220,0	55,0	175,0	43,7	140,0	-
HIM	-	155,9	155,9	-	122,5	-	97,4	-	95,0
Sojaöl	27,0	65,0	65,0	24,0	52,0	14,0	36,0	5	28,0
Premix*	15,0	15,0	15,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10	10,0
Calciumcarbonat	12,0	11,0	11,0	11,0	10,0	9,0	9,0	8	7,0
Natriumchlorid	3,0	2,0	2,0	0,5	-	0,5	-	-	-
TiO ₂	3,0	3,0	3,0	-	-	-	-	-	-
L-Lys-HCl	4,2	4,2	6,4	3,3	5,1	3,0	4,4	3,1	4,8
DL-Met	0,7	0,7	1,5	0,7	0,8	-	0,3	-	0,2
L-Thr	1,0	1,0	1,5	0,6	0,9	0,4	0,6	0,4	0,8
L-Leu	-	-	1,8	-	1,3	-	0,7	-	1,1
Analysierte Nährstoffgehalte (g/kg TS)									
XP	219,6	217,0	212,3	197,0	198,0	181,4	181,4	170,0	161,1
XL	51,6	109,4	108,3	50,9	94,2	41,5	82,6	32,6	65,5
XF	58,3	55,4	60,6	56,7	54,0	62,4	52,8	53,7	46,9
XA	59,6	57,3	55,3	50,8	48,3	47,7	43,9	43,8	38,5
NfE	610,9	560,9	563,5	644,6	605,5	667,0	639,3	699,9	688,0
ME (MJ/kg) in TS**	15,2	16,6	16,6	15,3	16,4	15,2	16,1	15,1	16,0
Kalkulierte AS-Gehalte (g/kg wie gefüttert)***									
Lys	12,7	12,2	13,9	10,7	11,7	9,5	10,2	8,8	9,5
Met	3,3	3,3	4,0	3,1	3,1	2,2	2,5	2,1	2,3
Met+Cys	6,6	6,0	6,7	6,1	5,8	5,1	5,1	4,9	4,7
Thr	7,6	7,5	8,0	6,4	6,7	5,7	5,9	5,3	5,5
Arg	11,8	9,1	9,1	10,3	8,2	9,2	7,5	8,3	6,4
His	4,5	4,7	4,7	4,0	4,2	3,6	3,8	3,4	3,4
Ile	7,3	7,0	6,9	6,4	6,1	5,8	5,5	5,3	4,9
Leu	13	12,1	13,9	11,6	12,2	10,5	10,7	9,7	9,9
Val	8,1	9,1	9,0	7,3	8,0	6,7	7,3	6,2	6,6
Phe	8,7	7,5	7,5	7,8	6,8	7,1	6,3	6,6	5,6
Phe + Tyr	15,1	14,9	14,9	13,4	13,3	12,2	12,1	11,2	10,7

SES = Sojaextraktionsschrot; HIM = *Hermetia illucens*-Larvenmehl; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit HIM mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; * Zusammensetzung siehe Anhangs-Tabelle 3; ** Metabolisierbare Energie, berechnet nach Mischfutterformel HYBRIMIN®; *** abgeleitet aus den analysierten AS-Gehalten der Proteinträger.

4.2.5.2 N-Bilanzversuche

Parallel zu den Wachstumsversuchen wurden N-Bilanzversuche in zwei Altersabschnitten der Schweine (Ferkel mit 25 kg LM, Mastschweine mit 60 kg LM) zur Bewertung der Proteinqualität der Schweinefuttermischungen durchgeführt. Insgesamt standen vier verschiedene Versuchsfuttermischungen zur Evaluierung der alternativen Proteinquellen zur Verfügung. Anders als bei den N-Bilanzversuchen mit Masthähnchen wurde aufgrund der geringen Tierzahlen keine Kontrollfuttermischung auf SES-Basis geplant. Es wurde ein Austauschniveau von 100 % des XP-Gehaltes von SES durch HIM gewählt. Das Verhältnis Weizen : Gerste wurde analog zu den Wachstumsversuchen I und II in allen Versuchsmischungen konstant mit 1 : 1 eingestellt, wodurch eine Verschiebung der AS-Verhältnisse durch die Getreidekomponenten verhindert werden sollte.

N-Bilanzversuch I – Ferkel und Mastschweine

In N-Bilanzversuch I war die Zielstellung der Untersuchung, das Potential und die Proteinqualität von HIM bei 100%igem Austausch von SES zu evaluieren. Dieses wurde sowohl bei einem Basis- als auch bei einem erweiterten Umfang an AS-Supplementierung geprüft. Die exakten Versuchsfuttermischungen sowie die analysierten Nährstoffgehalte können Tabelle 25 entnommen werden.

In der Versuchsfuttermischung HM wurde neben der 100%igen Substitution des SES Lys auf 80 % der Versorgungsempfehlung abgesenkt. Der Lys-Bedarf der Tiere wurde dadurch nicht vollständig gedeckt. Dadurch sollte neben der Option, die Wichtigkeit der AS-Supplementation aufzuzeigen, auch die Grundlage dafür geschaffen werden, Daten zur AS-Wirksamkeit ermitteln zu können.

Die Futtermischung HM+ wurde mit einer erweiterten AS-Supplementierung nach dem IAAR (GFE, 2008) konzipiert. Dazu wurde neben Lys zusätzlich Met und Thr supplementiert.

Die analysierten Nährstoffgehalte (vgl. Tabelle 25) zeigten, dass die Futtermischung HM+ für die Ferkel im Vergleich zur Futtermischung HM einen erhöhten XP-Gehalt aufwies. In den Mastschweinefuttermischungen war kein nennenswerter Unterschied der XP-Gehalte vorhanden. Der Energiegehalt lag in beiden Altersgruppen in den Versuchsfuttermischungen auf vergleichbarem Niveau.

Tabelle 25: Versuchsfuttermischungen Ferkel- und Mastschweine-N-Bilanzversuch I (25 kg LM und 60 kg LM)

Komponenten	Ferkel (25 kg LM) 100 % Austausch von SES		Schweine (60 kg LM) 100 % Austausch von SES	
	HM	HM+	HM	HM+
	<u>Mischungsanteile (g/kg wie gefüttert)</u>			
Weizen	339,2	336,2	400,7	399,1
Gerste	339,2	336,2	400,7	399,1
HIM	210,0	210,0	130,0	130,0
Sojaöl	80,0	80,0	46,0	46,0
Premix*	15,0	15,0	10,0	10,0
Calciumcarbonat	10,0	10,0	8,0	8,0
Natriumchlorid	1,0	1,0	-	-
TiO ₂	3,0	3,0	3,0	3,0
L-Lys-HCl	2,7	6,1	1,7	4,2
DL-Met	-	1,4	-	0,2
L-Thr	-	1,1	-	0,4
	<u>Analysierte Nährstoffgehalte (g/kg TS)</u>			
XP	210,7	227,3	182,8	178,7
XL	133,7	139,6	91,8	95,0
XF	52,7	48,1	45,1	52,3
XA	52,7	53,2	43,2	45,2
NfE	550,2	531,8	636,1	628,8
ME (MJ/kg) in TS**	17,1	17,1	16,4	16,4
	<u>Kalkulierte AS-Gehalte (g/kg wie gefüttert)***</u>			
Lys	10,9	13,6	8,0	10,0
Met	2,6	4,0	2,2	2,4
Met+Cys	5,1	6,5	4,7	4,9
Thr	6,5	7,6	5,3	5,7
Arg	8,3	8,3	6,9	6,9
His	4,8	4,8	3,8	3,8
Ile	6,9	6,9	5,5	5,5
Leu	12,0	11,9	9,8	9,8
Val	9,5	9,4	7,5	7,5
Phe	7,2	7,1	6,1	6,1

HIM = *Hermetia illucens*-Larvenmehl; HM = Futtermischung mit HIM mit Supplementierung von Lys auf 80 % der Empfehlungen; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; * Zusammensetzung siehe Anhangstabelle 3; ** Metabolisierbare Energie, berechnet nach Mischfutterformel HYBRIMIN®; *** abgeleitet aus den analysierten AS-Gehalten der Proteinträger.

4.3 Datenerfassung

4.3.1 Sammlung und Aufarbeitung der Exkreme

Masthähnchen

Die Exkremente wurden während der zwei fünftägigen Sammelperioden in jedem Altersabschnitt im 12 h-Rhythmus gesammelt. Um eine Kontamination mit N aus Futter, Federn oder Hautschuppen zu vermeiden, erfolgte deren manuelle Entfernung vom Sammelblech. Angetrocknete, anhaftende Exkremente wurden mit geringen Mengen demineralisiertem Wasser eingeweicht und im Anschluss gesammelt. Die Verwahrung der gesammelten Exkremente erfolgte in luftdicht verschließbaren Plastikeimern. Die Lagerung der Exkremente erfolgte bei -20 °C bis zur weiteren Analyse. Zur N- und TS-Bestimmung wurde, ggf. unter Zugabe von demineralisiertem Wasser, jede Probe mittels eines Stabmixers (Fa. Braun GmbH, Kronberg, Deutschland) homogenisiert, gewogen und nach Vorgaben des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V. (VDLUFA) (NAUMANN und BASSLER, 1976 bis 2004), wie in Abschnitt 4.4 beschrieben, analysiert.

Ferkel und Mastschweine

Zur Bestimmung der N-Bilanz war es notwendig, Kot und Harn der Tiere zunächst vollständig und getrennt voneinander zu sammeln. Die Kanister unter den Sammeltrichtern wurden dazu mit einer Vorlage von 30%iger Schwefelsäure (Ferkel 50 ml und Mastschweine 60 ml) befüllt, um N-Verluste durch enzymatische Freisetzung von Ammoniak aus Harnstoff während der über 24-Stunden andauernden Harnsammlung zu vermeiden. Von der täglich aufgefangenen Gesamtmenge erfolgte nach sorgfältiger Homogenisierung die Überführung eines Aliquots von 10 % des Harns in Plastikflaschen, welches bis zur weiteren Aufarbeitung und Analyse im Labor bei -20 °C tiefgefroren einlagerte. Der Kot wurde zweimal täglich nach gründlicher Beseitigung von Verunreinigungen (Borsten und Hautschuppen) jeweils in einen großen Eimer verbracht und ebenfalls bei -20 °C gelagert. Am Ende jeder Sammelperiode wurde der Kot pro Eimer homogenisiert, gewogen und ein Aliquot für die laboranalytischen Untersuchungen entnommen. Die Proben lagerten bis zur Analyse tiefgefroren bei -20 °C. Die anschließenden Analysen erfolgten nach den Vorgaben der VDLUFA (NAUMANN und BASSLER, 1976 bis 2004) (vgl. Kapitel 4.4).

4.3.2 Zootechnische Parameter

Wachstumsversuche

Während der Wachstumsversuche erfolgte wöchentlich eine Erhebung von FI und LM der Tiere. Dazu wurden die Tiere individuell sowie die Futterreste pro Box jede Woche zum gleichen Zeitpunkt gewogen. Auf Grundlage dieser Daten konnte die LMZ, der FA, Proteinaufwand (PA) sowie der EA berechnet werden (vgl. Gleichungen 1 bis 4). Bei den Wachstumsversuchen mit Masthähnchen wurde zusätzlich die Mortalitätsrate routinemäßig zweimal täglich überprüft. Zur korrekten Berechnung der wöchentlichen FI pro Box wurde der Futterverzehr der ausgeschiedenen Einzeltiere herausgerechnet.

N-Bilanzversuche

Zur Ermittlung der N-Bilanzdaten wurden die Tiere zu Beginn und am Ende der jeweiligen Sammelperiode gewogen und die LM erfasst. Dabei stellte die End-LM der Tiere aus Sammelperiode 1 gleichzeitig die Anfangs-LM für Sammelperiode 2 dar. Für die Auswertung der Bilanzdaten wurde die mittlere LM (MLM) der Tiere pro Versuchszeitraum herangezogen (vgl. Gleichung 5). Die Erfassung des Futterverzehrs erfolgte täglich. Aus der anfänglich zugeteilten Futtermenge abzüglich des verbliebenen Restfutters im Trog errechnete sich die tägliche FI. Die weiteren Berechnungen erfolgten wie beim Wachstumsversuch (vgl. Gleichungen 1 bis 4).

- a) Lebendmassezunahme:

$$\mathbf{LMZ} = \frac{\mathbf{LM (Versuchsende)} - \mathbf{LM (Versuchsanfang)}}{\mathbf{Anzahl Versuchstage}} \quad (1)$$

- b) Futtermaterialaufwand:

$$\mathbf{FA} = \frac{\mathbf{FI}}{\mathbf{LMZ}} \quad (2)$$

- c) Proteinaufwand:

$$\mathbf{PA} = \frac{\mathbf{FI * XP Gehalt im Futter}}{\mathbf{LMZ}} \quad (3)$$

- d) Energieaufwand:

$$\mathbf{EA} = \frac{\mathbf{(FI * Energiegehalt im Futter)}}{\mathbf{LMZ}} \quad (4)$$

e) Mittlere Lebendmasse:

$$\text{MLM} = \frac{(LM_{\text{Versuchsende}} + LM_{\text{Versuchsbeginn}})}{2} \quad (5)$$

wobei

LMZ	= tägliche Lebendmassezunahme [g/d bzw. kg/d]
LM	= Lebendmasse [g bzw. kg]
FA	= Futteraufwand [g/g bzw. kg/kg]
FI	= Futtermittelverzehr [g TS/d bzw. kg TS/d]
PA	= Proteinaufwand [g/g bzw. kg/kg]
XP-Gehalt im Futter	= Rohproteingehalt im Futter [% XP in TS]
EA	= Energieaufwand [ME MJ/kg TS bzw. kJ/g TS]
Energiegehalt im Futter	[ME MJ/kg TS bzw. kJ/g TS]
MLM	= mittlere Lebendmasse [g bzw. kg]

4.3.3 Ganzkörperanalyse

Zur Bestimmung des Nährstoffansatzes der Masthähnchen erfolgten nach jedem Wachstumsversuch I bis III GKA. Nach Ablauf der Grower-Phase wurden vier repräsentative Tiere pro Versuchsgruppe mit einer mittleren LM pro Box selektiert und für 24 h genüchtert. Am Ende der Nüchterungszeit wurden die Tiere erneut gewogen und durch CO₂-Inhalation umgehend verlustlos getötet, anschließend in Plastiktüten einzeln verpackt und bis zur weiteren Aufbereitung bei - 20 °C im Gefrierraum gelagert.

Für die Nährstoffbestimmung der Ganzkörper erfolgte eine Autoklavierung (4 h, 110 °C, Druck ca. 1 bar für 240 min.) mit anschließender Zerkleinerung durch einen Fleischwolf und darauffolgender Homogenisierung. Etwa 500 g Probenmaterial pro Tier wurden für die Bestimmung der TS-, N- und XA-Gehalte nach den Vorschriften der VDLUFA (NAUMANN und BASSLER, 1976-2004) analysiert. Um das Töten von Eintagsküken aus Tierschutzgründen zu vermeiden, wurden zu Beginn der Wachstumsversuche keine Küken (Nulltiere) mithilfe der GKA analysiert. Stattdessen wurden Daten aus früheren Untersuchungen mit gleicher Genetik genutzt (PASTOR, 2014). Der Wert für XL wurde rechnerisch ermittelt. Dafür wurden der XP- und XA-Gehalt von 100 subtrahiert. Der Tierkörper enthält zusätzlich sehr geringe Mengen an Kohlenhydraten, die hauptsächlich in Form von Glucose und Glykogen in der Leber und im Muskel vorliegen (DE LANGE *et al.*, 2001) und als NfE erfasst werden. Der Anteil der NfE liegt bei nur 0,5 bis 1 % des Tierkörpers, sodass dieser bei der Berechnung der Ansatzparameter vernachlässigt werden konnte. Die Menge der NfE wird durch diese Berechnung in der XL-Fraktion wiedergespiegelt.

Die Nährstoffdeposition (g/d) im Tierkörper wurde über die Differenz zwischen den Nährstoffgehalten am Ende des Versuches und den analysierten Nulltieren (PASTOR, 2014) zu Beginn des

Versuches ermittelt (vgl. Gleichung 6). Der Energieansatz wurde auf der Basis des angesetzten Körperproteins (23,7 kJ/g) und Körperfetts (39,8 kJ/g) berechnet (FULLER, 2004).

Nährstoff- Ansatz:

$$\text{Nährstoff – Ansatz (X)} = \frac{\text{Menge (X)}_{\text{im Tierkörper Ende}} - \text{Menge (X)}_{\text{im Tierkörper Anfang}}}{\text{Anzahl der Versuchstage}} \quad (6)$$

wobei

(X) = steht für einen ausgewählten Nährstoffansatz (XP, XL, XA oder GE):

Nährstoffansatz (XP) = Rohproteinansatz [g/d]

Nährstoffansatz (XL) = Rohfettansatz [g/d]

Nährstoffansatz (XA) = Rohascheansatz [g/d]

Nährstoffansatz (GE) = Energieansatz [kJ/d]

Menge (X) _{im Tierkörper Ende} = Nährstoffmenge (X) im Tierkörper zu Versuchsende [g]

Menge (X) _{im Tierkörper Anfang} = Nährstoffmenge (X) im Tierkörper zu Versuchsbeginn [g]

Zusätzlich zum Nährstoffansatz wurden die Protein- und Energieverwertung gemäß Gleichung 7 und 8 abgeleitet.

Proteinverwertung:

$$\text{Proteinverwertung [\%]} = \left(\frac{\text{Protein-Ansatz (g)}}{\text{Protein-Aufnahme (g)}} \right) * 100 \quad (7)$$

Energieverwertung:

$$\text{Energieverwertung [\%]} = \left(\frac{\text{Energie-Ansatz (MJ)}}{\text{Energie-Aufnahme (MJ)}} \right) * 100 \quad (8)$$

4.3.4 Proteinqualitätsparameter

Zur Beurteilung der Proteinqualität wurden zunächst traditionelle Messungen der Proteinbewertung gemäß LIEBERT (2017) angewendet. Da klassische Proteinbewertungsmethoden, wie der Produktive Proteinwert (PPW) und der Physiologische Proteinnutzwert (NPU), unter dem Einfluss der realisierten Proteinaufnahme auf den ermittelten Proteinwert leiden (BLOCK und MITCHELL, 1946; THONG und LIEBERT, 2004; WECKE und LIEBERT, 2009), wurde zusätzliche eine Standardisierung der N-Aufnahme nach dem „Göttinger Modell“ entsprechend früherer Berichte (z. B. THONG und LIEBERT, 2004; LIEBERT, 2008, 2015, 2017; WECKE und LIEBERT, 2009; 2010; 2013; PASTOR *et al.*, 2013) durchgeführt.

4.3.4.1 N-Ansatz

Nachfolgend wird das Vorgehen zur Berechnung des N-Ansatzes bei Wachstumsversuchen mit Hilfe von GKA (Masthähnchen) bzw. durch N-Bilanzversuche (Masthähnchen, Ferkel und Mastschweine) dargestellt. Der N-Ansatz berechnet sich über die Bildung der Differenz der am Ende im Tierkörper befindlichen N-Menge und zu Beginn im Tier befindlichen N-Menge bzw. aus der Differenz der N-Aufnahme über das Futter und N-Ausscheidungen über Kot und Harn. Zusätzlich wurden die Ergebnisse der N-Bilanzdaten, zur besseren Vergleichbarkeit und Verallgemeinerungsfähigkeit, auf die metabolische LM bezogen (vgl. Gleichung 9 und 10).

N-Ansatz – Wachstumsversuche nach GKA

$$ND = \frac{[(N\text{-Menge}_{\text{im Tierkörper Ende}} - N\text{-Menge}_{\text{im Tierkörper Anfang}}) / \text{Anzahl Versuchstage}]}{\text{metabolische Lebendmasse}} \quad (9)$$

N-Ansatz – Bilanzversuche

$$ND = NI - NEX \quad (10)$$

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]

4.3.4.2 Produktiver Proteinwert (PPW) und physiologischer Proteinnutzwert (NPU)

Der PPW nach MÜLLER und HÖTZEL (1957) wird definiert als der prozentuale Proteinzuwachs im Organismus der Versuchstiere in Bezug zur aufgenommenen Proteinmenge (BENKENDORFF, 2004). Der NPU nach BENDER und MILLER (1953) ist definiert als die relative Summe des Proteinzuwachses im Körper der Versuchstiere zuzüglich des Proteinerhaltungsbedarfs in Bezug zur Proteinaufnahme durch die Versuchsfuttermischung (BENKENDORFF, 2004). Sowohl der PPW (vgl. Gleichung 11) als auch der NPU sind in ihrer Höhe von der Proteinqualität und von der verzehrten Proteinmenge abhängig. Beide Bewertungsmaßstäbe beschreiben die Gesamtverwertung des Proteins und berücksichtigen dabei neben den Prozessen bei der Verdauung auch die im Intermediärstoffwechsel. Bei der Bestimmung des NPU (vgl. Gleichung 12) wird zusätzlich berücksichtigt, dass nicht sämtlicher im Harn und Kot ausgeschiedener N direkt aus dem Futter stammt. Im Kot gelangen neben den unverdaulichen Futterrohproteinanteilen auch Stoffwechselprodukte zur Ausscheidung, die als Darmverlust-N bezeichnet werden.

Produktiver Proteinwert (PPW):

$$PPW = \frac{ND}{NI} * 100 \quad (11)$$

Physiologischer Proteinnutzwert (NPU) / Nettoproteinverwertung:

$$NPU = \frac{ND+NMR}{NI} * 100 \quad (12)$$

wobei

- PPW = Produktiver Proteinwert [%]
- NPU = Physiologischer Proteinnutzwert [%]
- ND = N-Deposition [mg/LM_{kg}^{0,67}/d]
- NMR = N-Erhaltungsbedarf [mg/LM_{kg}^{0,67}/d]
- NI = N-Aufnahme [mg/LM_{kg}^{0,67}/d]

Für den N-Erhaltungsbedarf (NMR) wurde für die Masthähnchen (Starter und Grower sowie N-Bilanz und Wachstum) ein Wert von 240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d angenommen (WECKE *et al.*, 2016), der in Experimenten mit Masthähnchen des gleichen Genotyps ermittelt wurde. Für die N-Bilanzversuche beim Ferkel wurde der Wert von 433 mg/LM_{kg}^{0,67}/d übernommen (WECKE und LIEBERT, 2009). Für die N-Bilanzmessung bei Mastschweinen wurde ein Wert von 388 mg/LM_{kg}^{0,67}/d angenommen (WECKE und LIEBERT, 2010).

4.3.4.3 Standardisierte Proteinbewertung durch das Göttinger N-Verwertungsmodell

Wie einleitend beschrieben wurde, erlauben der PPW und NPU zwar eine Evaluierung der Proteinqualität, unterliegen jedoch stark dem Einfluss der aufgenommenen N-Menge. Aus diesem Grund findet in der vorliegenden Arbeit das nicht-lineare N-Verwertungsmodell („Göttinger Modell“) Anwendung, das erstmals von GEBHARDT (1966) vorgestellt und fortlaufend für verschiedene Spezies weiterentwickelt wurde (z. B. THONG und LIEBERT, 2004; SAMADI und LIEBERT, 2007a, b; LIEBERT, 2008, 2015, 2017; WECKE und LIEBERT, 2009; 2010; 2013; SAMADI *et al.*, 2017). Die Modellanwendung ermöglicht die Bewertung der Proteinqualität unabhängig von der Höhe der N-Aufnahme. Die Gleichungen 13 und 14 fassen die fundamentalen Zusammenhänge, basierend auf der nicht-linearen Beziehung zwischen der Höhe der N-Aufnahme und der Höhe der N-Retention, zusammen:

Tägliche N-Retention:

$$NR = NR_{max}T (1 - e^{-b*NI}) \quad (13)$$

Täglicher N-Ansatz:

$$ND = NR_{max}T (1 - e^{-b \cdot NI}) - NMR \quad (14)$$

wobei

NR	= tägliche N-Retention (ND + NMR) [mg/LM _{kg} ^{0,67}]
ND	= täglicher N-Ansatz [mg/LM _{kg} ^{0,67}]
NMR	= täglicher N-Erhaltungsbedarf [mg/LM _{kg} ^{0,67}]
NR _{max} T	= theoretisches Maximum der täglichen N-Retention [mg/LM _{kg} ^{0,67}]
b	= Modellparameter für die Steigung der Funktion zwischen NI und NR, abhängig von der Futterproteinqualität, unabhängig von NI
NI	= tägliche N-Aufnahme [mg/LM _{kg} ^{0,67}]
e	= Grundzahl der natürlichen Logarithmen [ln]

Der in den Gleichungen 13 und 14 genutzte Modellparameter NR_{max}T ist artspezifisch und innerartlich abhängig vom Genotyp, Geschlecht, LM sowie Alter und bezeichnet einen genetisch determinierten theoretischen Grenzwert für das maximale tägliche N-Retentionsvermögen. Der Grenzwert NR_{max}T spiegelt daher das genetische Potential der Tiere für die N-Retention wider, welches durch mathematische Grenzwertschätzung (= theoretischer Grenzwert) ermittelt wird, unter praxisüblichen Produktionsbedingungen jedoch nicht erreicht werden kann (SAMADI und LIEBERT, 2006). In den durchgeführten Untersuchungen wurden für die Modellparameter die Werte aus früheren Experimenten mit schnell wachsenden Masthähnchen gleicher Genetik herangezogen (WECKE *et al.*, 2016). Die Gleichung 15 für den Modellparameter „b“, der die Bewertung der Futterproteinqualität unabhängig von der aufgenommenen N-Menge ermöglicht, ergibt sich nach Umformung und Logarithmieren von Gleichung 13:

Modellparameter b als Ausdruck der Futterproteinqualität:

$$b = \frac{[\ln NR_{max}T - \ln (NR_{max}T - NR)]}{NI} \quad (15)$$

Zur Berechnung des b-Wertes wurden spezifische NR_{max}T-Werte herangezogen. Bei den Masthähnchen-N-Bilanzversuchen wurde für NR_{max}T in der Starter-Phase ein Wert von 4240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d und in der Grower-Phase von 3840 mg/LM_{kg}^{0,67}/d übernommen (WECKE *et al.*, 2016). Für die Wachstumsversuche mit Masthähnchen wurde ein Mittelwert aus der Starter- und Grower-Phase von 3840 mg/LM_{kg}^{0,67}/d für die Berechnungen zugrunde gelegt. In den Bilanzversuchen mit Ferkeln wurde ein NR_{max}T-Wert in Höhe von 4697 mg/LM_{kg}^{0,67}/d (WECKE und LIEBERT, 2009) und für Mastschweine in Höhe von 3104 mg/LM_{kg}^{0,67}/d verwendet (WECKE und LIEBERT,

2010). Die zudem zugrundegelegten NMR-Werte sind unter Abschnitt 4.3.4.2 beschrieben.

Der Modellparameter „b“, der den Anstieg der N-Retentionskurve kennzeichnet, ist somit unabhängig von der N-Aufnahme und unmittelbar von der Qualität des eingesetzten Futterproteins abhängig, wenn nicht durch andere Nahrungsfaktoren eine Limitierung der Proteinverwertung erfolgt.

Die Ergebnisse der Berechnung des Modellparameters „b“ wurden nach GEBHARDT (1980) multipliziert mit dem Faktor 10^6 angegeben, um besser handhabbare Zahlenwerte vergleichen zu können.

Für eine gesteigerte Transparenz wurde der traditionelle Proteinqualitätsparameter NPU (vgl. Gleichung 12) zusätzlich in die komplexen Proteinqualitätsbewertungen des Göttinger N-Verwertungsmodells integriert. Die Berechnung des Parameters NPU ist grundsätzlich nicht unabhängig von der Proteinaufnahme (z. B. BLOCK und MITCHELL, 1946; EMMERT *et al.*, 2000; THONG und LIEBERT, 2004; WECKE und LIEBERT, 2009). Entsprechend musste im nächsten Schritt eine Standardisierung der Proteinaufnahme nach THONG und LIEBERT (2004) durchgeführt werden. Diese Standardisierung lieferte NPU-Werte unabhängig von der NI (z. B. THONG und LIEBERT, 2004; WECKE und LIEBERT, 2009; FARKE, 2011; PASTOR *et al.*, 2013; PASTOR, 2014).

Dementsprechend wurde ein standardisierter physiologischer Proteinnutzwert (NPU_{std}) mithilfe einer standardisierten täglichen N-Aufnahme (NI_{std} : 3000 mg/LM_{kg}^{0,67} für Masthähnchen; 3500 mg/LM_{kg}^{0,67} für Ferkel; 3800 mg/LM_{kg}^{0,67} für Mastschweine) über die gesamte Versuchsdauer berechnet (Gleichung 16). Dadurch konnte eine Vergleichbarkeit der ermittelten NPU-Werte gewährleistet werden.

Standardisierter physiologischer Proteinnutzwert:

$$NPU_{std} = \frac{NR_{max} T (1 - e^{-b \cdot NI_{std}})}{NI_{std}} \quad (16)$$

4.3.4.4 Verdaulichkeitsparameter

Die Bestimmungen der Verdaulichkeitsparameter erfolgten sowohl precaecal im Anschluss an die Schlachtungen als auch auf fäkaler Basis für die Ferkel und Schweine im Anschluss an die N-Bilanzversuche. Nachfolgend werden die Erhebungen der scheinbaren precaecalen Protein- und AS-Verdaulichkeit bei Masthähnchen und Ferkeln sowie die Erhebungen der scheinbaren fäkalen N-Verdaulichkeit auf Kotniveau beim Ferkel und Mastschwein vorgestellt.

Scheinbare precaecale Verdaulichkeit nach Schlachtung

Für die spcV der Ferkel und Masthähnchen wurden nach Beendigung der Wachstumsversuche Chymusproben entnommen. Nachfolgend wird näher auf die Probengewinnung und die anschließende Berechnung eingegangen.

Masthähnchen

Am Ende der Grower-Phase der Wachstumsversuche wurden die Masthähnchen durch CO₂-Inhalation euthanasiert und Chymusproben zur Bestimmung der spcV entnommen. Dazu wurden Tiere mittlerer LM ausgewählt. Etwa 3h vor dem Eingriff wurde den Tieren das Futter frisch aufgefüllt. Nach der Empfehlung von KLUTH *et al.*, (2005) wurden die Chymusproben umgehend aus den letzten 2/3 des Abschnittes zwischen dem Meckel'schen Divertikel und 2 cm vor der Ileocaecal-Klappe gewonnen (Abbildung 8). Die Lagerung im Tiefgefrierschrank (-20 °C) erfolgte jeweils von 4 bis 5 Tieren gepoolten Proben. Für die Analysen auf TS, N, AS und TiO₂ als unverdaulichem Marker wurden die Proben gefriergetrocknet und homogenisiert (vgl. Abschnitt 0).

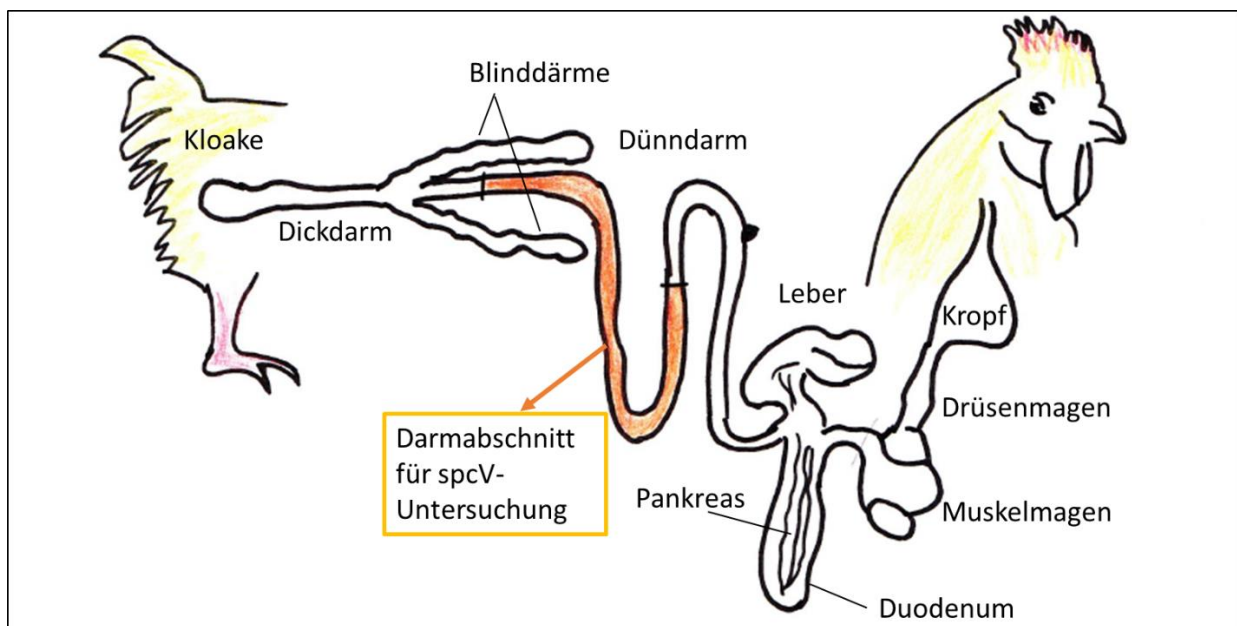


Abbildung 8: Schema der Chymusentnahme für die Untersuchung der scheinbaren precaecalen Verdaulichkeit (spcV) beim Masthähnchen

Ferkel

Die Ferkel wurden am Ende des Wachstumsversuches betäubt und euthanasiert (vgl. Abschnitt 4.2.1). Die Chymusproben wurden aus dem Ileum (Abschnitt 150 cm vor der Ileocaecalklappe bis zur Ileocaecalklappe) ausgestreift (vgl. Abbildung 9), ungepools in Petrischalen gesammelt und bei -20 °C tiefgefroren. Für die Analysen auf TS, N, AS und TiO₂ als unverdaulichen Marker, wurden die Proben gefriergetrocknet und homogenisiert.

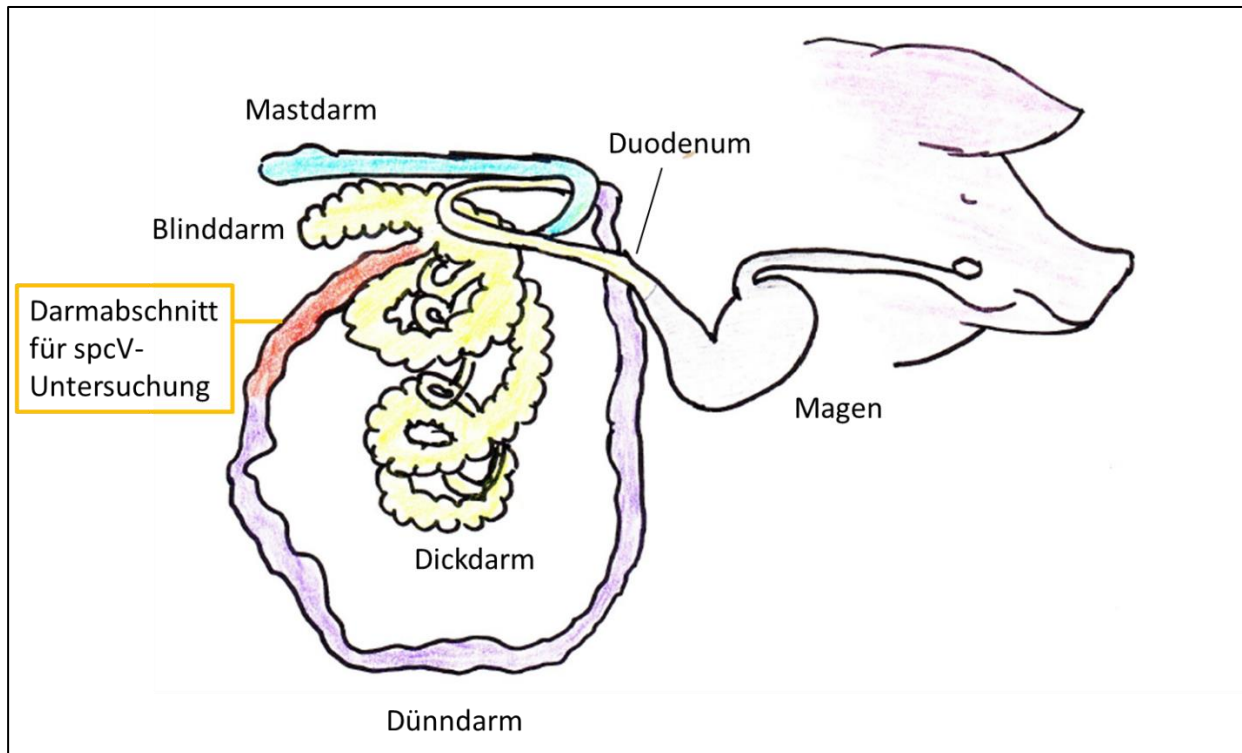


Abbildung 9: Schema der Chymusentnahme für die Untersuchung der scheinbaren precaecalen Verdaulichkeit (spcV) beim Ferkel

Die Berechnung der spcV-Werte (vgl. Gleichung 18) erfolgte nach KLUTH und RODEHUTSCORD (2006).

Scheinbare precaecale Verdaulichkeit:

$$spcV = 100 - 100 \frac{(TiO_2 \text{ Futter} * AS_{Chymus})}{(TiO_2 \text{ Chymus} * AS_{Futter})} \quad (18)$$

wobei

spcV	= scheinbare precaecale Verdaulichkeit [%]
TiO ₂ Futter	= TiO ₂ Konzentration in den Futtermischungen [g/kg]
TiO ₂ Chymus	= TiO ₂ Konzentration in den Chymusproben [g/kg]
AS _{Futter}	= AS-Konzentration in den Futtermischungen [g/kg]
AS _{Chymus}	= AS-Konzentration in den Chymusproben [g/kg]

Zur Berechnung der scheinbaren precaecalen N-Verdaulichkeit muss AS in der Formel durch N ersetzt werden.

Scheinbare N-Verdaulichkeit

Die scheinbare N-Verdaulichkeit (sVQ_N) berechnet sich aus der Differenz zwischen der aufgenommenen N-Menge über das Futter und der ausgeschiedenen N-Menge über den Kot (vgl. Gleichung 19). Die Quantifizierung der N-Aufnahme und Kot-Ausscheidung wurden über die N-Bilanzversuche der Ferkel und Mastschweine gewährleistet.

Scheinbare N-Verdaulichkeit:

$$sVQ_N = \left(\frac{I-F}{I} \right) * 100 \quad (19)$$

wobei

sVQ _N	= scheinbare Verdaulichkeit von N [%]
I	= Aufnahme von N [g/d]
F	= Ausscheidung von N über den Kot [g/d]

4.4 Chemisch-analytische Methoden

Die Analysen und deren Auswertung der Proben für die Untersuchungen wurden im Labor der Abteilung für Tierernährungsphysiologie der Universität Göttingen durchgeführt. Analytisch relevant waren die Analysen der eingesetzten Futtermittel (Einzelkomponenten und Futtermischungen) sowie des späteren Tiermaterials (Exkrememente, Chymus, Ganzkörper). Die Nährstoffgehalte wurden mit mindestens zwei Parallelen bestimmt. Bei übermäßig starker Abweichung der Variationskoeffizienten wurde die Untersuchung wiederholt.

Probenvorbereitung

Die Einzelfuttermittelkomponenten und die Futtermischungen wurden vor Beginn der Analysen in einer Mühle mit einem Siebeinsatz von 1,0 mm vermahlen. Die Proben zur AS-Bestimmung wurden in derselben Mühle mit einem feineren Siebeinsatz (0,5 mm) gemahlen. Proben von Exkrementen (Masthähnchen) und Kot (Ferkel, Mastschweine) wurden als frische unbehandelte Proben zur Bestimmung des TS- und N-Gehaltes zur Analyse verwendet und nach jeder Sammelphase mittels Stabmixer/Rührwerk und ggf. unter Zugabe von demineralisiertem Wasser homogenisiert. Harnproben wurden durch schütteln homogenisiert. Die Chymusproben wurden für die Bestimmung der AS zunächst gefriergetrocknet, mithilfe einer Kaffeemühle vermahlen und anschließend homogenisiert.

Rohnährstoffanalyse

Zur Bestimmung der Rohnährstoffe in den Einzelfuttermittelkomponenten, Futtermischungen, Exkrementen, Kot, Harn, Ganzkörper und Chymus wurde die Weender-Analyse angewendet und entsprechend des Methodenbuches Band III des VDLUFA (NAUMANN und BASSLER, 1976-2004) durchgeführt.

In den Einzelfuttermitteln und Futtermischungen wurden der TS-Gehalt sowie die Gehalte an XP, XL, XA und XF analysiert. Von den Exkrement-, Kot- und Chymusproben wurden der TS-Gehalt sowie der N-Gehalt bestimmt. Die GKA bestand aus der Bestimmung von TS-, N- und XA- Gehalt (siehe Abschnitt 4.3.3). Im Harn erfolgte die Ermittlung des N-Gehaltes.

Die TS-Gehalt-Bestimmung erfolgte durch Trocknung im Trockenschrank bei 105 °C. Zur Bestimmung der XA erfolgte die Veraschung der TS-Proben im Muffelofen bei 550 °C. XL wurde mittels HCl-Aufschluss und Extraktion durch Petrolether bestimmt. Das entstehende Lösungsmittel wurde destilliert und der daraus entstehende Etherextrakt getrocknet und gewogen. Die Bestimmung von XF erfolgte mittels Säure- und Laugenbehandlung, gefolgt durch Veraschung.

Aus der Summe der Rohnährstoffe XA, XL und XF bezogen auf die TS, konnte die NfE rechnerisch ermittelt werden. Der XP-Gehalt wurde, aus dem im nächsten Absatz beschriebenen analysierten N-Gehalt, durch Multiplikation mit dem Faktor 6,25 errechnet.

Bestimmung des N-Gehaltes

Zur Bestimmung des N-Gehaltes der Einzelfutterkomponenten, Futtermischungen, Frischexkrementen, Kot, Chymus und Ganzkörperproben wurde das Verfahren nach DUMAS unter Verwendung eines Stickstoff-Analysators (TruMac®, Firma Leco Instrumente GmbH, Mönchengladbach, Deutschland) genutzt. Das Messprinzip beruht auf vollständiger oxygener Verbrennung der Probe bei 1050 °C in reiner Sauerstoffatmosphäre. Die nach Entfernung des freiwerdenden CO₂ und H₂O verbliebenen Stickoxide (NO_x) wurden mittels Katalysators zu molekularem Stickstoff (N₂) reduziert. Die Harnproben wurden nach dem Kjeldahl-Verfahren (Vapodest®, Gerhardt GmbH und Co.KG, Königswinter, Deutschland) analysiert. Die Harnproben wurden unter Zugabe eines Katalysators mit konzentrierter Schwefelsäure aufgeschlossen. Das freiwerdende Ammoniak wurde anschließend nach Wasserdampfdestillation in eine borsäurehaltige Vorlage (4 %) überführt, durch Titration mit 0,25 N HCl quantitativ bestimmt und als N berechnet.

Analyse der Aminosäuren

Die AS-Analyse der Einzelfutterkomponenten und des Chymus erfolgte durch Ionenaustauschchromatographie mit dem automatischen Aminosäureanalysator (Biochrom® 30, Firma Biochrom, Ltd, Cambridge, England). Einer Vorbehandlung mit Perameisensäure (H₂O₂ und 88%ige phenolhaltige Ameisensäure im Verhältnis 1 : 10) folgte die Hydrolyse mit Salzsäure (c = 6 mol/l; 49 ml Salzsäure + 1 g Phenol auf 1 l Wasser). Nach der Hydrolyse wurde eine Citratpufferlösung (PVP) angewendet (pH = 2,20; bestehend aus Natriumcitrat, Salzsäure, Thiodiglycol und Wasser). Als interner Standard wurde Norleucin verwendet (20 µmol Norleucin in 1 ml PVP).

Analyse des TiO₂-Gehaltes

Der in den Futtermischungen und im Chymus enthaltene Marker (TiO₂) wurde durch die modifizierte Methode nach BRANDT und ALLAM (1987) bestimmt. Die Analyse erfolgte nach Kjeldahlauflösungs-Verfahren. Das Prinzip beruht darauf, dass TiO₂ in heißer konzentrierter Schwefelsäure (H₂SO₄) langsam löslich ist und in schwefelsauren Lösungen mit Wasserstoffperoxid (H₂O₂) einen stabilen gelben Farbkomplex bildet. Dieser Farbkomplex kann bei 405 nm photometrisch gemessen werden. Der Aufschluss erfolgte unter Zugabe eines Katalysators (Kjeldahl-Tabletten) und konzentrierter Schwefelsäure im Aufschlusssystem (Vapodest®, Gerhardt GmbH und Co. KG, Königswinter, Deutschland).

4.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programm IBM SPSS Statistics Version 24 für Windows. Durchgeführt wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$, 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 wurde. Die Ermittlung von Ausreißern erfolgte nach DIXON und MASSEY (1969), oder mithilfe des SPSS Boxplot-Verfahrens.

Die Ergebnisse wurden als Mittelwert \pm Standardabweichung dargestellt, wobei verschieden hochgestellte Buchstaben signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen kennzeichnen.

Die statistischen Auswertungen erfolgten jeweils über die gesamten Versuchskomplexe, d.h. auch die Futtermischungen mit *Spirulina platensis* wurden berücksichtigt. Für die Darstellungen der Ergebnisse in der vorliegenden Dissertation wurde keine zusätzliche statistische Auswertung für die ausgewählten Versuchsgruppen (Kontrolle und HIM-Gruppen) vorgenommen.

5 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der ausgewählten Teilversuche (vgl. Tabelle 8-Tabelle 9 und Tabelle 18-Tabelle 20) in Form von Mittelwerten \pm Standardabweichung dargestellt. Tierindividuelle Einzeldaten sind auf der Anhangs-CD gespeichert. Nacheinander werden die Ergebnisse der Wachstums- und N-Bilanzversuche der Masthähnchen sowie Mastschweine der Kontrollgruppe und der mit HIM gefütterten Tiere wiedergegeben. Eine Darstellung aller Ergebnisse, inklusive statistischer Vergleiche mit den SPM-Gruppen, befindet sich im Anhang.

5.1 Ergebnisse der Wachstumsversuche I bis III mit Masthähnchen

Die Ergebnisse der Wachstumsversuche I bis III der Masthähnchen werden vergleichend in Tabellen und Grafiken dargestellt. Die zootechnischen Parameter wurden sowohl differenziert für die Starter- und Grower-Phase als auch für die gesamte Versuchsdauer (LT 1 bis 34/35) ermittelt. Parameter der Protein- und Energieverwertung, Ganzkörperzusammensetzung sowie die Ansatzparameter und die spcV wurden ausschließlich nach der Grower-Phase erhoben.

5.1.1 Zootechnische- und Aufwandparameter

In Tabelle 26 sind alle ermittelten zootechnischen- und Aufwandparameter der Wachstumsversuche mit Masthähnchen für die Starter- und Grower-Phase zusammengefasst. Wie in Abschnitt 4.1.1.1 detailliert beschrieben, wurde in Wachstumsversuch I neben der Kontrolle eine 50%ige Austauschrate von SES durch HIM auf Basis des XP-Gehaltes untersucht. In Wachstumsversuch II wurden auf identische Art in der Starter-Phase 75 % und in der Grower-Phase 50 % des SES ausgetauscht. Eine vollständige Substitution von SES durch HIM erfolgte in Wachstumsversuch III (Starter- und Grower-Phase). Die mittlere Start-LM der Küken war in allen Versuchsgruppen der drei Versuche identisch, wodurch signifikante Unterschiede der untersuchten Parameter am Versuchsende als Effekt der unterschiedlichen Futtermischungen eingeordnet werden konnten.

Am Ende der Starter-Phase von Wachstumsversuch I erreichten Masthähnchen der Gruppe HM im Vergleich zu den Tieren der Kontrollgruppe und der Futtermischung HM+ eine signifikant geringere FI, LMZ und End-LM, gekoppelt mit signifikant höheren Werten für FA, PA und EA. Die mit erweiterter AS-Supplementierung (HM+) versorgten Tiere erreichten im Vergleich zur Kontrollgruppe eine signifikant höhere LM und vergleichbare Aufwandparameter. In der Grower-Phase zeigten sich für die Tiere der Futtermischung HM bei diesen Parametern dagegen deutlich signifikantere Unterschiede. Die Tiere, die die AS-balancierte Futtermischung HM+ erhielten, erreichten eine signifikant höhere End-LM im Vergleich zu denen der Kontrollgruppe. Darüber hinaus errechnete sich für Versuchsgruppe HM+ mit $1,29 \pm 0,07$ g/g der geringste FA ($p < 0,05$). Die Futtermischung HM führte zu signifikant geringerem Wachstum.

Ergebnisse

Tabelle 26: Zootechnische- und Aufwandparameter in Wachstumsversuch I bis III unterteilt in Starter- und Grower-Phase

	Versuch I 50 % SES-Austausch			Versuch II 75 %/50 % SES-Austausch			Versuch III 100 % SES-Austausch		
	K	HM	HM+	K	HM+	HM-LAS	K	HM+	HM-LAS
n	12	9	9	12	9	9	12	9	9
Starter-Phase (0.-21. LT)									
LM Beginn (g)	47,5 ± 0,1	47,4 ± 0,1	47,3 ± 0,2	51,6 ± 0,3	51,9 ± 0,2	51,7 ± 0,1	45,5 ± 0,1	45,5 ± 0,1	45,5 ± 0,1
LM Ende (g)	960,9 ^b ± 50,5	693,2 ^a ± 30,1	1034,5 ^c ± 42,0	1129,4 ^{ab} ± 57,5	1170,7 ^b ± 42,4	1082,2 ^a ± 63,4	1033,8 ^a ± 52,1	1160,1 ^b ± 35,1	1115,5 ^b ± 31,7
LMZ (g/d)	43,5 ^b ± 2,4	30,7 ^a ± 1,4	47,0 ^c ± 2,0	51,3 ^{ab} ± 2,7	53,3 ^b ± 2,0	49,1 ^a ± 3,0	47,1 ^a ± 2,5	53,1 ^b ± 1,7	51,0 ^b ± 1,5
FI (g/d)	54,3 ^b ± 3,8	47,1 ^a ± 3,7	58,0 ^b ± 4,1	58,6 ^{ab} ± 2,5	59,2 ^b ± 2,2	55,1 ^a ± 3,2	55,7 ± 2,7	57,1 ± 2,1	56,1 ± 1,3
FA (g/g)	1,25 ^a ± 0,11	1,53 ^b ± 0,03	1,23 ^a ± 0,07	1,14 ± 0,04	1,11 ± 0,03	1,12 ± 0,01	1,18 ^b ± 0,03	1,08 ^a ± 0,04	1,10 ^a ± 0,03
PA (g/g)	0,31 ^a ± 0,03	0,38 ^b ± 0,03	0,32 ^a ± 0,02	0,28 ^a ± 0,01	0,30 ^b ± 0,01	0,30 ^b ± 0,00	0,29 ^b ± 0,01	0,27 ^a ± 0,01	0,28 ^{ab} ± 0,01
EA (kJ/g)	18,02 ^a ± 1,52	23,33 ^b ± 2,05	18,89 ^a ± 1,09	16,46 ^a ± 0,61	17,02 ^{ab} ± 0,39	17,18 ^b ± 0,14	17,06 ± 0,45	16,56 ± 0,59	16,96 ± 0,39
Grower-Phase (21.-34./35. LT)									
LM Ende (g)	2173,7 ^b ± 112,2	1493,6 ^a ± 89,3	2319,9 ^c ± 114,4	2367,9 ^a ± 153,1	2529,7 ^b ± 100,0	2317,1 ^a ± 92,8	2177,3 ^a ± 103,8	2397,2 ^b ± 102,8	2319,5 ^b ± 71,6
LMZ (g/d)	101,4 ^b ± 9,6	66,8 ^a ± 5,3	107,1 ^b ± 7,9	95,3 ^{ab} ± 10,6	104,5 ^b ± 6,0	95,0 ^a ± 3,2	95,3 ^a ± 6,4	103,1 ^b ± 6,4	100,3 ^{ab} ± 4,9
FI (g/d)	145,0 ^b ± 8,0	124,8 ^a ± 11,1	138,0 ^b ± 9,9	148,8 ± 14,2	149,5 ± 6,8	143,7 ± 8,1	160,3 ^b ± 7,9	144,1 ^a ± 7,7	140,6 ^a ± 5,7
FA (g/g)	1,44 ^b ± 0,07	1,88 ^c ± 0,21	1,29 ^a ± 0,07	1,57 ^b ± 0,12	1,43 ^a ± 0,05	1,51 ^{ab} ± 0,06	1,69 ^b ± 0,10	1,40 ^a ± 0,04	1,40 ^a ± 0,02
PA (g/g)	0,32 ^a ± 0,02	0,42 ^b ± 0,05	0,29 ^a ± 0,02	0,35 ± 0,03	0,33 ± 0,01	0,35 ± 0,01	0,38 ^b ± 0,02	0,32 ^a ± 0,01	0,32 ^a ± 0,01
EA (kJ/g)	21,24 ^a ± 1,02	29,09 ^b ± 3,32	20,12 ^a ± 1,05	23,53 ± 1,84	22,18 ± 0,84	23,44 ± 0,88	25,03 ^b ± 1,45	22,25 ^a ± 0,61	22,29 ^a ± 0,40

Mittelwert ± SD; n= Stichprobenumfang; K= Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-LAS = Mischung HM+ mit kalkulatorisch erst limitierender AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; LM = Lebendmasse; LMZ = Lebendmassezunahme; FI = Futteraufnahme; FA = Futteraufwand; PA = Proteinaufwand; EA = Energieaufwand; ^{a-c}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches ($p < 0,05$).

In Wachstumsversuch II führte die Herabsenkung des Met-Gehaltes auf 80 % der Empfehlung (Mischung HM-LAS), verglichen mit der Kontrollgruppe, zu tendenziell und im Vergleich zur Futtermischung HM+ zu signifikant geringeren End-LM sowie LMZ (Starter- und Grower-Phase). Die erweiterte AS-Supplementierung der Futtermischung HM+ hatte höhere LM-Ergebnisse im Vergleich zu Futtermischung HM-LAS zur Folge, jedoch ohne signifikanten Unterschied zur Kontrollgruppe. Der effizienteste FA wurde für die Tiere der Versuchsgruppe HM+ errechnet. Dieser war im Vergleich zur Kontrollgruppe in der Grower-Phase signifikant verringert. Für den PA und EA konnten die signifikant niedrigsten Werte für die Kontrollgruppe ermittelt werden, wohingegen in der Grower-Phase keine Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen erkennbar waren.

Bei 100%iger SES Substitution in Wachstumsversuch III erreichten beide Versuchsgruppen mit HIM (HM+, HM-LAS) in der Starter-Phase signifikant höhere Werte für die End-LM und LMZ im Vergleich zur Kontrollgruppe. Während FI und EA in allen Gruppen identisch waren, errechnete sich für die Tiere der Kontrollgruppe der signifikant höchste FA. In der Grower-Phase wurden die zootechnischen- und Aufwandparameter der Starter-Phase fortführend bestätigt. Die Tiere der Kontrollgruppe erzielten eine signifikant niedrigere LM und FI, sowie die höchsten Werte für alle ermittelten Aufwandparameter verglichen mit den HIM-Versuchsgruppen.

Die zootechnischen- und Aufwandparameter über die gesamte Wachstumsphase (LT 1 bis 34/35) der Wachstumsversuche I bis III können der Anhangs-Tabelle 4-Anhangs-Tabelle 6 entnommen werden. Abbildung 10 gibt vergleichend die mittlere LM-Entwicklung der Wachstumsversuche I bis III wieder. Für alle drei Versuche zeigte sich für Versuchsgruppe HM+ eine deutlich überlegene LM-Entwicklung, mit den signifikant höchsten End-LM in Wachstumsversuch I und II. Die Basis-AS-Supplementierung führte im Vergleich zu allen anderen Versuchsfuttermischung zu der geringsten LM-Entwicklung. In Wachstumsversuch II zeigten sich für die Kontrollgruppe sowie Gruppe HM-LAS nur geringfügige Unterschiede in der LM-Entwicklung, wobei Gruppe HM-LAS signifikant niedrigere Werte aufwies als Gruppe HM+. Bei einer 100%igen Substitution von SES mit HIM, erreichten beide Insektenversuchsgruppen (HM+ und HM-LAS) über die gesamte Wachstumsphase eine vergleichbare LM-Entwicklung, obwohl Versuchsgruppe HM+ tendenziell höhere Werte erzielte. Die LM-Entwicklung der Kontrollgruppe war signifikant geringer. Numerisch erreichte die Kontrollgruppe in Wachstumsversuch I und II bei einem vergleichbaren Startgewicht der Küken auch vergleichbare End-LM.

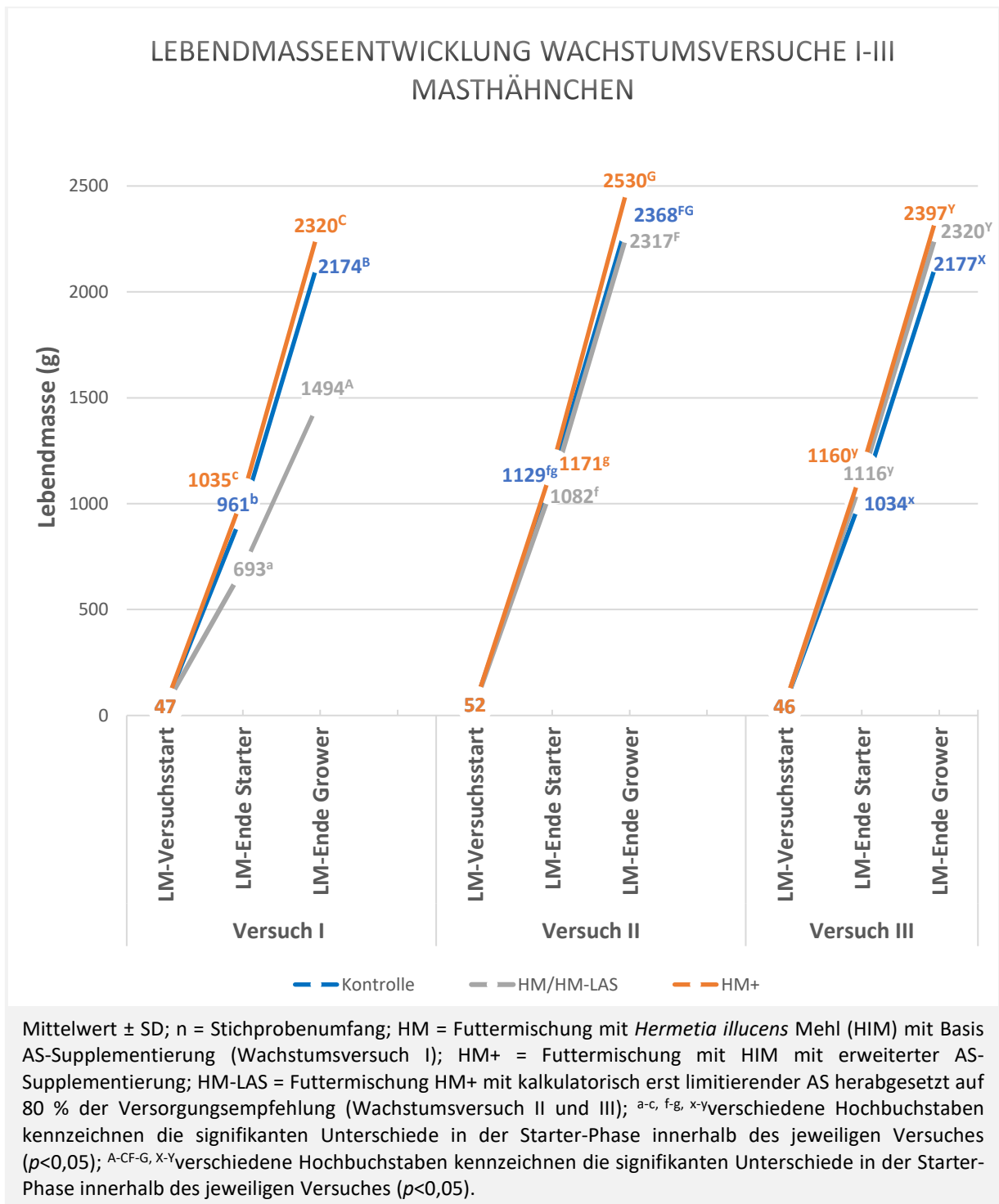


Abbildung 10: Vergleichende Darstellung der mittleren Lebendmasseentwicklung der Wachstumsversuche I bis III Masthähnchen

Abbildung 11 zeigt den FA (g/g) der Masthähnchen über die gesamte Wachstumsphase für Wachstumsversuch I bis III. In allen drei Wachstumsversuchen erreichten die Tiere, die Futtermischung HM+ mit erweiterter AS-Supplementation erhielten, den signifikant effizientesten FA im Vergleich zur Kontrolle und Mischung HM/HM-LAS (Wachstumsversuch I und II). Die Tiere der

Futtermischung HM zeigten den signifikant höchsten FA im Vergleich zu denen der anderen Versuchsfuttermischungen. Wurde die LAS reduziert, führte dies in Wachstumsversuch II zu einem signifikanten Unterschied verglichen mit Versuchsgruppe HM+, der Unterschied blieb jedoch in Wachstumsversuch III aus.

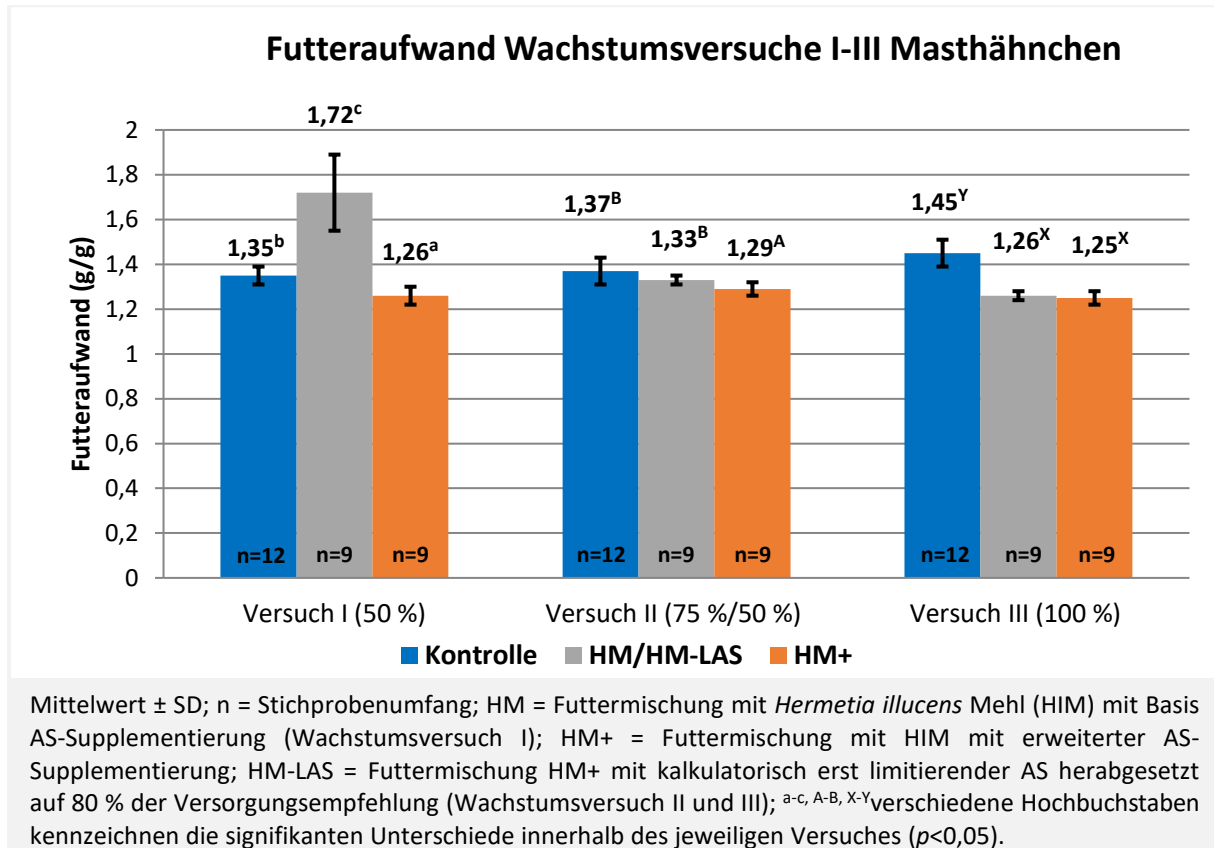


Abbildung 11: Vergleichende Darstellung des mittleren Futteraufwandes der Wachstumversuche I bis III Masthähnchen über die gesamte Wachstumsphase (LT 1 bis 34/35)

Sowohl PA als auch EA (vgl. Abbildung 12) der Kontroll- und Versuchsgruppe HM+ erreichten in Wachstumsversuch I identische Niveaus, wohingegen die Fütterung von Mischung HM zu signifikant höheren EA und PA führte. In Wachstumsversuch II unterschied sich Versuchsgruppe HM-LAS im PA signifikant von Versuchsgruppe HM+ und der Kontrollgruppe. Den signifikant geringsten PA erreichte Versuchsgruppe HM+. Bei 100%iger Substitution von SES durch HIM (Wachstumsversuch III) zeigte sich für beide Insektengruppen (HM-LAS und HM+) ein vergleichbarer Wert für den PA sowie EA, der jeweils signifikant geringer war als in der Kontrollgruppe.

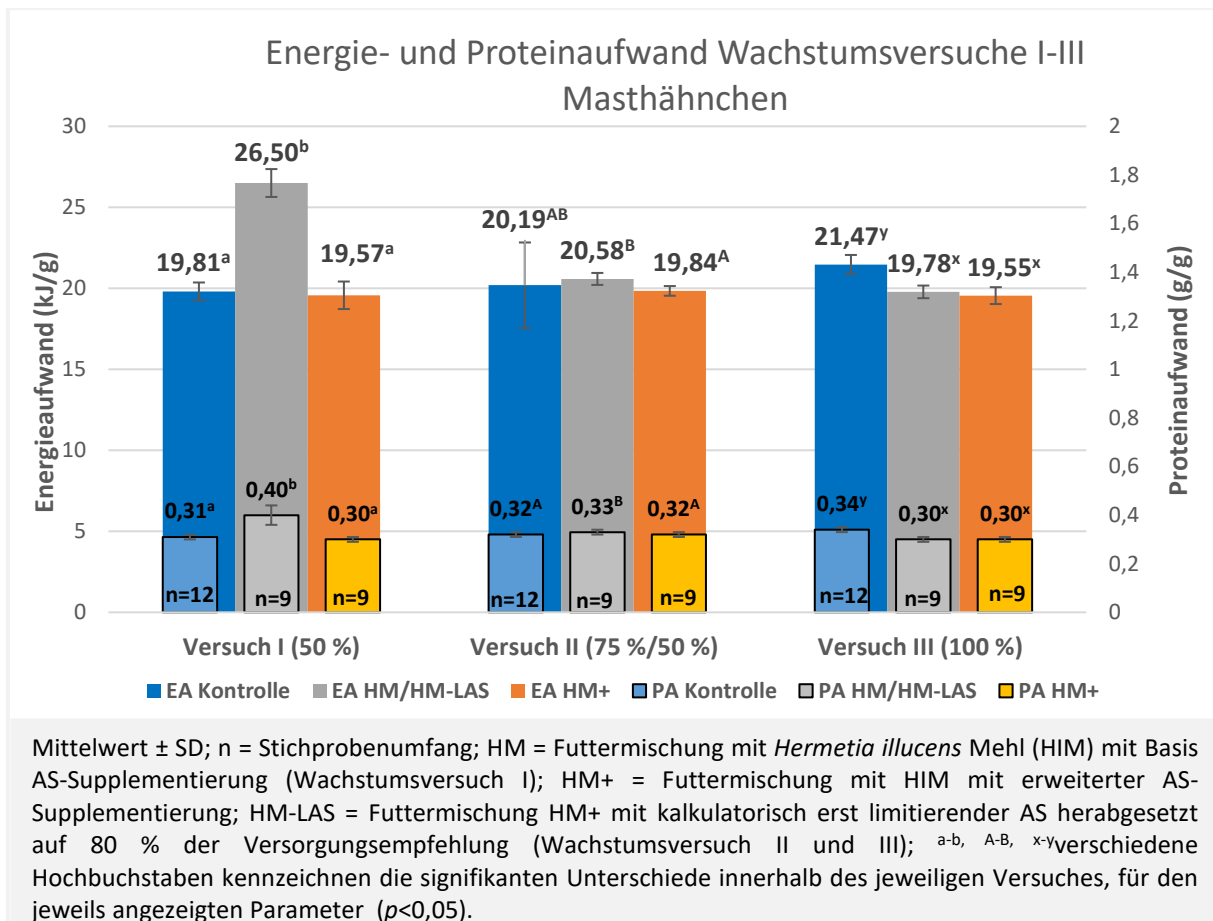


Abbildung 12: Vergleichende Darstellung des mittleren Energie- und Proteinaufwandes der Wachstumsversuche I bis III Masthähnchen über die gesamte Wachstumsphase (LT 1 bis 34/35)

5.1.2 Ergebnisse der Ganzkörperanalyse

Die Ergebnisse der GKA ergaben sich aus der Ganzkörpernährstoffzusammensetzung (vgl. Tabelle 27) der Masthähnchen am Ende der Wachstumsversuche I bis III sowie den berechneten Ergebnissen der Nährstoffansätze (vgl. Tabelle 28). Eine Übersicht über alle Versuchsgruppen gibt Anhangs-Tabelle 7.

Bei der Nährstoffzusammensetzung der Ganzkörper am Ende des Wachstumsversuches I wurden keine signifikanten Effekte auf den XP-, XL- und XA- Gehalt in der Körper-TS der Tiere zwischen der Kontrollgruppe und den beiden Insektengruppen (HM und HM+) beobachtet. Tendenziell ergab sich mit $570,2 \pm 21,0$ g/kg TS der höchste XP-Gehalt für die Tiere der Kontrollgruppe. Die Tiere, die die nicht ausbalancierte Futtermischung HM erhielten, erreichten die numerisch höchsten XL- und XA-Gehalte.

In Wachstumsversuch II wurde ebenfalls der höchste XP-Gehalt und der entsprechend niedrigste XL-Gehalt in der Körper-TS in den Ganzkörpern der Tiere der Kontrollfuttermischung gefunden. Es gab einen signifikanten Unterschied zu allen mit HIM gefütterten Tieren (Mischung HM+ und HM-LAS). Die Tiere der Versuchsgruppe HM-LAS enthielten bei der GKA den niedrigsten XP-

Ergebnisse

Gehalt, unterschieden sich jedoch nicht signifikant von den Tieren, die mit Mischung HM+ gefüttert wurden. Die Tiere, die mit Futtermischung HM+ und HM-LAS gefüttert wurden, erzielten tendenziell höhere XL-Gehalte in der Körper-TS. Der XA-Gehalt der untersuchten Ganzkörper unterschied sich nicht signifikant zwischen den Versuchsgruppen, mit $78,1 \pm 3,0$ g/kg TS erreichten die Tiere der Kontrollgruppe jedoch den tendenziell höchsten Wert.

Parallel zu den Beobachtungen aus Wachstumsversuch I und II wurde auch in Wachstumsversuch III der höchste XP-Gehalt in der Körper-TS bei den Tieren, die mit der Kontrollfuttermischung gefüttert wurden, festgestellt. Er unterschied sich signifikant von allen anderen Versuchsgruppen, genauso wie der entsprechend niedrigste XL-Gehalt. Es wurden vergleichbare Werte für den XP- und XL-Gehalt in der Körper-TS der Tiere der Versuchsgruppen HM+ und HM-LAS ermittelt. Identisch zu den Wachstumsversuchen I und II konnte erneut kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Versuchsgruppen für den XA-Gehalt in der Körper-TS nach den Ganzkörperanalysen festgestellt werden.

Tabelle 27: Ganzkörperzusammensetzung der Masthähnchen nach Versuchsende von Wachstumsversuch I bis III

	Ein- tags- küken	Versuch I 50 % SES-Austausch			Versuch II 75 %/50 % SES-Aus- tausch			Versuch III 100 % SES-Austausch		
		K	HM	HM+	K	HM+	HM -LAS	K	HM+	HM -LAS
n		4	4	4	4	4	4	4	4	4
TS (%)	22,5 ± 0,2	29,9 ± 1,7	31,1 ± 0,8	31,7 ± 1,4	29,7 ^a ± 0,6	32,0 ^{ab} ± 0,7	33,0 ^b ± 0,7	30,5 ^a ± 0,3	33,0 ^{ab} ± 1,1	33,3 ^b ± 0,6
XP (g/kg TS)	687,9 ± 12,1	570,2 ± 21,0	522,1 ± 24,1	531,4 ± 27,7	592,3 ^b ± 26,9	535,0 ^a ± 20,4	511,1 ^a ± 16,7	603,6 ^b ± 19,1	535,2 ^a ± 13,4	507,8 ^a ± 9,8
XL (g/kg TS)	226,9 ± 11,3	354,0 ± 24,2	395,1 ± 26,3	394,8 ± 34,8	329,6 ^a ± 29,8	392,7 ^b ± 19,9	417,1 ^b ± 21,1	321,0 ^a ± 22,5	396,7 ^b ± 16,7	423,0 ^b ± 11,7
XA (g/kg TS)	85,2 ± 1,1	75,8 ± 4,4	82,8 ± 2,7	73,8 ± 7,4	78,1 ± 3,0	72,4 ± 3,3	71,8 ± 4,9	75,5 ± 4,6	68,2 ± 3,3	69,2 ± 2,2

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-LAS = Mischung HM+ mit kalkulatorisch erst limitierender AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; ^{a-b}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches ($p < 0,05$).

Die in Tabelle 28 dargestellten Ansatzparameter zeigen für Wachstumsversuch I mit $11,6 \pm 0,6$ g/d den höchsten XP-Ansatz bei den mit Mischung HM+ gefütterten Tieren, jedoch ohne signifikanten Unterschied zu den Tieren der Kontrollfuttermischung. Allerdings war der Fettansatz bei den Tieren, die die mit AS angereicherte Futtermischung (HM+) erhielten, signifikant erhöht. Die untersuchte Ganzkörper der Versuchsgruppe HM erreichten einen um 37,9 % signifikant

Ergebnisse

niedrigeren täglichen XP-Ansatz und ebenso die signifikant niedrigsten Werte für den XL-, XA- und GE-Ansatz, verglichen mit Tieren der Kontrolle und Versuchsgruppe HM+. Sowohl bei dem XA-, als auch dem GE-Ansatz konnten signifikante Unterschiede zwischen allen Versuchsgruppen ermittelt werden. Den signifikant höchsten täglichen XA- und GE-Ansatz erreichten Tiere der Futtermischung HM+, gefolgt von denen der Kontrolle.

Parallel zu Wachstumsversuch I erreichten auch in Wachstumsversuch II die Tiere der Futtermischung HM+ den höchsten täglichen XP-Ansatz, gefolgt von denen der Kontrollfuttermischung. Im Vergleich dazu, setzten die Tiere der Mischung HM-LAS mit einem Wert von $11,3 \pm 0,5$ g/d täglich um 9,6 % signifikant weniger XP an. Die Fütterung von HIM in den Mischungen generierte den höchsten täglichen XL-Ansatz, der signifikant höher war als bei den Kontrolltieren. Im XA-Ansatz unterschieden sich die Versuchsgruppen nicht. Die signifikant höchsten GE-Ansätze mit 666 ± 27 kJ/d und 638 ± 26 kJ/d erreichten die beiden Insektenversuchsgruppen (HM+ und HM-LAS) im Vergleich zur Kontrollgruppe (553 ± 36 kJ/d).

Tabelle 28: Ansatzparameter der Masthähnchen nach Versuchsende von Wachstumsversuch I-III

	Versuch I 50 % SES-Austausch			Versuch II 75 %/50 % SES-Austausch			Versuch III 100 % SES-Austausch		
	K	HM	HM+	K	HM+	HM-LAS	K	HM+	HM-LAS
n	12	9	9	12	9	9	12	9	9
XP-Ansatz (g/d)	11,1 ^b ± 0,6	7,2 ^a ± 0,4	11,6 ^b ± 0,6	12,0 ^b ± 0,8	12,5 ^b ± 0,5	11,3 ^a ± 0,5	11,9 ^{ab} ± 0,6	12,6 ^b ± 0,6	11,7 ^a ± 0,4
XL-Ansatz (g/d)	6,9 ^b ± 0,4	5,5 ^a ± 0,3	8,7 ^c ± 0,4	6,7 ^a ± 0,4	9,3 ^b ± 0,4	9,3 ^b ± 0,4	6,4 ^a ± 0,3	9,5 ^b ± 0,4	9,9 ^b ± 0,3
XA-Ansatz (g/d)	1,5 ^b ± 0,1	1,1 ^a ± 0,1	1,6 ^c ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,7 ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,6 ± 0,1
GE-Ansatz (kJ/d)	537 ^b ± 28	389 ^a ± 24	623 ^c ± 31	553 ^a ± 36	666 ^b ± 27	638 ^b ± 26	537 ^a ± 26	676 ^b ± 29	669 ^b ± 21

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-LAS = Mischung HM+ mit kalkulatorisch erst limitierender AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; ^{a-c}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches ($p < 0,05$).

In Wachstumsversuch III ergaben sich für die Versuchsgruppe HM-LAS, verglichen mit Gruppe HM+, signifikant verringerte Werte für den XP-Ansatz der Tiere. Der XL-Ansatz, der mit $9,9 \pm 0,3$ g/d das höchste beobachtete Niveau erreichte, wurde davon nicht beeinflusst. Insgesamt wurde im Vergleich zu der Kontrollgruppe der Fettansatz durch die Verwendung von HIM in den Futtermischungen signifikant erhöht. Die Versuchsgruppe HM+ erzielte einen um 35 % höheren

und Versuchsgruppe HM-LAS einen um 32 % höheren XL-Ansatz als die Kontrollgruppe. Wie ebenfalls in Wachstumsversuch II beobachtet, konnten für den täglichen XA-Ansatz keine futtermischungsspezifischen Unterschiede festgestellt werden. Ähnlich dem täglichen XL-Ansatz verhielten sich die Ergebnisse des Bruttoenergieansatzes. Die Futtermischungen HM+ und HM-LAS führten in den Tieren zu 19,7 bis 20,6 % höhere GE-Ansätze als die Kontrollfuttermischung.

5.1.3 Parameter der Protein- und Energieverwertung

In Tabelle 29 ist die Protein- und Energieverwertung der Versuchsgruppen über die gesamte Versuchsdauer der Wachstumsversuche I-III dargestellt.

In Wachstumsversuch I erzielten die Tiere der Mischung HM den signifikant niedrigsten PPW im Vergleich zu Tieren der Kontrollfuttermischung ($55,1 \pm 1,6$ %) und der Futtermischung HM+, welche mit $55,6 \pm 1,7$ % einen vergleichbaren Wert erzielte. Beim NPU waren die signifikanten Unterschiede kongruent zu den dargestellten Unterschieden des PPW. Die Energieverwertung unterschied sich zwischen allen drei Versuchsgruppen signifikant voneinander. Die höchste Energieverwertung erreichten Tiere der Futtermischung HM+ ($46,3 \pm 1,4$ %), gefolgt von denen der Kontrollfuttermischung ($42,1 \pm 1,2$ %) und Futtermischung HM ($33,7 \pm 3,2$ %).

In Wachstumsversuch II erreichten die Tiere der Kontrollfuttermischung und die der mit AS ausbalancierte Hermetia-Mischung (HM+) einen signifikant höheren PPW, verglichen mit Versuchsgruppe HM-LAS. Beim NPU wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt, wobei Versuchsgruppe HM-LAS mit $59,8 \pm 1,2$ % tendenziell den niedrigsten Wert erreichte. Die Energieverwertung der Versuchsgruppe HM-LAS unterschied sich nicht von der in Gruppe HM+. Die Kontrollgruppe zeigte hingegen eine signifikant geringere Energieverwertung als die Versuchsgruppen HM+ und HM-LAS.

Den signifikant höchsten PPW und NPU erreichten in Wachstumsversuch III die Tiere die mit HIM und zusätzlich erweiterter AS-Supplementierung (Futtermischung HM+) gefüttert wurden. Bei dem PPW zeigten sich keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und der HIM-Versuchsgruppe mit auf 80 % der Empfehlungen herabgesenktem Met-Gehalt (HM-LAS). Den signifikant geringsten NPU erreichte mit $62,1 \pm 2,3$ % die Kontrollgruppe, gefolgt von der Versuchsgruppe HM-LAS ($64,5 \pm 1,0$ %). Zudem resultierte der Einsatz der Kontrollfuttermischung in der signifikant geringsten Energieverwertung, während die Mischungen HM+ und HM-LAS vergleichbare Werte erzielten.

Ergebnisse

Tabelle 29: Parameter der Protein- und Energieverwertung (in %) der Wachstumsversuche I bis III über die gesamte Versuchsdauer (LT 1 bis 34/35)

	Versuch I 50 % SES-Austausch			Versuch II 75 %/50 % SES-Austausch			Versuch III 100 % SES-Austausch		
	K	HM	HM+	K	HM+	HM-LAS	K	HM+	HM-LAS
n	12	9	9	12	9	9	12	9	9
PPW	55,1 ^b ± 1,6	40,9 ^a ± 3,9	55,6 ^b ± 1,7	55,5 ^b ± 2,4	54,6 ^b ± 1,2	52,1 ^a ± 0,9	54,7 ^a ± 2,1	59,4 ^b ± 1,7	56,5 ^a ± 0,9
NPU*	63,0 ^b ± 1,8	50,0 ^a ± 4,5	63,5 ^b ± 2,0	63,4 ± 2,6	62,3 ± 1,2	59,8 ± 1,2	62,1 ^a ± 2,3	67,5 ^c ± 1,9	64,5 ^b ± 1,0
Energieverwertung	42,1 ^b ± 1,2	33,7 ^a ± 3,2	46,3 ^c ± 1,4	40,3 ^a ± 1,7	46,1 ^b ± 0,9	46,5 ^b ± 0,8	38,8 ^a ± 1,5	48,5 ^b ± 1,3	49,1 ^b ± 0,8

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; PPW = produktiver Proteinwert; NPU = physiologischer Proteinnutzwert; *NMR = 240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-LAS = Mischung HM+ mit kalkulatorisch erst limitierender AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; ^{a-b}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches ($p < 0,05$).

Die dargestellten Ergebnisse der Proteinqualitätsparameter PPW und NPU ermöglichten zwar eine Evaluierung der Proteinqualität, unterliegen jedoch stark dem Einfluss der aufgenommenen N-Menge. Daher wurde zusätzlich eine Standardisierung der aufgenommenen N-Menge durch Anwendung des nichtlinearen N-Verwertungsmodells („Göttinger-Modell“) für den Parameter NPU vorgenommen. Durch diesen standardisierten physiologischen Proteinnutzwert (NPU_{std}) wurde die Betrachtung der Proteinqualität unabhängig von der Höhe der N-Aufnahme möglich. Dieser stellt das komplexeste Maß für den erzielten Effekt auf die Futterproteinqualität dar. Eine tabellarische Wiedergabe des Modellparameters „b“ und daraus abgeleiteten NPU_{std} kann der Anhangstabelle 8 entnommen werden.

In Abbildung 13 werden die Werte des NPU_{std} der unterschiedlichen Versuchsgruppen für die Wachstumsversuche I bis III einander grafisch gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass sich die Proteinqualität (b-Wert und NPU_{std}) der Kontrollgruppe in allen drei Wachstumsversuchen nicht voneinander unterscheiden und keine signifikanten Effekte zwischen Wachstumsversuch I bis III festgestellt werden konnten.

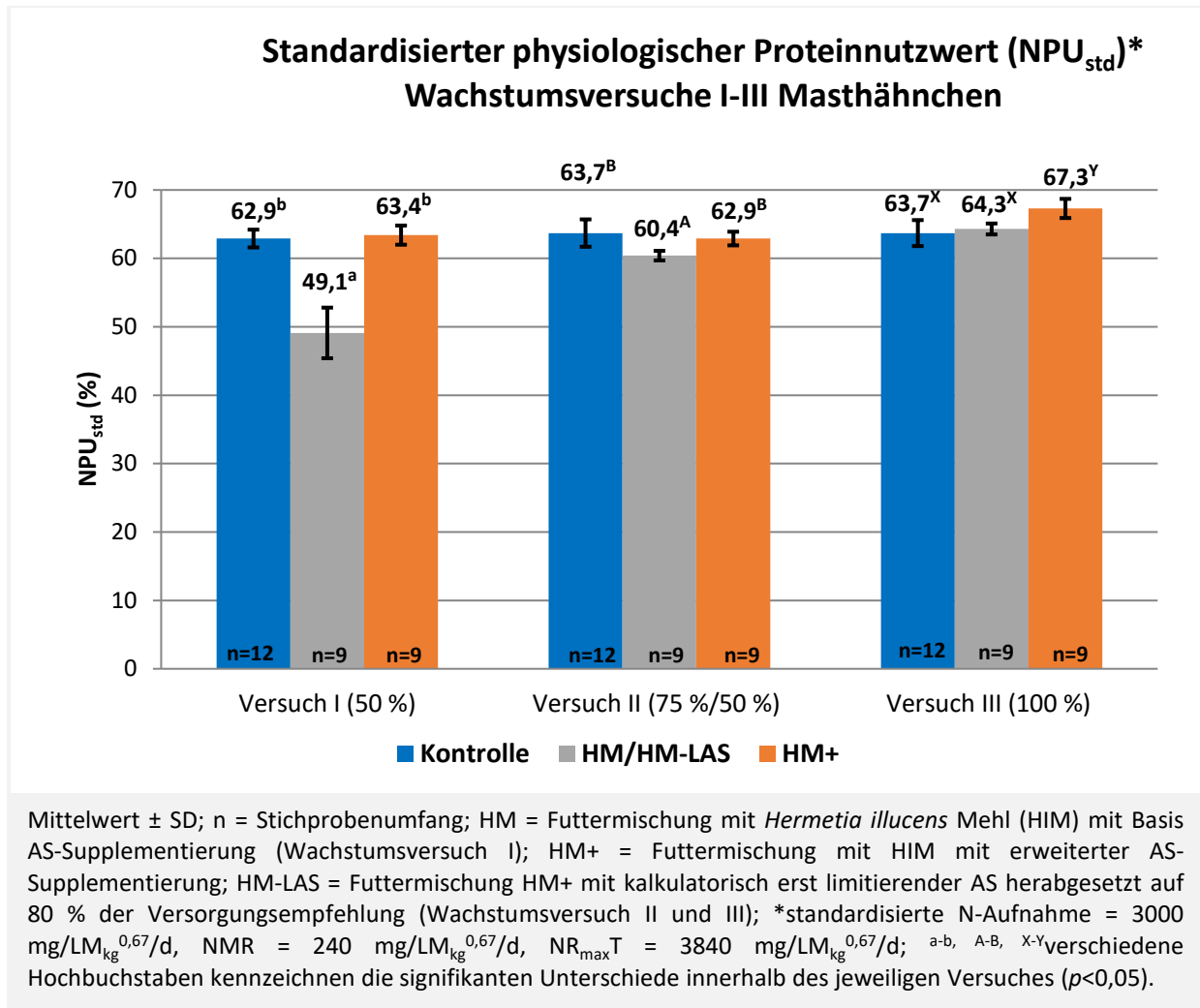


Abbildung 13: Vergleichende Darstellung des standardisierten physiologischen Proteinnutzwertes der Wachstumsversuche I bis III Masthähnchen

In Wachstumsversuch I zeigte sich, dass die Proteinqualität der Versuchsgruppe HM bei nicht bedarfsgerechter AS-Versorgung um 22 % signifikant geringer war als in der Kontrollgruppe. Im Gegensatz dazu, ergab der erweiterte Umfang der AS-Supplementierung in der Versuchsgruppe HM+ einen überlegenen NPU_{std}, der jedoch nicht signifikant höher war als der Wert in der Kontrollgruppe.

Auch in Wachstumsversuch II wurde kein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und Versuchsgruppe HM+ ermittelt. Die Futtermischung HM-LAS mit einem geringeren Gehalt an der erwarteten erstlimitierenden AS führte jedoch zu einer deutlich niedrigeren Proteinqualität. Dieses Ergebnis bestätigt, dass die erwartete LAS auch die tatsächliche LAS war. Diese Information war relevant für die weiteren Berechnungen mit dem "Göttinger Modell".

Für Wachstumsversuch III wurde eine signifikant erhöhte Proteinqualität ($p < 0,05$) mit $67,3 \pm 1,4$ % bei der Versuchsgruppe HM+ festgestellt. Dem gegenüber führte der reduzierte Gehalt an

Ergebnisse

Met in Mischung HM-LAS bei 100%iger Substitution von SES zu einer um 4,7 % geringeren Proteinqualität ($p < 0,05$), jedoch mit vergleichbarem Ergebnis wie in der Kontrollgruppe.

5.1.4 Scheinbare precaecale Verdaulichkeit

Die Ergebnisse der scheinbaren precaecalen XP- und AS-Verdaulichkeit aller untersuchten Futtermischungen der Wachstumsversuche I bis III sind nachfolgend in Tabelle 30 zusammengefasst. Einen Überblick über alle Versuchsgruppen gibt Anhangs-Tabelle 9.

Tabelle 30: Scheinbare precaecale Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeit (%) am Versuchsende der Wachstumsversuche I bis III der Masthähnchen

	Versuch I 50 % SES-Austausch		Versuch II 75 %/50 % SES-Austausch		Versuch III 100 % SES-Austausch	
	K	HM	K	HM-LAS	K	HM+
n	3 ¹	4	3 ²	3 ²	3 ³	3 ³
spcV, XP	75,2 ± 3,9	67,9 ± 3,2	76,8 ± 1,3	76,5 ± 1,9	75,8^a ± 0,9	78,5^b ± 1,1
spcV, Lys	82,3 ± 6,6	70,8 ± 3,0	79,3 ± 1,2	81,8 ± 1,8	76,9 ± 3,5	83,5 ± 1,6
spcV, Met	90,2 ± 3,7	85,0 ± 2,2	88,7 ± 0,9	87,8 ± 1,1	83,1 ^a ± 2,4	88,9 ^b ± 1,2
spcV, Met+Cys	82,6 ± 4,3	75,3 ± 2,6	82,0 ^b ± 1,2	77,3 ^a ± 2,2	74,1 ^a ± 1,0	81,8 ^b ± 1,3
spcV, Thr	73,2 ± 7,5	63,2 ± 5,0	70,5 ± 1,4	72,2 ± 2,8	62,6 ^a ± 1,4	74,4 ^b ± 1,6
spcV, Arg	85,1 ± 4,6	79,1 ± 2,9	81,4 ^a ± 1,6	86,3 ^b ± 1,6	79,2 ^a ± 0,4	86,7 ^b ± 7,7
spcV, His	82,9 ± 5,3	75,5 ± 2,2	79,4 ± 1,6	80,7 ± 1,7	77,3 ± 0,2	80,0 ± 1,6
spcV, Ile	81,0 ± 6,1	74,0 ± 2,6	77,1 ± 1,5	81,2 ± 2,4	73,5 ^a ± 0,8	83,7 ^b ± 1,5
spcV, Leu	81,4 ± 5,6	75,8 ± 2,3	77,6 ^a ± 1,9	82,4 ^b ± 1,8	74,1 ^a ± 0,8	82,7 ^b ± 1,7
spcV, Val	78,4 ± 6,7	72,4 ± 2,6	77,1 ^a ± 1,5	80,5 ^b ± 2,2	68,9 ^a ± 1,1	76,1 ^b ± 1,7

Mittelwert ± SD; spcV = scheinbare precaecale Verdaulichkeit; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-LAS = Mischung HM+ mit kalkulatorisch erst limitierender AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; Ausreißer wurden nach DIXON und MASSEY (1969) bestimmt: ¹für K $\alpha = 0,2$; ²für K und HM-LAS jeweils ein Ausreißer bei der Indikatorbestimmung im Chymus; ³für K und HM+ $\alpha = 0,05$; ^{a-b}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches ($p < 0,05$).

Bei 50%iger Substitution von SES durch HIM auf Basis des XP-Gehaltes (Wachstumsversuch I) zeigten sich bedingt durch hohe Standardabweichungen keine signifikanten Unterschiede für die scheinbare precaecalen XP- und AS-Verdaulichkeiten zwischen Versuchsgruppe K und HM. Allerdings zeigten die Ergebnisse der Kontrolltiere für die spcV von XP- und allen untersuchten AS tendenziell die höheren Werte.

Für Wachstumsversuch II wurden Werte der Verdaulichkeitsuntersuchungen für die Kontrollgruppe und die Versuchsgruppe HM-LAS, in welcher die kalkulatorisch erstlimitierende AS Met auf 80 % der Empfehlungen herabgesenkt wurde, ermittelt. Die Versuchsgruppe HM-LAS und die Kontrollgruppe erreichten mit jeweils $76,5 \pm 1,9$ % und $76,8 \pm 1,3$ % nahezu identische Werte für die spcV des XP. Für Lys, Met, Thr, His und Ile konnten ebenso keine signifikanten Unterschiede in der spcV festgestellt werden. Die spcV von Met+Cys war dagegen mit einem Wert von $82,0 \pm 1,2$ % in Versuchsgruppe HM-LAS signifikant höher als in der Kontrollgruppe ($77,3 \pm 2,2$ %). Diese signifikanten Unterschiede wurden auch für Arg, Leu und Val beobachtet.

In Wachstumsversuch III wurden Ergebnisse der Kontrollgruppe und Versuchsgruppe HM+ nach einer 100%igen SES-Substitution durch HIM ermittelt. Beide eingesetzten Futtermischungen wurden nach den Empfehlungen des IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) mit AS supplementiert. Für Versuchsgruppe HM+ ergaben sich sowohl für die spcV des XP als auch für die spcV nahezu aller AS mindestens tendenziell, oder sogar signifikant höhere Werte als für die Kontrollgruppe. Lediglich die spcV von Lys und His zeigten keine signifikanten Unterschiede.

5.2 Ergebnisse der N-Bilanzversuche I und II mit Masthähnchen

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der N-Bilanzversuche I und II mit Masthähnchen dargestellt.

5.2.1 N-Bilanzversuch I

Die wichtigsten Ergebnisse der N-Bilanzmessung sind in Tabelle 31 zusammengefasst. Eine vollständige Darstellung der Ergebnisse kann der Anhangs-Tabelle 10 entnommen werden.

In der Starter-Phase erreichte die Versuchsgruppe HM mit dem Basisumfang der AS-Supplementierung signifikant niedrigere Werte für LM und FI im Vergleich zur Kontrollgruppe. Dementsprechend wurde die signifikant niedrigste mittlere tägliche N-Bilanz ebenfalls für die Tiere der HM-Futtermischung ermittelt. Im Gegensatz dazu schien die erweiterte AS-Ergänzung in der Mischung HM+ zu einem Ausgleich der beobachteten LM- und FI-Depression der Mischung HM geführt zu haben, jedoch ohne signifikanten Unterschied zur Kontrollgruppe. Zusätzlich zeigte die erreichte N-Bilanz ebenfalls keine signifikanten Unterschiede. Im Allgemeinen erzielten Tiere der

Ergebnisse

ausbalancierten Futtermischung HM+ ähnliche Ergebnisse wie die Kontrollgruppe, obwohl die Versuchsgruppe HM+ im Vergleich zu der Kontrollgruppe überlegene, wenn auch nicht signifikant unterschiedliche Ergebnisse lieferte.

Während der Grower-Phase erzielten die Tiere der Futtermischung HM erneut deutlich niedrigere Werte für die LM und signifikant geringere FI im Vergleich zur Kontrollgruppe. Dementsprechend wurde die niedrigste tägliche N-Bilanz bei Fütterung der Futtermischung HM erzielt. Wie erwartet zeigte die erweiterte AS-Ergänzung in Versuchsgruppe HM+ signifikant verbesserte Werte für die mittlere FI und die entsprechende N-Aufnahme, die denen der Tiere der Kontrollgruppe ähnelten. Die Ergebnisse für die tägliche N-Bilanz reagierten dementsprechend, wobei die signifikant höchste tägliche N-Bilanz von der Kontrollgruppe erzielt wurde.

Tabelle 31: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen in der Starter- und Grower-Phase des N-Bilanzversuches I

	K	HM	HM+
Starter-Phase (LT 10 bis 20)			
n	14	14	14
Mittlere Lebendmasse (g)	407 ^b ± 124	201 ^a ± 53	417 ^b ± 134
Mittlere Futtermittelaufnahme (g/d)	49,1 ^b ± 13,1	21,9 ^a ± 8,8	52,0 ^b ± 13,6
N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	3572 ^b ± 277	2461 ^a ± 610	3884 ^b ± 277
N-Ausscheidung (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1108 ± 146	1099 ± 350	1333 ± 186
N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	2463 ^b ± 163	1361 ^a ± 308	2559 ^b ± 140
Grower-Phase (LT 25 bis 35)			
n	14	14	14
Mittlere Lebendmasse (g)	952 ± 228	762 ± 150	895 ± 173
Mittlere Futtermittelaufnahme (g/d)	93,7 ^b ± 19,7	66,6 ^a ± 16,3	81,3 ^b ± 15,5
N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	3473 ^b ± 245	2869 ^a ± 366	3310 ^b ± 273
N-Ausscheidung (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1220 ± 110	1299 ± 189	1298 ± 120
N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	2252 ^c ± 166	1569 ^a ± 212	2012 ^b ± 207

Mittelwert ± SD; n= Stichprobenumfang; K= Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; *NMR= 240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; a-c verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede der Parameter ($p < 0,05$).

Ergebnisse

Die abgeleiteten N-Verwertungskennzahlen PPW und NPU der Starter- und Grower-Phase für den Bilanzversuch I können Tabelle 32 entnommen werden. Die Ergebnisse für den berechneten standardisierten NPU der verschiedenen Versuchsfuttergruppen werden in Abbildung 14 wiedergegeben. Die tabellarische Darstellung aller Kennzahlen inklusive des Modellparameters „b“, zeigt Anhangs-Tabelle 11.

Die dargestellten N-Verwertungskennzahlen beider Altersphasen lieferten einen ähnlichen Trend wie bereits in Tabelle 31 beobachtet. Das heißt, die Basis-Supplementierung mit AS (Versuchsgruppe HM) war im Vergleich zu Versuchsgruppe HM+ und der Kontrollgruppe für alle dargestellten Parameter signifikant schlechter. Die Ergebnisse für den PPW- und NPU wurden durch die erweiterte AS-Supplementaion in Versuchsgruppe HM+ im Vergleich zu Versuchsgruppe HM signifikant verbessert. Die Fütterung der Kontrollfutmischung ergab die signifikant höchsten Ergebnisse für den PPW und NPU.

In der Grower-Phase konnten identische Rangierungen für die getesteten Futtermischungen ermittelt werden wie in der Starter-Phase. Versuchsgruppe HM erzielte in allen Parametern die signifikant niedrigsten Werte. Die erweiterte AS-Ergänzung in Versuchsgruppe HM+ führte zu signifikanten Verbesserungen. Erneut erreichte die Kontrollgruppe die signifikant höchsten Ergebnisse für den PPW und NPU.

Tabelle 32: Abgeleitete N-Verwertungskennzahlen der Starter- und Grower-Phase für N-Bilanzversuch I

	K	HM	HM+
Starter-Phase (LT 10 bis 20)			
n	14	14	14
PPW (%)	69,1 ^c ± 2,2	55,7 ^a ± 5,7	65,8 ^b ± 2,9
NPU (%) [*]	75,8 ^c ± 2,5	65,9 ^a ± 6,4	72,0 ^b ± 3,3
Grower-Phase (LT 25 bis 35)			
n	14	14	14
PPW (%)	64,9 ^c ± 1,8	54,7 ^a ± 2,7	60,7 ^b ± 2,7
NPU (%) [*]	71,8 ^c ± 1,9	63,2 ^a ± 2,9	68,0 ^b ± 2,6

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K= Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; PPW = produktiver Proteinwert; NPU = physiologischer Proteinnutzwert; NPU_{std} = standardisierter physiologischer Proteinnutzwert; *NMR = 240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; ^{a-c}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede der Parameter ($p < 0,05$).

Wie bereits erwähnt werden traditionelle Parameter der Proteinverwertung durch die Höhe der N-Aufnahme beeinflusst. Wird der NPU über eine festgesetzte FI standardisiert (NPU_{std}), werden die Ergebnisse der Vergleiche verändert (vgl. Abbildung 14). In der Starter-Phase erbrachte die Standardisierung des NPU, dass zwischen der Versuchsgruppe HM+ und der Kontrollgruppe, im Vergleich zum NPU, kein signifikanter Unterschied mehr beobachtet werden konnte (vgl. Tabelle 32, Abbildung 14). In der Grower-Phase hingegen erreichte Versuchsgruppe HM+ im Vergleich zur Kontrollgruppe eine signifikant niedrigere Proteinqualität, gemessen am NPU_{std} (Abbildung 14). Im Allgemeinen verbesserte eine erweiterte AS-Supplementierung (HM+) die Proteinqualität der Versuchsgruppe mit HIM signifikant.

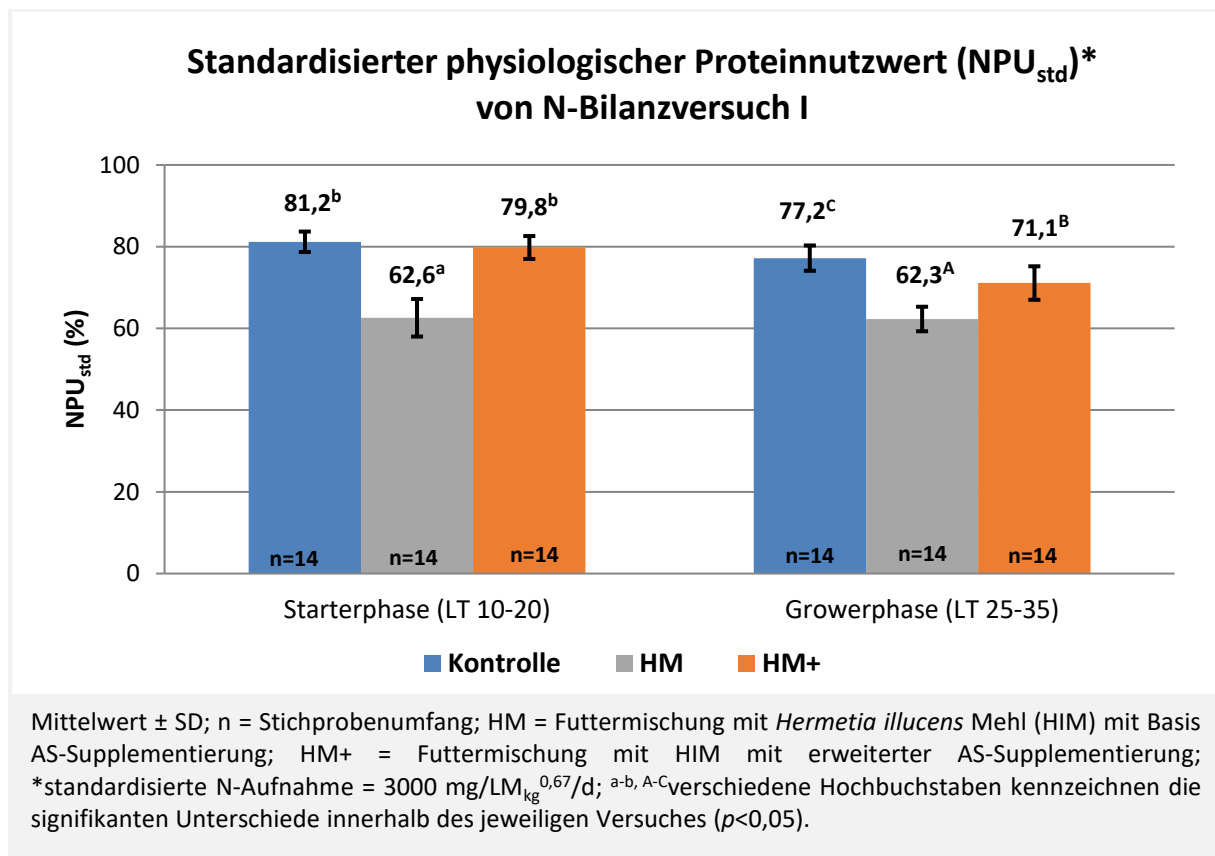


Abbildung 14: Mittlere Ergebnisse des standardisierten physiologischen Proteinnutzwertes der Starter- und Grower-Phase von N-Bilanzversuch I

5.2.2 N-Bilanzversuch II

Die Ergebnisse des Bilanzversuches II mit Masthähnchen werden im Folgenden für die Starter- und Grower-Phase zusammengefasst. Insgesamt wurden fünf Futtermischungen miteinander verglichen. Neben der Kontrolle gab es vier Mischungen mit 100%igem Austausch von SES gegen HIM. Mischung HM+ wurde wie auch die Kontrolle nach dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) mit AS ausbalanciert. In den drei verbleibenden Futtermischungen mit HIM wurde jeweils

der Gehalt der rechnerisch ermittelten LAS (Met+Cys, Agr und Lys) auf 80 % der Versorgungsempfehlungen herabgesenkt. Die Ergebnisse der N-Bilanzmessung werden in Tabelle 33 und die Ergebnisse der N-Verwertungskennzahlen in Tabelle 34 dargestellt. Der wichtigste Parameter der Proteinqualitätsbeurteilung, der NPU_{std} , wird in Abbildung 15 veranschaulicht wiedergegeben, während der Modellparameter „b“ und die tabellarische Darstellung des NPU_{std} Anhangs-Tabelle 12 entnommen werden können.

Während der Starter-Phase konnten keine signifikanten Unterschiede für die mittlere LM zwischen den Versuchsgruppen festgestellt werden. Darüber hinaus erreichten die Tiere der Futtermischung HM-Lys für die FI und entsprechend für die N-Aufnahme die signifikant niedrigsten Werte, während zwischen den anderen Gruppen keine signifikanten Unterschiede erkennbar waren. Für die N-Ausscheidung zeigten sich aufgrund teilweise hoher Standardabweichungen keine signifikanten Unterschiede. Allerdings hatten die Tiere der Futtermischungen HM-Met+Cys und HM-Lys tendenziell die niedrigsten N-Ausscheidungen. Bei der Betrachtung der N-Bilanz zeigte sich mit $1939 \pm 323 \text{ mg/LM}_{kg}^{0,67}/d$ ein um bis zu 24,9 % signifikant geringerer Wert für Versuchsgruppe HM-Lys im Vergleich zu den anderen Gruppen, welche vergleichbare Werte zueinander aufwiesen. Tendenziell konnte die höchste N-Bilanz für Versuchsgruppe HM-Met+Cys verzeichnet werden. Die Ergebnisse der N-Retention verhielten sich für alle Versuchsgruppen analog zu den Ergebnissen der N-Bilanz.

Für die Grower-Phase blieben die Ergebnisse der mittleren LM, wie auch in der Starter-Phase ohne signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen. Die signifikant höchste FI erreichte die Kontrollgruppe, während Versuchsgruppe HM+ und HM-Arg niedrigere Werte aufwiesen und sich nicht signifikant voneinander unterschieden. Mit $89 \pm 7 \text{ g/d}$ war die FI der Versuchsgruppe HM-Lys um 31,5 % signifikant geringer als die der Kontrollgruppe. Entsprechend wurde die höchste N-Aufnahme für die Kontrollgruppe ermittelt, ohne signifikanten Unterschied zu allen anderen Versuchsgruppen mit Ausnahme von HM-Lys. Für die N-Ausscheidungen zeigte sich der höchste Wert für Versuchsgruppe HM-Arg, während sich die übrigen Ergebnisse, ausgenommen der Kontrollgruppe, auf signifikant niedrigerem Niveau befanden. Konform der zuvor beschriebenen Ergebnisse konnte mit $2105 \pm 315 \text{ mg/LM}_{kg}^{0,67}/d$ für die Kontrollgruppe die höchste N-Bilanz errechnet werden, allerdings ausschließlich mit signifikantem Unterschied zur Versuchsgruppe HM-Lys ($1487 \pm 167 \text{ mg/LM}_{kg}^{0,67}/d$). Die Werte der N-Retention rangierten in gleicher Reihenfolge wie die der N-Bilanz. Das Ergebnis der Versuchsgruppe HM-Lys war mit $1727 \pm 167 \text{ mg/LM}_{kg}^{0,67}/d$ um 26 % geringer als die N-Retention-Ergebnisse der Kontrollgruppe ($p < 0,05$).

Ergebnisse

Tabelle 33: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen in der Starter- und Grower-Phase für Bilanzversuch II

	K	HM+	HM -Met+Cys	HM -Arg	HM -Lys
Starter-Phase (LT 10 bis 20)					
n	7 ¹	8	6 ²	8	8
Mittlere Lebendmasse (g)	548 ± 157	596 ± 163	545 ± 158	543 ± 144	420 ± 100
Mittlere Futtermittelaufnahme (g/d)	64 ^b ± 12	68 ^b ± 9	66 ^b ± 12	65 ^b ± 10	45 ^a ± 10
N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	3840 ^b ± 139	3898 ^b ± 298	3941 ^b ± 107	3811 ^b ± 220	3137 ^a ± 238
N-Ausscheidung (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1214 ± 85	1214 ± 143	1194 ± 66	1225 ± 84	1198 ± 198
N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	2626 ^b ± 63	2685 ^b ± 160	2747 ^b ± 81	2586 ^b ± 209	1939 ^a ± 323
N-Retention* (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	2866 ^b ± 63	2925 ^b ± 160	2987 ^b ± 81	2826 ^b ± 209	2179 ^a ± 323
Grower-Phase (LT 25 bis 35)					
n	8	7 ³	8	8	8
Mittlere Lebendmasse (g)	1728 ± 294	1597 ± 237	1410 ± 307	1552 ± 207	1420 ± 154
Mittlere Futtermittelaufnahme (g/d)	130 ^c ± 10	115 ^{bc} ± 13	102 ^{ab} ± 21	118 ^{bc} ± 11	89 ^a ± 7
N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	3256 ^b ± 335	3053 ^b ± 421	2930 ^{ab} ± 471	3116 ^b ± 270	2517 ^a ± 238
N-Ausscheidung (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1152 ^{ab} ± 81	1011 ^a ± 140	1085 ^a ± 124	1282 ^b ± 152	1030 ^a ± 130
N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	2105 ^b ± 315	2041 ^b ± 291	1845 ^{ab} ± 406	1843 ^{ab} ± 228	1487 ^a ± 167
N-Retention* (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	2345 ^b ± 315	2282 ^b ± 291	2085 ^{ab} ± 406	2074 ^{ab} ± 228	1727 ^a ± 167

Mittelwert ± SD; n= Stichprobenumfang; K= Kontrolle; HM+ = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-Met+Cys = Futtermischung HM+ mit Met+Cys herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; HM-Arg = Futtermischung HM+ mit Arg herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; HM-Lys = Futtermischung HM+ mit Lys herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; *NMR= 240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; Ausreißer wurden nach DIXON und MASSEY (1969) bestimmt: ¹für K: α = 0,005; ²für HM-Met+Cys: α = 0,2 und 0,002; ³für HM+ (Grower): α = 0,2; ^{a-c}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede der Parameter (p<0,05).

In Tabelle 34 werden die Ergebnisse der N-Verwertungskennzahlen PPW und NPU in der Starter- und Grower-Phase dargestellt. Während der Starter-Phase präsentierten sich die Ergebnisse für den PPW und NPU ohne signifikante Unterschiede und in identischer Rangierung zwischen den

Ergebnisse

untersuchten Versuchsgruppen. Tendenziell erreichte Versuchsgruppe HM-Met+Cys die höchsten und Versuchsgruppe HM-Lys mit vergleichsweise hoher Standardabweichung die niedrigsten Werte, sowohl für den PPW als auch NPU.

Im Vergleich dazu zeigten sich in der Grower-Phase deutlichere Unterschiede zwischen einigen Versuchsgruppen. Den höchsten Wert für den PPW erreichte Versuchsgruppe HM+ mit der erweiterten AS-Supplementierung, jedoch ohne signifikanten Unterschied sowohl zu der Kontrollgruppe als auch zu Versuchsgruppe HM-Met+Cys. Der signifikant kleinste PPW zeigte sich für Versuchsgruppe HM-Arg (58,8 ± 4,3 %) und HM-Lys (59,1 ± 3,6 %). Ein vergleichbarer Trend präsentierte sich ebenfalls für den NPU. Erneut erreichte Versuchsgruppe HM+ mit 74,9 ± 1,9 % das signifikant höchste Ergebnis, während Versuchsgruppe HM-Arg einen um 11 % signifikant niedrigeren Wert (66,5 ± 4,2 %) aufwies.

Tabelle 34: Abgeleitete N-Verwertungskennzahlen (PPW und NPU) der Starter- und Grower-Phase für N-Bilanzversuch II

	K	HM+	HM -Met+Cys	HM -Arg	HM -Lys
Starter-Phase (LT 10 bis 20)					
n	7 ¹	8	6 ²	8	8
PPW (%)	68,4 ± 1,2	69,0 ± 1,4	69,7 ± 1,3	67,8 ± 2,4	61,6 ± 7,2
NPU (%)*	74,7 ± 1,4	75,1 ± 1,8	75,8 ± 1,4	74,1 ± 2,2	69,3 ± 6,9
Grower-Phase (LT 25 bis 35)					
n	8	7 ³	8	8	8
PPW (%)	64,4 ^{ab} ± 3,7	66,9 ^b ± 1,4	62,4 ^{ab} ± 5,3	58,8 ^a ± 4,3	59,1 ^a ± 3,6
NPU (%)*	71,8 ^{bc} ± 3,1	74,9 ^c ± 1,9	70,8 ^{abc} ± 4,1	66,5 ^a ± 4,2	68,7 ^{ab} ± 3,6

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM+ = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-Met+Cys = Futtermischung HM+ mit Met+Cys herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; HM-Arg = Futtermischung HM+ mit Arg herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; HM-Lys = Futtermischung HM+ mit Lys herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; PPW = produktiver Proteinwert; NPU = physiologischer Proteinnutzwert; NPU_{std} = standardisierter physiologischer Proteinnutzwert; *NMR = 240 mg/LM_{kg}^{0,67/d}; Ausreißer wurden nach DIXON und MASSEY (1969) bestimmt: ¹für K: α = 0,005; ²für HM-Met+Cys: α = 0,2 und 0,002; ³für HM+ (Grower): α = 0,2; ^{a-c}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede der Parameter (p<0,05).

Bei Betrachtung der Ergebnisse des Proteinqualitätsparameters NPU_{std} (vgl. Abbildung 15), der einen Vergleich unabhängig von der Höhe der N-Aufnahme zulässt, zeigten sich in der Starter-Phase deutliche Unterschiede zu den Werten PPW und NPU, jedoch mit klaren Parallelen zu den Ergebnissen der N-Bilanz. Der signifikant niedrigste NPU_{std} wurde in Versuchsgruppe HM-Lys ermittelt, während alle weiteren Versuchsgruppen eine um 13,9 bis 17,5 % signifikant höhere

Proteinqualität aufwiesen.

In der Grower-Phase erbrachte die Standardisierung des NPU weitere Abstufungen zwischen den Versuchsgruppen ähnlich zu den Ergebnissen des PPW und NPU. Erneut erreicht die mit AS-ausbalancierte Versuchsgruppe HM+ den signifikant höchsten Wert. Die Limitierung von Lys und Arg (Versuchsgruppe HM-Lys und HM-Arg) führte zu signifikanten Einbußen in der Proteinqualität, wobei das Herabsetzen des Gehaltes an Met+Cys auf 80 % der Versorgungsempfehlungen keine signifikanten Unterschiede zu allen weiteren Versuchsgruppen ergab.

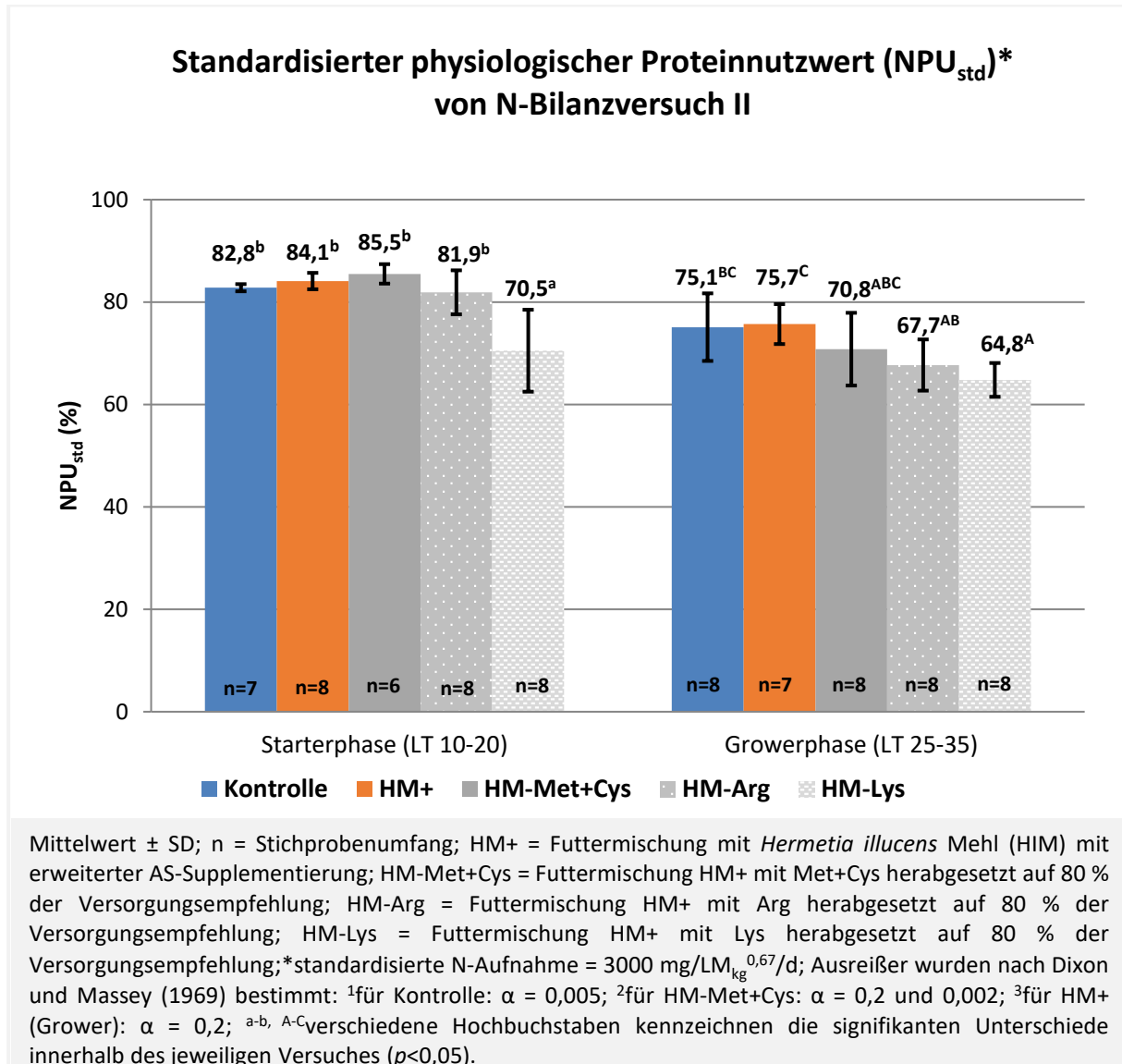


Abbildung 15: Mittlere Ergebnisse des standardisierten physiologischen Proteinnutzwertes der Starter- und Grower-Phase von N-Bilanzversuch II

5.3 Ergebnisse der Wachstumsversuche I und II mit Ferkeln

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der durchgeführten Wachstumsversuch I und II mit Ferkeln dargestellt. In Versuch I wurden 50 % und in Versuch II 75 % des eingesetzten SES auf Basis des XP-Gehaltes durch HIM substituiert.

5.3.1 Zootechnische- und Aufwandsparemeter

In Tabelle 35 werden die zootechnischen- und Aufwandsparemeter der Wachstumsversuche I und II zusammengefasst dargestellt. Anhangs-Tabelle 13 zeigt zusätzlich alle Ergebnisse auch vergleichend zu den Spirulina-Gruppen.

Für Wachstumsversuch I zeigten sich zwischen den Versuchsgruppen identische Werte für die erreichte End-LM, allerdings wurden bei der LMZ futtermischungsbezogene Unterschiede erkennbar. So erreichten die Ferkel der Kontrollgruppe mit $521,0 \pm 36,1$ g/d die höchste LMZ, jedoch ohne signifikanten Unterschied zu Versuchsgruppe HM+ ($508,6 \pm 32,0$ g/d) bei erweiterter AS-Supplementierung. Entsprechend die signifikant niedrigste LMZ ergab die Basis-Supplementierung mit AS (Versuchsgruppe HM). Auch wenn es bei der FI keine signifikanten Unterschiede zu verzeichnen gab, zeigte die Kontrollgruppe erneut die höchsten und Versuchsgruppe HM die niedrigsten Werte. Ein ähnlicher Trend konnte für den FA beobachtet werden. Der mit $1,47 \pm 0,10$ g/g höchste und damit schlechteste FA zeigte sich für Versuchsgruppe HM, wohingegen die Kontrollgruppe ($1,40 \pm 0,10$ g/g) und Versuchsgruppe HM+ ($1,39 \pm 0,05$ g/g) nahezu gleich hohe Werte erreichten. Im PA zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Beim EA führten dagegen die mit HIM angereicherten Versuchsgruppen zu den tendenziell höchsten Ergebnissen.

Die Ergebnisse von Wachstumsversuch II mit dem höheren Austauschniveau von SES durch HIM zeigten den gleichen Trend, dass die Basis-AS-Supplementierung in Versuchsgruppe HM zu schlechteren Ergebnissen führte. Auch wenn es keinen signifikanten Unterschied in der LMZ und FI gab, erreichten Versuchsgruppe HM+ sowie die Kontrollgruppe tendenziell höhere Ergebnisse im Vergleich zu Versuchsgruppe HM. Der kleinste FA ergab sich für Versuchsgruppe HM+ ($1,45 \pm 0,12$ g/g), gefolgt von der Kontrollgruppe ($1,48 \pm 0,17$ g/g), während Versuchsgruppe HM mit $1,52 \pm 0,15$ g/g den höchsten FA erbrachte. Der PA präsentierte sich identisch zu Wachstumsversuch II ohne Auffälligkeiten. Der EA war im Vergleich zur Kontrolle in den Insektengruppen erneut erhöht. Insgesamt fiel auf, dass die erweiterte AS-Supplementierung in der Versuchsgruppe HM+ sowohl bei 50%igem als auch bei 75%igen Austausch von SES durch HIM zu vergleichbaren Ergebnissen führte wie sie die Kontrollgruppe erreichte.

Tabelle 35: Zootechnische- und Aufwandparameter Wachstumsversuche I und II Ferkel

	Versuch I 50 % SES Austausch			Versuch II 75 % SES Austausch		
	K	HM	HM+	K	HM	HM+
n	8	8	7 ¹	8	7 ¹	8
Lebendmasse Beginn (kg)	8,8 ± 0,7	8,7 ± 1,2	9,2 ± 1,2	8,6 ± 1,0	8,3 ± 1,0	8,7 ± 0,6
Lebendmasse Ende (kg)	21,9 ± 1,5	19,7 ± 2,0	21,9 ± 1,9	17,9 ± 1,5	17,1 ± 1,3	18,0 ± 1,3
Lebendmasse- zunahme (g/d)	521,0 ^b ± 36,1	439,0 ^a ± 54,3	508,6 ^{ab} ± 32,0	444,0 ± 43,8	419,0 ± 41,5	444,0 ± 44,4
Futteraufnahme (g/d)	732,6 ± 49,6	646,1 ± 85,1	704,4 ± 36,8	651,9 ± 22,5	632,6 ± 40,7	641,2 ± 28,7
Futteraufwand (g/g)	1,40 ± 0,10	1,47 ± 0,10	1,39 ± 0,05	1,48 ± 0,17	1,52 ± 0,15	1,45 ± 0,12
Proteinaufwand (g/g)	0,31 ± 0,02	0,32 ± 0,02	0,30 ± 0,01	0,32 ± 0,04	0,33 ± 0,03	0,32 ± 0,03
Energieaufwand (kJ/g)	21,42 ± 1,52	23,87 ± 1,55	22,46 ± 0,86	22,53 ± 2,59	25,23 ± 2,56	24,13 ± 2,04

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; ¹Ausreißer in der Lebendmasse, bestimmt mit SPSS Boxplot ($p < 0,05$); ^{a-b}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches ($p < 0,05$).

5.3.2 Scheinbare precaecale Verdaulichkeit

Am Ende von Wachstumsversuch I und II wurden von jeweils 4 Tieren pro Versuchsgruppe zur Untersuchung der scheinbaren precaecalen XP- und AS-Verdaulichkeit Chymusproben entnommen. In Tabelle 36 werden die Ergebnisse der Kontrollgruppe und Versuchsgruppe HM, mit der Basis-AS-Supplementierung dargestellt. Eine Übersicht über alle Versuchsgruppen zeigt Anhangs-Tabelle 14.

In Wachstumsversuch I präsentierte sich für Versuchsgruppe HM eine tendenziell höhere spcV des XP als für die Kontrollgruppe. Für Wachstumsversuch II fiel dieser Unterschied sogar signifikant aus. Für die spcV aller ausgewählten AS zeigen die Ergebnisse der Versuchsgruppe HM im Vergleich zur Kontrollgruppe deutlich überlegene Werte. Für Thr und His konnten diese Unterschiede statistisch abgesichert werden, während für die weiteren AS aufgrund hoher Standardabweichungen bei den Ergebnissen der Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede entstanden. Ein vergleichbarer Trend zeigte sich auch für die spcV der AS bei höherem Austauschniveau von SES in der Versuchsgruppe HM in Wachstumsversuch II. Erneut ergaben sich für alle untersuchten AS der Kontrollgruppe geringere Verdaulichkeitswerte als für Versuchsgruppe HM. Signifikante Unterschiede präsentierten sich dabei für die spcV von Met, Met+Cys, Thr, Ile, Leu und

Ergebnisse

Val. Die spcV von Thr lag bei Versuchsgruppe HM um 20 % signifikant höher als bei der Kontrollgruppe.

Tabelle 36: Scheinbare precaecale Protein- und Aminosäurenverdaulichkeit der Ferkel (25 kg LM) bestimmt am Ende von Wachstumsversuch I und II

	Versuch I 50 % SES-Austausch		Versuch II 75 % SES-Austausch	
	K	HM	K	HM
n	3 ¹	4	2 ²	3 ³
spcV, XP (%)	69,9 ± 10,9	79,3 ± 1,8	69,3^a ± 1,1	77,2^b ± 2,8
spcV, Lys (%)	80,2 ± 6,0	89,4 ± 2,4	78,7 ± 1,8	83,8 ± 1,6
spcV, Met (%)	79,7 ± 9,2	89,5 ± 1,6	82,1 ^a ± 3,1	87,9 ^b ± 1,5
spcV, Met+Cys (%)	73,2 ± 7,1	84,7 ± 3,1	72,1 ^a ± 0,9	82,8 ^b ± 2,5
spcV, Thr (%)	70,7 ^a ± 7,2	84,6 ^b ± 4,1	63,9 ^a ± 5,8	80,3 ^b ± 2,9
spcV, Arg (%)	79,4 ± 9,6	87,4 ± 1,9	79,9 ± 1,3	85,3 ± 1,4
spcV, His (%)	75,1 ^a ± 9,7	87,4 ^b ± 1,9	76,3 ± 0,6	82,2 ± 1,6
spcV, Ile (%)	74,4 ± 8,9	86,3 ± 2,7	73,5 ^a ± 0,3	82,6 ^b ± 2,0
spcV, Leu (%)	73,3 ± 9,8	85,5 ± 2,7	73,9 ^a ± 0,3	83,3 ^b ± 1,9
spcV, Val (%)	69,5 ± 10,8	85,3 ± 2,7	71,6 ^a ± 1,9	82,7 ^b ± 1,6

Mittelwert ± SD; spcV = scheinbare precaecale Verdaulichkeit; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl mit Basis-AS-Supplementierung; ¹Ausreißer bei der Indikatorbestimmung im Chymus; ²zwei Proben mussten aufgrund zu geringer Analysemenge verworfen werden; ³ Ausreißer bei der Indikatorbestimmung im Chymus; ^{a-b}verschiedene Hochbuchstaben kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches ($p < 0,05$).

5.4 Ergebnisse der Wachstumsversuche I und II mit Mastschweinen

In Tabelle 37 werden die zootechnischen- und Aufwandsparemeter der Mastschweineversuche I und II zusammengefasst (vgl. Anhangs-Tabelle 15). Vergleichbar zu den Wachstumsversuchen mit Ferkeln wurden auch bei den Mastschweinen in Wachstumsversuch I 50 % und in Wachstumsversuch II 75 % des SES auf Basis des XP-Gehaltes durch HIM substituiert. Neben der Kontrollgruppe werden Ergebnisse der Versuchsgruppe HM+ mit erweiterten AS-Supplementierung präsentiert.

Ergebnisse

Der Wachstumsversuch I erstreckte sich über eine Versuchsdauer von 56 Tagen, wobei sich für die zootechnischen Parameter keine Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen ergaben. Allerdings zeigte sich für die LMZ mit $999,5 \pm 38,4$ g/d ein tendenziell höherer Wert für Versuchsgruppe HM+ im Vergleich zur Kontrollgruppe ($966,5 \pm 55,5$ g/d), während die FI für beide Versuchsgruppen nahezu identisch war. Entsprechend erreichte Versuchsgruppe HM+ einen niedrigeren FA als die Kontrollgruppe. Beim PA erreichten beide Versuchsgruppen ein vergleichbares Niveau und auch beim EA waren keine signifikanten Unterschiede erkennbar, auch wenn das Ergebnis für Versuchsgruppe HM+ tendenziell höher lag als für die Kontrollgruppe.

Nach einer Mastdauer von 49 Tagen in Wachstumsversuch II präsentierten sich für die Kontrollgruppe und Versuchsgruppe HM+ nahezu identische Ergebnisse für die zootechnischen Parameter sowie den FA und PA. Erneut zeigte sich für den EA ein höherer Wert bei Versuchsgruppe HM+ ($p < 0,05$).

Insgesamt fiel auf, dass Versuchsgruppe HM+ bei beiden Austauschniveaus von SES vergleichbare oder bessere Ergebnisse erzielte als die Kontrollgruppe.

Tabelle 37: Zootechnische- und Aufwandparameter Wachstumsversuche I und II Mastschweine (25 bis 75 kg LM)

	Versuch I 50 % SES-Austausch		Versuch II 75 % SES-Austausch	
	K	HM+	K	HM+
n	8	7 ¹	8	8
Lebendmasse Beginn (kg)	22,6 ± 2,3	22,9 ± 2,0	22,4 ± 1,5	22,3 ± 1,2
Lebendmasse Ende (kg)	76,8 ± 3,9	78,9 ± 3,3	70,6 ± 2,2	70,9 ± 2,6
Lebendmassezunahme (g/d)	966,5 ± 55,5	999,5 ± 38,4	982,1 ± 17,9	933,6 ± 45,3
Futteraufnahme (g/d)	1762,6 ± 39,1	1775,0 ± 27,6	1746,8 ± 14,7	1767,8 ± 89,5
Futteraufwand (g/g)	1,83 ± 0,08	1,78 ± 0,07	1,78 ± 0,03	1,78 ± 0,08
Proteinaufwand (g/g)	0,35 ± 0,01	0,34 ± 0,01	0,34 ± 0,01	0,34 ± 0,01
Energieaufwand (kJ/g)	27,87 ± 1,16	28,36 ± 1,12	27,13 ^a ± 0,52	28,92 ^b ± 1,22

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM+ = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl mit erweiterter AS-Supplementierung; ¹Ausreißer in der Lebendmasse, bestimmt mit SPSS Boxplot ($p < 0,05$); ^{a-b}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches ($p < 0,05$).

5.5 Ergebnisse des N-Bilanzversuches I mit Ferkeln und Mastschweinen

Die relevanten Ergebnisse des N-Bilanzversuches I mit Ferkeln und Mastschweinen werden nacheinander dargestellt (Tabelle 38 und Tabelle 39). Eine vollständige Darstellung der Versuchsergebnisse kann der Anhangs-Tabelle 16 und Anhangs-Tabelle 17 entnommen werden. In den Versuchsgruppen wurden jeweils 100 % des SES durch HIM substituiert. Analog zu den Wachstumsversuchen wurde eine Versuchsgruppe mit Basis-AS-Supplementierung (Mischung HM) sowie eine weitere Versuchsgruppe mit erweiterter AS-Supplementierung (Mischung HM+) konzipiert.

Tabelle 38: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen und N-Verwertungskennzahlen mit Ferkeln (25 kg LM) in Bilanzversuch I

	Ferkel (25 kg LM)	
	HM	HM+
n	7 ¹	8
Mittlere Lebendmasse (g)	25,7 ± 2,5	26,5 ± 2,2
Mittlere Futtermittelaufnahme (g/d)	944 ± 103	935 ± 86
N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	3675 ± 179	3645 ± 226
N-Ausscheidung Kot (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	717 ± 60	620 ± 94
N-Ausscheidung Harn (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1087 ^b ± 118	843 ^a ± 155
N-Ausscheidung Gesamt (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1805 ^b ± 108	1463 ^a ± 146
N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1870 ± 121	2182 ± 325
Scheinbare N-Verdaulichkeit (%)	80,5 ± 1,8	82,9 ± 3,2
b-Wert (x10 ⁶)*	184 ^a ± 8	225 ^b ± 30
NPU_{std} (%)**	63,6^a ± 2,1	72,8^b ± 6,7

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; NPU_{std} = standardisierter physiologischer Proteinnutzwert; *verwendete Modellparameter: Ferkel: NMR = 433 mg/LM_{kg}^{0,67}/d, NR_{maxT} = 4697 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; **standardisierte N-Aufnahme Ferkel = 3500 mg/LM_{kg}^{0,67}/d, ¹Ausreißer ($\alpha = 0,05$) nach DIXON und MASSEY (1969); ^{a-b}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$).

Bei den Ergebnissen der Ferkel-N-Bilanzversuche (vgl. Tabelle 38) wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den zwei Versuchsgruppen für die mittlere LM, FI und N-Aufnahme beobachtet. Die Kot-N-Ausscheidung war bei den Tieren der Versuchsgruppe HM mit 717 ± 60 mg/LM_{kg}^{0,67}/d, im Vergleich zu Versuchsgruppe HM+ (620 ± 94 mg/LM_{kg}^{0,67}/d) erhöht. Eine signifikant höhere Harn-N-Ausscheidung und Gesamt-N-Ausscheidung wurde ebenfalls für Versuchsgruppe HM beobachtet, die keine erweiterte AS-Supplementierung erhalten hatte. Die

Ergebnisse

höchste tägliche N-Bilanz ($2182 \pm 325 \text{ mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$) zeigte sich für Versuchsgruppe HM+, sie unterschied sich jedoch nur numerisch von Versuchsgruppe HM. Auf die gleiche Weise erreichte Versuchsgruppe HM+ mit $82,9 \pm 3,2 \%$ einen tendenziell höheren Wert für die scheinbare N-Verdaulichkeit. Im Vergleich zu Versuchsgruppe HM erzielte die erweiterte AS-Supplementierung in Gruppe HM+ einen signifikant höheren NPU_{std} .

Tabelle 39: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen und N-Verwertungskennzahlen mit Mastschweinen (60 kg LM) in N-Bilanzversuch I

	Mastschweine (60 kg LM)	
	HM	HM+
n	8	8
Mittlere Lebendmasse (g)	$60,5 \pm 4,8$	$61,8 \pm 3,2$
Mittlere Futtermittelaufnahme (g/d)	2064 ± 186	2109 ± 188
N-Aufnahme ($\text{mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$)	3769 ± 252	3850 ± 238
N-Ausscheidung Kot ($\text{mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$)	604 ± 79	586 ± 69
N-Ausscheidung Harn ($\text{mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$)	1447 ± 199	1210 ± 231
N-Ausscheidung Gesamt ($\text{mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$)	2052 ± 241	1796 ± 239
N-Bilanz ($\text{mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$)	1718 ± 241	2054 ± 272
Scheinbare N-Verdaulichkeit (%)	$84,0 \pm 1,5$	$84,8 \pm 1,5$
b-Wert ($\times 10^6$)*	307 ± 55	424 ± 116
NPU_{std} (%)**	$55,7 \pm 5,6$	$64,1 \pm 6,6$

Mittelwert \pm SD; n = Stichprobenumfang; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+ = Futtermischung mit HIM mit erweiterter AS-Supplementierung; NPU_{std} = standardisierter physiologischer Proteinnutzwert; *verwendete Modellparameter: Mastschweine: $\text{NMR} = 388 \text{ mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$, $\text{NR}_{\text{maxT}} = 3104 \text{ mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$; **standardisierte N-Aufnahme Mastschweine = $3800 \text{ mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$

Generell zeigen die Ergebnisse der N-Bilanz-Versuche mit Mastschweinen (vgl. Tabelle 39), dass die Futtermischung mit der Basis-AS-Supplementierung (HM) zu schlechteren Werten führte als HM+ mit erweiterter AS-Supplementierung (HM+), es jedoch keine signifikanten Unterschiede gab. Die Harn-N- und Gesamt-N-Ausscheidung nach Fütterung der Futtermischung HM fiel deutlich höher aus als nach Fütterung der Futtermischung HM+. Die N-Bilanz der Versuchsgruppe HM+ war mit $2054 \pm 272 \text{ mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$ entsprechend höher als bei Versuchsgruppe HM ($1718 \pm 241 \text{ mg/LM}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{d}$). Die scheinbare N-Verdaulichkeit zeigte sich für beide Versuchsgruppen identisch. Bei näherer Betrachtung des NPU_{std} wurde, wie auch bei den Ferkeln, eine verbesserte Proteinqualität bei Versuchsgruppe HM+ festgestellt.

6 Diskussion

Nach Darstellung der Untersuchungsergebnisse erfolgt nun unter Einbeziehung bekannter Ergebnisse aus der Literatur eine Einordnung der Befunde des 50 bis 100%igen Austauschs von SES durch HIM in Futtermischungen für Masthähnchen und -schweine. Die Parameter der Wachstums- und N-Bilanzversuche werden getrennt und tierartspezifisch betrachtet. Anschließend folgt eine übergreifende Diskussion zu Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der HI-Larven als Proteinquelle in der Tierernährung.

6.1 Wachstumsversuche Masthähnchen

Mit den durchgeführten Wachstumsversuchen sollte der Einfluss von HIM bei gleichzeitiger AS-Supplementierung in unterschiedlicher auf die Mastleistung und Verwertungsparameter sowie Ganzkörperzusammensetzung und die daraus abgeleiteten Ansatzparameter, Proteinqualität und spcV untersucht werden. Der Einsatz der freien AS diente u. a. dazu, das Leistungspotential der Masthähnchen optimal auszuschöpfen und Grenzen des SES-Austausches gegen HIM zu ermitteln. Die 50 bis 100%igen Austauschraten von SES durch HIM entsprachen in der Starterphase für die Versuche I bis III jeweils einem Einsatz von ca. 15 %, 22 % und 25 % HIM in der Gesamtfuttermischung. In der Grower-Phase lag der Einsatz für Wachstumsversuch I und II (50%iger Austausch) bei ca. 12 % der Gesamtfuttermischung, während in Wachstumsversuch III 21 % der Gesamtfuttermischung aus HIM bestand.

6.1.1 Zootechnische- und Aufwandsparemeter

Die Wirkung von gestaffelten Austauschraten des SES durch HIM bei unterschiedlicher AS-Supplementierung auf die zootechnischen Daten zeigte deutlich, dass eine erweiterte AS-Supplementierung gemäß dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) in Versuchsgruppe HM+ zu einer überlegenen LM-Entwicklung und einem verbessertem FA führte. In Wachstumsversuch I und III brachte diese AS-Supplementierung zudem signifikant bessere Werte als für die Kontrollgruppe.

Übereinstimmend untersuchten OLUOKUN (2000, zitiert durch SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2016) den Einsatz von HI-Mehl im Vergleich zu vollfetter Sojabohnenmehl und beobachteten ebenfalls höhere Wachstumsraten für die HI-Futtermischung. Zudem ergaben die Untersuchungen vergleichbare Werte für FI und FA im Vergleich zu einer auf Fischmehl basierenden Kontrollgruppe. Zu einem ähnlichen Ergebnis führten Experimente von COCKCROFT (2018). Der Einsatz von 15 % eines extrudierten HIM anstelle von Soja (vollfette Sojabohnen und Sojabohnenkuchen) erbrachte signifikant überlegene Ergebnisse für LMZ und FA. Obwohl die Futtermischungen nicht genau denen in dieser Arbeit entsprachen, berichteten ELWERT *et al.* (2010) über ähnliche Wachstumsreaktionen von Masthähnchen (LT 1 bis 10) bei Fütterung einer Fischmehl-Kontrollfuttermischung und einer experimentellen Futtermischung mit geringer Einsatzhöhe von HIM (4,7 %, kombiniert mit einer Supplementierung von Lys und Met).

Eine andere Studie von DABBOU *et al.* (2018) erhob Daten für die Ergänzung von 0 bis 15 % HIM in Futtermischungen für Masthähnchen. Während der Starter-Phase (LT 1 bis 10) wurde die LM und FI bei einer Zugabe von 10 % HIM im Vergleich zur SES-Kontrollgruppe positiv beeinflusst, wohingegen eine gesteigerte Einsatzmenge (15 % in der Gesamtfuttermischung) insbesondere in der Grower-Phase einen negativen Einfluss auf LM, FI und FA erbrachte. Auch in den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit zeigte sich während der Grower-Phase eine signifikant geringere FI für die Versuchsgruppe HM+ bei dem höchsten Austauschniveau (Wachstumsversuch III) von SES durch HIM, allerdings ohne negativen Einfluss auf die FA. Die Studie von MOHAMMED *et al.* (2017) zeigte hingegen keine signifikanten Unterschiede bei Masthähnchen in der Grower-Phase (Woche 3 bis 8) für FI, LMZ und FA bei einem 33%igen Austausch von Fischmehl mit HIM, was jedoch nur einer Einsatzhöhe von 4 % der Gesamtfuttermischung entsprach. Auch UUSHONA (2015) stellte ebenfalls keine Unterschiede für LMZ und FA bei Masthähnchen (LT 1 bis 36) fest, als er getrocknetes HI-Präpuppenmehl mit bis zu 15 % der Gesamtfuttermischung anstelle von SES einsetzte.

CULLERE *et al.* (2016) führten einen Akzeptanztest durch, bei welchem Mastwachteln (LT 43 bis 53) zwischen einer SES-basierten Kontrollfuttermischung und einer Mischung, die zu 15 % aus HI-Mehl bestand, frei wählen konnten. In den 10 Testtagen präferierten die Wachteln tendenziell die Futtermischung mit HIM. Die Ergebnisse konnten von zwei weiteren Studien an Masthähnchen bestätigt werden, in denen Insektenmehl aus Mehlwürmern (*Tenebrio molitor*) im Vergleich zu einer SES-Kontrollfuttermischung angeboten wurde (BOVERA *et al.*, 2015; BIASATO *et al.*, 2016). Die teilweise beobachtete Reduzierung der FI bei höheren Einsatzmengen von HIM kann demzufolge nur sehr unwahrscheinlich durch Akzeptanzprobleme des Larvenmehls in den Futtermischungen hervorgerufen worden sein. DABBOU *et al.* (2018) vermuteten, dass der steigende Chitingehalt bei steigender Einsatzhöhe von HI in den Futtermischungen zu der rückläufigen FI führte. Dass Chitin für monogastrische Nutztiere nicht verdaulich sei (SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2014) und zudem die Proteinverdaulichkeit negativ beeinflussen könnte (LONGVAH *et al.*, 2011), stellte ihre Begründung dar. Auch MUZZARELLI (1977) beobachtete, dass Chitin in Futtermischungen die FI von Masthähnchen negativ beeinflussen kann. Eine gänzliche Unverdaulichkeit von Chitin in Masthähnchen widerlegen hingegen Studien u.a. von SUZUKI *et al.* (2002), KOH und IWAMAE (2013) sowie TABATA *et al.* (2017), in denen chitinspaltende Enzyme im Gastrointestinaltrakt von Masthähnchen nachgewiesen werden konnten. Allerdings wurde die Enzymaktivität nicht durch die anfallenden Chitingehalte gesteuert (KOH und IWAMAE, 2013) und das Vorhandensein dieser Enzyme lässt keine Aussagen zur Höhe der Verdaulichkeit des Chitins zu (VAN HUIS, 2013).

Insgesamt kann die Variabilität der Ergebnisse zwischen den verschiedenen Studien auch mit den variierenden Zusammensetzungen der verwendeten HI-Mehle zusammenhängen, welche durch die Entwicklungsstadien (CALVERT und MARTIN, 1969; INAOKA *et al.*, 1999; NEWTON *et al.*,

2005a; ANIEBO *et al.*, 2008), die verwendeten Futtersubstrate zur Insektenaufzucht (NEWTON *et al.*, 1977) sowie unterschiedliche Verarbeitungsstufen (FASAKIN *et al.*, 2003; KORTELAJINEN *et al.*, 2014; MAKKAR *et al.*; 2014, SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2014) entstehen.

Bei dem Vergleich der Versuchsergebnisse mit den Ziel-Werten für männliche Masthähnchen der Genetik Ross-308 (AVIAGEN, 2014b) zeigte sich deutlich, dass die Kontrollgruppe in Wachstumsversuch I und III den Ziel-Wert für die LM (2179 g) nach 34 Masttagen jeweils optimal erfüllte (2173 g und 2177 g) und in Wachstumsversuch II (Ziel-Wert nach 35 Masttagen: 2283 g) mit 2367 g sogar übertraf. In allen Wachstumsversuchen zeigte die Kontrollgruppe einen effizienteren FA, als von AVIAGEN (2014b) nach 34 Masttagen mit 1,52 g/g und nach 35 Masttagen mit 1,54 g/g prognostiziert war. Diese Beobachtung lässt darauf schließen, dass die SES-Futtermischung eine geeignete Kontrollgruppe darstellte. Zudem wurde bei dem Vergleich deutlich, dass die AS-Supplementierung gemäß dem IAAR (Mischung HM+) für die Genetik Ross 308 zu einer gewünschten LM (Wachstumsversuch II) oder deutlich überlegenen LM (Wachstumsversuch I und III) führte und darüber hinaus in Wachstumsversuch I bis III einen bedeutend effizienteren FA (1,25 bis 1,29 g/g) bewirkte.

Die überlegenen Leistungen in der vorliegenden Arbeit wurden bei erweitertem Umfang der AS-Supplementierung beobachtet. Die Basis-AS-Supplementierung in Wachstumsversuch I (Mischung HM), die der Kontrollfuttermischung entsprach, erwies sich jedoch als unzureichend für eine akzeptable LMZ, FI und FA bei Masthähnchen. So konnten in Mischung HM durch die Basis-AS-Supplementierung mit Lys und Met nicht die empfohlenen Werte für IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) für Masthähnchen erreicht werden. Während in der Starter-Phase die Versorgungsempfehlung für Lys zu 98 % gedeckt wurden, zeigte sich insbesondere für Met+Cys (88 % der Empfehlung) sowie Arg (91 % der Empfehlung) eine Unterversorgung. In der Grower-Phase deckte die Versorgung mit Lys sowie mit Met+Cys ca. 98 % und Arg 96 % der Versorgungsempfehlungen ab. Demnach entsprach die Zusammensetzung der Futtermischung HM insbesondere in der Starter-Phase nicht dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) bzw. den Anforderungen an das AS-Bedarfsmuster eines Masthähnchens.

Die Wachstumsleistung eines Tieres unterliegt unter anderem stark der FI. Dabei ist die FI von verschiedenen Regulationsmechanismen abhängig, die über den Verdauungstrakt, den Intermediärstoffwechsel, das Zentralnervensystem und insbesondere im Hypothalamus gesteuert werden (RICHARDS, 2003). Zahlreiche Untersuchungen haben bestätigt, dass Tiere die Fähigkeit haben, starke AS-Imbalancen (sowohl starke Über- als auch Unterversorgung) im Futter zu detektieren und, sofern notwendig, die FI zu adaptieren (LESHNER, 1972; DI BATTISTA, 1987; HAO *et al.*, 2005; GIETZEN und ROGERS, 2006; GIETZEN *et al.*, 2007). Dementsprechend konnte nachgewiesen werden, dass AS-Imbalancen die FI negativ beeinflussen können (HOUPPT und HOUPPT, 1991; FORBES und SHARIATMADARI, 1994). Die schlechtere FI in Versuchsgruppe HM, verbunden

mit einer geringeren LM und ineffizienteren FA, können daher mit der unzureichenden AS-Versorgung begründet werden. Die Basis-AS-Supplementierung der Versuchsgruppe HM, welche der Kontrollgruppe gleich, reichte nicht aus, um vergleichbare zootechnische Leistungen zu erzeugen. Diese Beobachtungen zeigten, dass ein erweitertes Maß an AS-Supplementierung gemäß dem angenommenen IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) erforderlich ist, um eine erhöhte Wachstumsreaktion (Versuchsgruppe HM+) zu erreichen.

In Wachstumsversuch II und III kam zusätzlich in der Starter- und Grower-Phase eine Futtermischung zum Einsatz, in der die jeweils kalkulatorisch ermittelte erstlimitierende AS auf 80 % der Versorgungsempfehlung herabgesenkt wurde (HM-LAS). Diese Absenkung verfolgte das Ziel, die Wichtigkeit einer ausgeglichenen AS-Supplementierung zu verdeutlichen und zusätzlich unter Anwendung des N-Verwertungsmodells Messungen zur AS-Wirksamkeit zu ermöglichen. In Wachstumsversuch II wurde für Futtermischung HM-LAS die Met-Konzentration und in Wachstumsversuch III die Konzentration an Met+Cys entsprechend herabgesenkt. Die Wirksamkeit von Futter-AS für Erhaltung und Proteinansatz wird grundsätzlich durch den Umfang der Freisetzung aus dem Proteinverband, der Resorption und der intermediären Verwertung festgesetzt (LIEBERT, 1986 zitiert durch WESSELING, 2004). Die Ableitung der Protein- und AS-Verwertung basiert auf der Relation zwischen der Aufnahmemenge an LAS und N-Retention wachsender Tiere (GEBHARDT, 1980; LIEBERT und GEBHARDT 1980). Für eine Bedarfsableitung der zu untersuchenden AS über das N-Verwertungsmodell ist es eine Grundvoraussetzung, dass die zu betrachtende AS im Limitierungsbereich vorliegt, um eine Überschätzung des Bedarfes zu vermeiden. Daher wird für die zu untersuchende AS in der Regel ein AS-Gehalt in der Futtermischung gewählt, der etwa 80 % des empfohlenen Bedarfes entspricht (PASTOR, 2014). Ein Vergleich der Met+Cys-Konzentration der Futtermischung HM-LAS in Wachstumsversuch II und III mit den Versorgungsempfehlungen zeigte, dass die kalkulatorisch ermittelte erstlimitierte AS erfolgreich auf 80 % der Versorgungsempfehlungen abgesenkt werden konnte.

Die Verfügbarkeit von Met+Cys als schwefelhaltige AS ist für mehrere wichtige Stoffwechselwege wie u. a. die Proteinsynthese, Transsulfurierung und Methylierung von DNA entscheidend (BROSNAN und BROSNAN, 2006; BUNCHASAK, 2009; JANKOWSKI *et al.*, 2014; BREDE *et al.*, 2018b). Eine Synthese von Cys ist grundsätzlich aus dem Abbau von Met möglich, wobei eine Umkehrung der Reaktionsschritte im tierischen Organismus ausgeschlossen ist. Daher wird nur Met als unentbehrlich angesehen (OHTA und ISHIBASHI, 1994). Aufgrund dessen, dass der Bedarf an Cys durch einen Überschuss an Met gedeckt werden kann, wird er häufig als Summe beider AS ausgewiesen (z. B. LUMPKINS *et al.*, 2007; FARKE, 2011). Allerdings stehen für das ideale Verhältnis von Met : Cys keine einheitlichen Angaben zur Verfügung (z. B. BAKER *et al.*, 1996; KHAN *et al.*, 2015; SÜNDER *et al.*, 2015; BREDE *et al.*, 2018a). Während die Federn der Masthähnchen insbesondere einen hohen Cys-Gehalt aufweisen (GFE, 1999; Wecke *et al.*, 2018a), ist Met unentbehrlich für

den Muskelansatz (VIEIRA *et al.*, 2004; CONDE-AGUILERA *et al.*, 2013, 2016). Entsprechend bedeutend sind diese AS für das Wachstum sowie die Entwicklung der Federn der Tiere. Bei einem Defizit an Met oder Cys in der Geflügelfuttermischung kann es folglich zu einer Reihe von signifikant negativen Einflüssen auf die zootecnischen Parameter wie LMZ, FI, FA sowie einer Veränderung der Schlachtkörperqualität kommen (LECLERCQ *et al.*, 1993; DILGER und BAKER, 2008; CONDE-AGUILERA *et al.*, 2013, 2016; JANKOWSKI *et al.*, 2014). Die dadurch zu erwartenden Verschlechterungen der LMZ, FI, und FA für Versuchsgruppe HM-LAS konnten jedoch weder in der Starter- noch in der Grower-Phase in Wachstumsversuch II und III beobachtet werden.

In Wachstumsversuch II erreichte Versuchsgruppe HM-LAS in beiden Wachstumsphasen leistungsstarke Ergebnisse für alle zootecnischen Parameter ohne signifikanten Unterschied zur Kontrollgruppe. Auch in Wachstumsversuch III zeigten sich für die FI in der Starter-Phase und LMZ in der Grower-Phase vergleichbare Ergebnisse zur Kontrollgruppe, während die Versuchsgruppe HM-LAS in allen anderen Parametern gegenüber der Kontrollgruppe sogar signifikant überlegene Werte erzielte. Bei Betrachtung der Ergebnisse über die gesamte Versuchszeit zeigte sich zwischen Versuchsgruppe HM+ und HM-LAS jedoch ein signifikant schlechterer FA, resultierend aus einer signifikant schlechteren End-LM für Versuchsgruppe HM-LAS.

Bei Betrachtung des PA und EA über die gesamte Versuchsphase waren für Versuchsgruppe HM+ keine signifikanten Unterschiede in Wachstumsversuch I und II im Vergleich zur Kontrollgruppe erkennbar. In Wachstumsversuch III konnten passend zu den erörterten zootecnischen Parametern auch die signifikant effizientesten (niedrigsten) Werte im PA und EA bei Versuchsgruppe HM+ ermittelt werden. In der Literatur standen keine vergleichbaren Studien mit HI in Futtermischungen für Masthähnchen zur Verfügung, mit denen der PA und EA der vorliegenden Arbeit diskutiert werden konnte.

Die signifikant schlechtesten (höchsten) Werte für diese Aufwandsparameter zeigten sich für Versuchsgruppe HM mit der Basis-AS-Supplementierung. Diese lassen sich durch die schlechtere Proteinqualität erklären, da die Futtermischung nicht dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) entsprach. Dieses Defizit führte zu verringerten LMZ, FI und einem ineffizienten FA (GRUBER *et al.*, 2000). Wurde nur Met im Defizit eingestellt (Versuchsgruppe HM-LAS), führte dies weniger deutlich als für Versuchsgruppe HM, aber dennoch mit signifikantem Unterschied zu Versuchsgruppe HM+ und der Kontrollgruppe, zu dem schlechtesten (höchsten) Wert für den PA in Wachstumsversuch II. Im Vergleich dazu führte die Limitierung von Met+Cys in Wachstumsversuch III zu einem signifikant besseren PA im Vergleich zur Kontrollgruppe und war damit ebenso effizient wie Versuchsgruppe HM+.

Anders als in Wachstumsversuch II (Met : Cys = 51 : 49) wurde in Wachstumsversuch III neben dem 100%igen Austausch von SES durch HIM ein Met : Cys-Verhältnis von 50 : 50 gewählt. Auch bei der Limitierung von Met+Cys in Wachstumsversuch III auf 80 % der Versorgungsempfehlungen wurde das Verhältnis von 50 : 50 beibehalten. BREDE *et al.* (2018a) konnten zeigen,

dass dieses Verhältnis in den Versuchsgruppen mit HIM zu signifikant besseren LMZ und einer tendenziell höheren FI und damit zu einem effizienterem FA führte als bei einem Met : Cys Verhältnis von 45 : 55. Der PA, der sich aus dem FA berechnen lässt, ist ebenso von LMZ und FI abhängig. Eine mögliche Ursache für die effizienteren Aufwandparameter in Versuchsgruppe HM-LAS in Wachstumsversuch III trotz der Limitierung von Met+Cys könnte daher das bessere Met : Cys Verhältnis sein.

6.1.2 Ganzkörperzusammensetzung und Nährstoffansatz

Ergänzend wurden die Auswirkungen von HIM in den Futtermischungen auf die Ganzkörperzusammensetzung untersucht. Die Zusammensetzung eines Tierleerkörpers besteht überwiegend aus den vier Bestandteilen Wasser, XP, XL und XA. Zudem sind geringe Mengen an Kohlenhydraten in Form von Glycogen, insbesondere im Muskel, aufzufinden (DE LANGE *et al.*, 2001). Die Zusammensetzung des Tierkörpers variiert unter anderem in Abhängigkeit des Alters (WECKE *et al.*, 2018a, b). Die Körperzusammensetzung der Tiere kann trotz identischer End-LM variieren (ESMAIL und CHAMBERLAIN, 1987), weswegen eine ausschließliche Betrachtung der zootechnischen Daten zur Bewertung der Versuchsgruppen nicht ausreicht. In allen drei Versuchen wurde der höchste XP-Gehalt nach fünf Wochen Mast bei den Tieren beobachtet, die mit der Kontrollfuttermischung gefüttert wurden; in Wachstumsversuch I jedoch ohne signifikanten Unterschied zur Versuchsgruppe HM+. Dementsprechend zeigte sich in allen drei Wachstumsversuchen der niedrigste XL-Gehalt im Tierkörper in der Kontrollgruppe.

Der Protein- und Fettgehalt im Tierkörper wird durch die Nährstoffversorgung beeinflusst. Wird der XP-Gehalt im Futter erhöht oder der Energiegehalt verringert, verringert sich der Körperfettanteil (z. B. FLACHOWSKY und JEROCH, 1973; ESMAIL und CHAMBERLAIN, 1987; HOLSHEIMER und RUESINK, 1993). Diese Veränderung begründet von BARTOV (1985) unter anderem durch den erhöhten Energiebedarf für den N-Stoffwechsel. In der vorliegenden Arbeit wies die Kontrollgruppe sowohl in der Starter- als auch in der Grower-Phase einen niedrigeren AME_N-Gehalt als die HIM-Versuchsgruppe auf, wodurch der geringere XL-Gehalt im Körper erklärt werden kann. Der Einsatz der teilentfetteten HI-Larven führte aufgrund des hohen XL-Gehaltes zu entsprechend erhöhten AME_N-gehalten in den HIM-basierten Versuchsgruppen. In den Formulierungen der Futtermischungen sollte dieser Effekt jedoch nicht kompensiert werden, demzufolge trat der beobachtete signifikante Einfluß auf den Körperfettgehalt wie erwartet ein. Zwischen den Versuchsgruppen HM+ und HM-LAS war keine signifikante Auswirkung auf den XL-Gehalt im Tierkörper erkennbar.

Die Veränderungen in der Körperzusammensetzung entsprachen den abgeleiteten Nährstoffansatzdaten. Der höhere XP-Ansatz bei Masthähnchen, die mit AS-ausbalancierter HIM-Futtermischung (HM+) gefüttert wurden, war in allen drei Wachstumsversuchen zu beobachten. Im Ver-

gleich zur Kontrollgruppe waren die Unterschiede jedoch nur numerisch, und konnten nicht statistisch abgesichert werden. Insgesamt stellt die Proteindeposition in wachsenden Tieren eine Balance zwischen Proteinsynthese und Proteinabbau dar und ist von diversen Einflussfaktoren wie Alter (RIMBACH und LIEBERT, 1999), Geschlecht (z. B. SEBASTIAN *et al.*, 1997), Genetik (BARBATO, 1992, PESTI *et al.*, 1996) und nutritiven Faktoren (STERLING *et al.*, 2003) abhängig.

Die Nährstoffversorgung zählt jedoch als Haupteinflussfaktor auf den Proteinansatz (JACKSON *et al.*, 1981). Der Proteinansatz reagiert unmittelbar auf die Protein- und AS-Versorgung des Tieres und dient daher als Bedarfskriterium (MAURUS *et al.*, 1988; FULLER *et al.*, 1989). Dementsprechend zeigte sich erwartungsgemäß der niedrigste XP-, XL- und XA-Ansatz bei Masthähnchen der Versuchsgruppe HM (Wachstumsversuch I). Es war deutlich zu erkennen, dass die Basis-AS-Supplementierung den Nährstoffansatz signifikant beeinflusste, obwohl sie auf dem Niveau der Kontrollgruppe lag. Wie bereits bei den zootechnischen Daten unterstrichen auch diese Ergebnisse die Notwendigkeit eines erweiterten Umfangs der AS-Ergänzungen nach dem IAAR (PASTOR *et al.*, 2013; WECKE *et al.*, 2013; WECKE und LIEBERT, 2013), wenn SES zu höheren Anteilen durch HIM ersetzt werden soll.

Im Einklang mit der bereits erwähnten höheren Energiekonzentration in den HIM-Versuchsgruppen erzielten Masthähnchen, die mit Futtermischung HM+ gefüttert wurden, in allen drei Wachstumsversuchen die höchsten Werte für den XL-Ansatz und den signifikant höchsten Energieansatz im Vergleich zur Kontrollgruppe. Bereits HOFFMANN *et al.* (1982) beschrieben, dass ein höherer Proteinansatz im Tierkörper energieaufwendiger ist, wodurch die niedrigeren Werte in dem Energieansatz der Kontrollgruppe erklärbar werden. Die Ergebnisse zeigten zusätzlich, dass die komfortable Energiezufuhr der Versuchsgruppe HIM keinen Einfluss auf den täglichen XP-Ansatz aufwies. Entsprechend stellte das geringe energetische Überangebot der HIM-Mischungen sicher, dass keine energetische Limitierung für den Proteinansatz auftreten konnte.

Neben einer Verbesserung der Wachstumsleistung korreliert die Supplementierung von Met in Geflügelfuttermischungen mit der Tendenz zur Reduktion von Körperfett (ROSTANGO *et al.*, 1995). Daher war zu vermuten, dass die Versuchsgruppe HM-LAS, in denen Met+Cys nur auf 80 % der Versorgungsempfehlungen eingestellt wurden, gegebenenfalls Unterschiede im XL-Ansatz im Vergleich zu Versuchsgruppe HM+ aufweist. Allerdings blieb der XL- und Energieansatz von der AS-Reduzierung unberührt, während der XP-Ansatz um etwa 1 g/d signifikant niedrigere Werte aufwies als in Versuchsgruppe HM+. Entsprechend wurde deutlich, dass die Limitierung von Met+Cys den Körperansatz signifikant beeinflusste, obwohl für die zootechnischen Daten in Wachstumsversuch III identische End-LM und FA aufgezeigt wurden. Die Versuchsfuttermischungen zeigten keinen Effekt auf den XA-Gehalt sowie den XA-Ansatz der Tiere.

6.1.3 Proteinqualität

Bei Betrachtung der klassischen Proteinqualitätsparameter PPW und NPU zeigte sich, wie anhand der zootechnischen und Ansatzparameter bereits erwartet, für Versuchsgruppe HM eine unzureichende Proteinqualität. Wurde die Futtermischung jedoch entsprechend dem IAAR (WECKE und Liebert, 2013) mit AS supplementiert (Versuchsgruppe HM+), ergab sich in Wachstumsversuch I und II eine vergleichbare Proteinqualität wie für die SES-basierte Kontrollfuttermischung. Da es keine vergleichbaren Studien zu dem PPW oder NPU in Masthähnchenfuttermischungen mit HIM gibt, werden die vorliegenden Ergebnisse im Folgenden mit Ergebnissen aus Studien mit Fischen verglichen.

Vergleichbar mit den vorliegenden Ergebnissen wurde der PPW beim atlantischen Lachs durch die Einbeziehung von HIM ebenfalls nicht beeinflusst (LOCK *et al.*, 2016). Im Gegensatz dazu sank der PPW signifikant, wenn in Mischungen für junge Steinbutte mehr als 33 % HIM eingesetzt wurden (KROECKEL *et al.*, 2012). In Wachstumsversuch III der vorliegenden Arbeit erreichte Versuchsgruppe HM+ sogar signifikant bessere Werte für PPW und NPU. Der signifikant schlechteste PPW in Wachstumsversuch II und III zeigte sich für die Versuchsgruppe HM-LAS. Im Vergleich dazu war der NPU in Wachstumsversuch II für Versuchsgruppe HM-LAS nur tendenziell schlechter als für Versuchsgruppe HM+ und die Kontrollgruppe. Die Proteinqualität, gemessen am NPU, war für Versuchsgruppe HM-LAS in Wachstumsversuch III signifikant schlechter als in Versuchsgruppe HM+, aber besser als in der Kontrollgruppe. Der PPW nach MOLLER und HÖTZEL (1957) stellt den prozentualen Proteinzuwachs im Organismus der Versuchstiere im Bezug zur aufgenommenen Proteinmenge dar. Zur Berechnung des NPU nach BENDER und MILLER (1953) fand zusätzlich der Proteinerhaltungsbedarf Beachtung. Dadurch lassen sich die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen PPW und NPU für Versuchsgruppe HM-LAS erklären.

Da sowohl der PPW als auch der NPU stark dem Einfluss der aufgenommenen N-Menge unterliegen (vgl.: Abschnitt 4.3.4.2), war für eine bessere Vergleichbarkeit der Proteinqualität für die untersuchten Versuchsgruppen eine Standardisierung der aufgenommenen N-Menge erforderlich. Entsprechend fanden die Ergebnisse für PPW und NPU in denen die Futteraufnahme nicht standardisiert wurde, in der vorliegenden Arbeit keine größere Beachtung. Die Standardisierung der N-Menge wurde durch Anwendung des „Göttinger-Modells“ für den Parameter NPU vorgenommen. Das Verfahren berücksichtigt sowohl die Verdaulichkeit als auch die postabsorptive Verwendung der aufgenommenen N-Verbindungen einschließlich des N aus der Chitinfraktion. Somit ist der Proteinqualitätsparameter NPU_{std} ein Maß für die Proteinqualität, unabhängig von der individuellen Variation der N-Aufnahme. Die Anzahl der Studien zur Proteinqualität von Futtermischungen aus kommerziell hergestelltem HIM ist äußerst begrenzt. Sie beziehen sich zudem auf Proteinqualitätsparameter wie den PPW.

Die abgeleiteten Werte für den NPU_{std} unterstreichen eindeutig, dass die Versuchsgruppe HM mit Basis-AS-Supplementierung eine verminderte Futterproteinqualität ($NPU_{std} = 49,1 \%$) erreichte. Darüber hinaus zeigte sich bei genauer Betrachtung des NPU_{std} , dass die Kontrollgruppe zwischen den drei Versuchen sehr übereinstimmende Werte lieferte. Folglich eignete sich die Kontrollgruppe als experimentelle Referenz. Im Vergleich dazu zeigten die durchgeführten Experimente ebenso deutlich, dass die Versuchsgruppe HM+ mit der alternativen Proteinquelle HIM und einer AS-Supplementierung entsprechend dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) eine vergleichbare (Wachstumsversuch I und II) oder sogar signifikant überlegene (Wachstumsversuch III) Proteinqualität (NPU_{std}) gegenüber der Kontrollgruppe lieferte.

Eine deutliche Verbesserung des NPU_{std} nach einer Met-Supplementierung zu einer halbsynthetischen Futtermischung mit HIM zeigten ebenfalls Versuche von BREDE *et al.* (2016) an Ratten. Allerdings erbrachte eine Zugabe von Met+Thr keine Aufwertung des NPU_{std} . Untersuchungen von HIM in Futtermischungen von Tilapien konnten bei einer Substitution von 50 % des SES eine Verbesserung der Proteinqualität (NPU_{std}) im Vergleich zu einer SES-basierten Kontrollfuttermischung hervorrufen (DIETZ und LIEBERT, 2018). Wie in Abschnitt 6.1.1 erwähnt, wurde anders als in Wachstumsversuch II (Met : Cys = 51:49) in Wachstumsversuch III neben dem 100%igen Austausch von SES durch HIM ein Met : Cys-Verhältnis von 50 : 50 gewählt. Aus aktuellen Untersuchungen mit vollständiger Substitution von SES durch HIM von BREDE *et al.* (2018a) ging deutlich hervor, dass ein Met : Cys-Verhältnis von 50 : 50 zu einer signifikant besseren Proteinqualität führte (NPU_{std}) als ein Verhältnis von 45 : 55. Die Verschiebung des Met : Cys-Verhältnisses zwischen Wachstumsversuch II und III könnte daher zu einer besseren Proteinqualität geführt haben. Jedoch waren die Unterschiede zwischen den Verhältnissen geringer als die Abstufungen in der Studie von BREDE *et al.* (2018a). Insgesamt ging in der vorliegenden Arbeit aus den zootecnischen- und Ansatzparametern in Kombination mit der Untersuchung der Proteinqualität deutlich hervor, dass ein Austausch von SES in der Futtermischung für Masthähnchen bis zu 100 % (25 %/21 % HIM in der Gesamtfuttermischung der Starter/ Grower) bedenkenlos möglich war, wenn die Futtermischung entsprechend dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) mit AS ergänzt wurde.

Wie bereits bei den zootecnischen Parametern erläutert, wurde in den Wachstumsversuchen II und III jeweils Futtermischung HM-LAS eingesetzt, um vorläufige Informationen über die individuelle AS-Wirksamkeit in Mischungen mit einer hohen Austauschrate von SES durch HIM zu evaluieren. Die Wachstumsparameter sowie FI und FA ließen keine Verschlechterung der Versuchsgruppe HM-LAS gegenüber der Kontrollgruppe erkennen, jedoch zeigte sich eine signifikant schlechtere End-LM und FA im Vergleich zur Versuchsgruppe HM+ (Wachstumsversuch II). Darüber hinaus war der XP-Ansatz in Wachstumsversuch II und III signifikant geringer für Versuchsgruppe HM-LAS, verglichen mit der mit AS ausbalancierten Versuchsgruppe HM+.

Die Werte für den NPU_{std} konnten diese Beobachtungen bestätigen. In Wachstumsversuch II, bei

einem 75/ 50%igen Austausch von SES durch HIM, zeigte sich die Proteinqualität bei einem reduzierten Angebot von Met signifikant verschlechtert. Wachstumsversuch III zeigte ähnliche Ergebnisse für den NPU_{std} , interessanterweise jedoch ohne signifikanten Unterschied zur Kontrollgruppe. Auch, wenn die Auswirkungen nach der Reduktion des Met- sowie Met+Cys-Angebots nicht so deutlich ausgeprägt waren, zeigte sich dennoch eine signifikante Verschlechterung gegenüber der Versuchsgruppe HM+. Daraus ergibt sich die Option, die AS-Wirksamkeit der LAS abzuleiten und für weitere Untersuchungen mithilfe des „Göttinger Modells“, wie an anderer Stelle diskutiert (SAMADI und LIEBERT, 2007a, b; LIEBERT, 2008, 2015, 2017; SAMADI *et al.*, 2017), einzusetzen. Weitere Untersuchungen sind demnach erforderlich, um das gesamte Potenzial der AS-Ergänzungen auszunutzen, wenn HIM in hohen Austauschraten zu SES in den Futtermischungen für Masthähnchen eingesetzt werden soll.

Wurde der NPU nicht standardisiert, ergaben sich für Versuchsgruppe HM-LAS im Wachstumsversuch II keine Unterschiede in der Proteinqualität zwischen den untersuchten Futtermischungen. Erst unter Anwendung des NPU_{std} zeigte sich die geminderte Proteinqualität nach Reduzierung der LAS in Wachstumsversuch II wie auch in Wachstumsversuch III. Diese Beobachtungen unterstreichen die Bedeutung des angewandten Standardisierungsverfahrens, um valide Daten für die Beurteilung der Futterproteinqualität zu erhalten.

6.1.4 Scheinbare precaecale Verdaulichkeit

In der Geflügelfütterung ist neben der AS-Zusammensetzung insbesondere auch die XP- und AS-Verdaulichkeit einer Proteinquelle von großer Bedeutung (LEMME *et al.*, 2004). Diese wird durch die Effizienz eines Tieres (BOLAND *et al.*, 2013), den Grad der Verarbeitung des Futtermittels (AMERAH *et al.*, 2007) sowie von Futtermittelzusatzstoffen beeinflusst (RODRÍGUEZ *et al.*, 2011). Vereinfacht versteht man unter der Verdaulichkeit den Anteil der aufgenommenen Nahrung, der nicht wieder mit dem Kot ausgeschieden wird. Bedingt durch die anatomischen Gegebenheiten, ist beim Geflügel jedoch eine getrennte Erfassung von Kot und Harn nicht möglich. Zudem bleibt zweifelhaft, ob eine Messung der AS-Verdaulichkeit auf Basis des Kotes eine geeignete Grundlage sein kann (RODEHUTSCORD und KLUTH, 2003), da der Großteil der Nährstoffabsorption bereits im Jejunum und Ileum stattfindet (TASAKI und TAKAHASHI, 1996). Die post-ileale Mikroflora beeinflusst die AS-Zusammensetzung der Exkremete bedingt durch Hydrolyse von im Dünndarm nicht verdauten Proteinen sowie dem Abbau von AS und der Neusynthese mikrobiellen Proteins (RODEHUTSCORD und KLUTH, 2003). Entsprechend ist zur Futterbewertung beim Geflügel eine precaecale Messung des AS-Flusses zu bevorzugen (RAVINDRAN *et al.*, 1999; RODEHUTSCORD *et al.*, 2004). Unterschiede in den methodischen Details schränken die Vergleichbarkeit weniger publizierter Ergebnisse aus Verdaulichkeitsuntersuchungen mit HIM in der Futtermischung jedoch deutlich ein. Hauptsächlich fanden sich Studien zu Untersuchungen der scheinbaren Verdaulichkeit auf Basis der Exkremete.

Für die drei Wachstumsversuche waren nur geringfügige Schwankungen in der spcV des XP der Kontrollgruppe festzustellen. Wie die vorherigen Untersuchungen bereits deutlich gemacht haben, zeigte Versuchsgruppe HM im Vergleich zur Kontrollgruppe starke Defizite. Sowohl die spcV des XP als auch die spcV aller untersuchten AS war unverkennbar eingeschränkt, auch wenn keine signifikanten Unterschiede zur Kontrollgruppe erkennbar waren.

An dieser Stelle sei unbedingt darauf hingewiesen, dass die Untersuchungen zur spcV nicht das Hauptziel der Studien waren und die dadurch bedingte begrenzte Anzahl an Wiederholungen ($n = 4$) teilweise zu hohen Standardabweichungen und in Folge dessen zu eingeschränkten statistischen Abgrenzungen geführt hat. Mit $76,6 \pm 1,9$ % erreichte Versuchsgruppe HM-LAS eine zur Kontrollgruppe ($76,8 \pm 1,3$ %) vergleichbare spcV des XP. Für die spcV der AS zeigte sich ausschließlich für Met+Cys ein signifikant schlechterer Wert. Die spcV der weiteren AS lag entweder auf vergleichbarem Niveau (Lys, Met, Thr, His, Ile) oder signifikant höher (Arg, Leu, Val) als in der Kontrollgruppe. Eine erkennbare Steigerung der spcV mit durchschnittlich über 81 % zeigte sich bei Untersuchung der Versuchsgruppe HM+ (Wachstumsversuch III) mit signifikant höheren Werten als die der Kontrollgruppe. Entsprechend hatte HIM selbst bei hohen Austauschraten keinen negativen Einfluss auf die Verdaulichkeit der Futtermischung, wenn die Futtermischung nach dem Bedarf der Tiere mit AS supplementiert wurde.

SCHIAVONE *et al.* (2017) und DE MARCO *et al.* (2015) bestimmten die Verdaulichkeit des XP bei Fütterung von HIM auf Basis der Exkremente, während sie die scheinbare AS-Verdaulichkeit pre-caecal nach RAVINDRAN *et al.* (2005) ermittelten. Für den Versuch von SCHIAVONE *et al.* (2017) wurden 32 Tage alte Broiler für vier aufeinanderfolgende Tage HI-Mehl gefüttert, täglich Exkremente aufgefangen sowie am Versuchsende Chymus aus dem Ileum untersucht. Dabei wurde bei Broilern der Genetik Ross 308 sowohl bei einem teilentfetteten als auch stark entfetteten HI-Mehl mit jeweils 62 % scheinbarer Verdaulichkeit kein signifikanter Einfluss auf die Verdaulichkeit des XP festgestellt. Die spcV der AS lag im Mittel bei ca. 80 % (SCHIAVONE *et al.*, 2017). Im Vergleich dazu berichteten DE MARCO *et al.* (2015) von einer niedrigeren scheinbaren Verdaulichkeit des XP (51 %) sowie einer niedrigeren spcV von Ile, Lys, Met und Val (45 %, 56 %, 42 %, 62 %) bei Broilern der Genetik Ross 708, wenn 25 % der Kontrollfuttermischung durch HIM ersetzt wurden, wohingegen die spcV von Arg (83 %) und His (81 %) deutlich höher ausfiel. Aufgrund der unterschiedlichen methodischen Ansätze war ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit nicht möglich.

MWANIKI und KIARIE (2018) bestimmten die standardisierte precaecale Verdaulichkeit an Masthähnchen (LT 21, Ross 708) bei einem Anteil von 34,5 % HIM in der Gesamtfuttermischung. Die Werte für die standardisierte precaecale Verdaulichkeit für Lys, Met, Cys, Thr, Ile, Val waren jeweils 86,3, 88,7, 72,8, 85,5 und 88,6 %. Diese Ergebnisse lagen tendenziell oberhalb der Werte der vorliegenden Untersuchungen für die Versuchsgruppe HM+. Mit $76,1 \pm 1,7$ % ergab sich für die spcV von Val eine deutlich verringerte Verdaulichkeit als bei den Untersuchungen von

MWANIKI und KIARIE (2018). Allerdings eignet sich auch diese Studie nur bedingt für den Vergleich, da bei der Standardisierung nach Festlegung von Werten für die basalen endogenen Ausscheidungen eine einheitliche „Korrektur“ publizierter Messdaten vorgenommen wurde (RODEHUTSCORD und KLUTH, 2003). Eine XP-Verdaulichkeit auf Basis der Exkremente in Höhe von 59 % und 55 % ermittelten CULLERE *et al.* (2016) bei einem Einsatz von 10 und 15 % HI-Mehl in Futtermischungen für Mastwachteln.

Neben der Problematik der Vergleichbarkeit aufgrund der unterschiedlich genutzten Methoden kann das im Exoskelett der Insekten vorhandene Chitin (HUDSON und JENKINS, 2001) als ein weiterer Faktor genannt werden, der möglicherweise die Verdaulichkeit von Insektenfuttermischungen negativ beeinflusst. Chitin ist ein Polymer aus N-Acetyl-D-Glucosamineinheiten (β -(1,4)-Poly-N-Acetyl D-Glucosamin), die einen Nicht-Protein-N (NPN)-Anteil der Insekten darstellen (CHAPMAN, 1971) und die analytisch in der Faserfraktion aufzufinden sind (LINDSAY *et al.*, 1984; FINKE, 2002). Wie bereits in Abschnitt 6.1.1 kurz erläutert, können Vögel Chitinase produzieren (SUZUKI *et al.*, 2002; KOH und IWAMAE, 2013; TABATA *et al.*, 2017). Die Chitinverdaulichkeit ist jedoch eingeschränkt (HOSSAIN und BLAIR, 2007). In den Untersuchungen von LONGVAH *et al.* (2011) hat ein hoher Chitingehalt in der Futtermischung (bis zu 45 %) die Proteinverdaulichkeit beeinträchtigt, während in der Studie von HOSSAIN und BLAIR (2007) etwa 50 % des Chitins aus Krustentierschalenabfällen von Masthähnchen verdaut werden konnten. Nach KHEMPAKA *et al.* (2006, 2011) kann nur von einer 18 bis 32%igen Verdaulichkeit des Chitins ausgegangen werden. Darüber hinaus stellten MARONO *et al.* (2015) eine negative Korrelation zwischen der in-vitro-XP-Verdaulichkeit und dem Chitin-Gehalt fest. Inwieweit die Chitinverdaulichkeiten Einfluss auf die Verdaulichkeit der gesamten Futtermischung hatten, blieb dabei unklar.

Der Chitin-Gehalt von HI-Präpuppen wurde von DIENER *et al.* (2009) mit 8,7 % in der TS und in HI-Larven von KROECKEL *et al.* (2012) mit 9,6 % in der TS angegeben. FINKE (2012) ermittelte 5,4 % Chitin in der TS von HI-Larven. In Anbetracht des eher geringen Chitin-Gehalts der vorliegenden Futtermischungen, in denen 50 bis 100 % des SES durch HIM ersetzt wurden, war jedoch ein eher geringer Einfluss auf die spcV von XP zu erwarten. Diese Vermutung wurde durch die ermittelten zootechnischen Daten bestätigt, da bei Verwendung der Futtermischung HM+ bei 100%igem Austausch von SES durch HIM (Wachstumsversuch III), höhere LM, FI und FA als in der SES-Futtermischung zu verzeichnen waren. Allerdings fehlt es auch an zuverlässigen Daten über den Chitin-Gehalt von Insekten, bedingt durch unzureichende Analyseverfahren, welche die NPN-Fraktion von Chitin nicht ausreichend berücksichtigen (HAHN *et al.*, 2018).

Insgesamt zeigten sich insbesondere für Versuchsgruppe HM+ (Wachstumsversuch III) vergleichsweise hohe spcV-Werte. Diese Daten können jedoch aufgrund der begrenzten Anzahl von Wiederholungen und damit verbundenen hohen Standardabweichungen nur als vorläufig angesehen werden.

6.2 N-Bilanzversuche Masthähnchen

Sowohl in N-Bilanzversuch I als auch II wurde eine Substitutionsrate von 100 % des SES durch HIM gewählt, um das Potenzial, aber auch die Einschränkungen der alternativen Proteinquelle zu demonstrieren. Für N-Bilanzversuch I bedeutete dies eine Einsatzmenge von 26/ 22 % (Starter/ Grower) und für N-Bilanzversuch II 23/20 % (Starter/ Grower) HIM in der jeweiligen Gesamtfuttermischung. Neben den N-Bilanzmessungen ist ausschließlich der NPU_{std} Gegenstand der Diskussion, da der PPW und NPU aufgrund der Abhängigkeit von der FI keine geeignete Vergleichbarkeit ermöglichen. Die N-Bilanzversuche wurden in Anlehnung an die Wachstumsversuche konzipiert, sodass Futtermischung HM wiederholt auf Basisniveau der Kontrollfuttermischung mit AS supplementiert wurde.

6.2.1 N-Verwertungsparameter Masthähnchen

Für Versuchsgruppe HM zeigten sich für nahezu alle Ergebnisse der N-Bilanzmessung signifikant niedrigere oder vergleichbare Werte wie für die Kontrollgruppe oder Versuchsgruppe HM+. Diese Beobachtungen resultierten in einer signifikant schlechteren Proteinqualität gemessen am NPU_{std} .

Eine AS-Ergänzung gemäß dem IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013; Versuchsgruppe HM+) führte in der Starter-Phase zu einer signifikanten Verbesserung der Parameter der N-Bilanzmessung. Jedoch zeigte sich in der Grower-Phase eine deutlich schlechtere N-Bilanz für Versuchsgruppe HM+ als in der Kontrollgruppe, hervorgerufen durch eine niedrigere N-Aufnahme. Eine entsprechende Tendenz war ebenfalls in N-Bilanzversuch II für Versuchsgruppe HM+ zu erkennen. Daraus lässt sich schließen, dass das Insektenmehl für Masthähnchen zwischen LT 25 und LT 35 schlechter verwertbar ist. Einbußen in der FI in der Grower-Phase nach Fütterung von HIM, insbesondere bei höheren Einsatzmengen (15 % der Gesamtfuttermischung), konnten ebenfalls von DABBOU *et al.* (2018) festgestellt werden. Identische Beobachtungen wurden bereits in Abschnitt 6.1.1 für Versuchsgruppe HM+ in Wachstumsversuch III beschrieben.

Es kam zudem zu signifikant geminderter FI während der Grower-Phase bei 100%iger Substitution von SES durch HIM, jedoch ohne negative Auswirkung auf den FA. Untersuchungen von COCKCROFT (2018) konnten diesen Effekt dagegen nicht bestätigen. Der abgeleitete NPU_{std} der vorliegenden Studie, der nicht durch die beobachteten Unterschiede in der N-Aufnahme beeinflusst wurde (LIEBERT, 1995; THONG und LIEBERT, 2004), zeigte in der Grower-Phase durch die mit AS-ausbalancierte Futtermischung HM+ in N-Bilanzversuch I ebenfalls niedrigere Werte, was jedoch auf N-Bilanzversuch II nicht zutrif.

Beim Vergleich der analysierten AS-Gehalte der Futtermischung HM+ in N-Bilanzversuch I mit dem IAAR der Masthähnchen wird deutlich, dass die analysierten AS zu einem Großteil angepasst an das IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) oder im Überschuss (His, Leu, Val, Phe+Tyr)

vorlagen. Lediglich Arg lag in einem geringfügigen Mangel vor. In N-Bilanzversuch II war dagegen ausschließlich His im Überschuss vorhanden, während Met+Cys, Thr, Arg und Ile leicht defizitär waren. Ein Überschuss einer AS kann eine beschleunigte Katabolisierung dieser hervorrufen, wodurch der Bedarf der übrigen AS erhöht wird (WALDROUP *et al.*, 1976). Dies könnte eine Begründung für die schlechtere Proteinqualität der Futtermischung HM+ in N-Bilanzversuch I sein. In N-Bilanzversuch II wurde das IAAR der Masthähnchen mit Futtermischung HM+ zwar nicht vollständig gedeckt, aber insgesamt wurden höhere Anteile an freien AS (Lys, Arg, Ile) in kristalliner Form supplementiert als in N-Bilanzversuch I. Diese sind zu 100 % verdaulich (CHUNG und BAKER, 1992). Dadurch konnte wahrscheinlich das geringe Defizit an Arg und Ile kompensiert werden.

In N-Bilanzversuch II wurde zusätzlich der Effekt einer Reduzierung der in der kalkulatorischen Limitierungsrangfolge als 1. (Futtermischung HM-Met+Cys), 2. (Futtermischung HM-Arg) und 3. (Futtermischung HM-Lys) eingestuften LAS auf die N-Verwertungsparameter evaluiert. Dazu wurde der Gehalt der jeweiligen AS auf 80 % der Versorgungsempfehlungen eingestellt. Der deutlichste Effekt auf die N-Bilanzmessungen zeigte sich bei Herabsenkung von Lys. Neben einer signifikant schlechteren N-Aufnahme erreichte Versuchsgruppe HM-Lys auch die niedrigste N-Bilanz (Starter- und Grower-Phase), verbunden mit gehemmtem Wachstum insbesondere in der Starter-Phase. Wie bereits erwähnt, haben Tiere die Fähigkeit, starke AS-Imbalancen im Futter zu detektieren und gegebenenfalls die FI zu adaptieren (LESHNER, 1972; DI BATTISTA, 1987; HAO *et al.*, 2005; GIETZEN und ROGERS, 2006; GIETZEN *et al.*, 2007). Entsprechend war die geringere FI bei der Unterversorgung von Lys nicht überraschend. Zahlreiche Studien konnten belegen, dass die Wachstumsreaktion bzw. der Proteinansatz von Masthähnchen von der Lysinversorgung abhängt (BAKER und HAN, 1994; EMMERT und BAKER, 1997; BAKER *et al.*, 2002), wodurch die schlechtere LM-Entwicklung bei Versuchsgruppe HM-Lys begründet werden kann.

Die Proteinqualität wurde durch das Herabsenken des Lys auf 80 % der Versorgungsempfehlungen sowohl in der Starter- als auch der Grower-Phase signifikant verschlechtert. Eine AS-Imbalance ist gegeben, wenn aufgrund des vom Bedarf abweichenden AS-Musters Verzehr- und Wachstumsdepressionen auftreten (JEROCH *et al.*, 2013). Daraus lässt sich schließen, dass die gewünschte Grenzposition von Lys eingetreten war. Im Vergleich dazu führte eine Reduzierung der Arg- und Met+Cys-Versorgung in der Starter-Phase nicht zu einem Rückgang der N-Aufnahme und N-Bilanz. Allerdings war eine deutliche Verschlechterung der N-Bilanz, einhergehend mit einer Reduzierung der FI, in der Grower-Phase zu beobachten. Die Auffälligkeit, dass die Limitierung von Met+Cys in der Grower-Phase deutlichere Auswirkungen hatte, konnte durch Studien von GRABER *et al.* (1971) und MORAN (1981) bestätigt werden. Bedingt durch das intensive Wachstum der Masthähnchen und des Federansatzes nimmt mit ansteigendem Alter die Relevanz der Keratinsynthese in der Proteinsynthese und damit einhergehend der Cys-Bedarf

zu (GRABER *et al.*, 1971; MORAN, 1981; FARKE, 2011; WECKE *et al.*, 2018a). Zahlreiche Studien belegten eine signifikante Reduktion der FI bei einer gezielten Unterversorgung mit Met (SEKIZ *et al.*, 1975; SÜNDER *et al.*, 2015) oder Cys (OHTA und ISHIBASHI, 1994; DILGER und BAKER, 2007). In Tendenzen war eine schlechtere FI für Versuchsgruppe HM-LAS (Met+Cys) ebenfalls in Wachstumsversuch III zu erkennen. Trotz Reduzierung des Met+Cys-Gehaltes auf 80 % der Versorgungsempfehlungen zeigte sich eine höhere Proteinqualität (NPU_{std}) in der Versuchsgruppe HM-Met+Cys in der Starter-Phase, während sie in der Grower-Phase deutlich abfiel und unter Versuchsgruppe HM+ lag. Das lässt vermuten, dass Versuchsgruppe HM+ während der Starter-Phase mit AS überversorgt war. Überschüssiger N aus nicht nutzbaren AS muss energieaufwendig entgiftet werden, was den Stoffwechsel belastet (FARKE, 2011).

Die Verschlechterung des NPU_{std} in der Grower-Phase für Versuchsgruppe HM-Met+Cys als Folge der Limitierung von Met+Cys konnte bereits im Wachstumsversuch III beobachtet werden. Das Herabsenken von Arg in Versuchsgruppe HM-Arg führte nicht zu einer geringeren FI, jedoch zu signifikant höheren N-Ausscheidungen im Vergleich zur Versuchsgruppe HM+. Eine mögliche Begründung liegt darin, dass der Mangel an einer AS zu einer Oxidation der überschüssigen AS aus dem Futter und damit zu vermehrtem Proteinabbau führt (JAHN, 2000).

Vögel sind nicht in der Lage Arg zu synthetisieren, da sie einen unvollständigen Harnstoffzyklus haben (KIDD *et al.*, 2001). Einige Studien konnten die Wichtigkeit einer adäquaten Arg-Versorgung zur Unterstützung der Wachstumsreaktionen beim Geflügel nachweisen (DEAN und SCOTT, 1965; ALLEN und BAKER, 1972; CUCA und JENSEN, 1990). Zusätzlich ist Arg für seine Rolle bei der Proteinsynthese bekannt und kann darüber hinaus als potenter immunologischer Modulator den Immunstatus des Geflügels beeinflussen (COLLIER und VALLANCE, 1989; KIDD *et al.*, 2001). Neben den negativen Effekten einer Arg-Limitierung auf diese Funktionen im Tier, kann eine antagonistische Interaktion zwischen Lys und Arg diese Auswirkungen noch verstärken (D'MELLO, 2003). Der NPU_{std} war durch die Absenkung der Arg-Versorgung in der Grower-Phase mit 67,7 % für Versuchsgruppe HM-Arg gegenüber der an das IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) angepassten Versuchsgruppe HM+ (75,7 %) deutlich gemindert.

Insgesamt können auch negative Auswirkungen eines individuellen AS-Überschusses auf die N-Verwertungsparameter nicht ausgeschlossen werden. Es wird deutlich, dass weitere Untersuchungen zur Optimierung des AS-Gleichgewichtes in Masthähnchenfuttermischungen bei hohen Einsatzraten von HIM zu priorisieren sind. Grundsätzlich unterstreichen die Ergebnisse der N-Bilanzversuche, wie zuvor die Auswertungen der Wachstumsversuche, dass HIM bei einer AS-Supplementierung angepasst an das IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) mit bis zu 26%/22 % (Starter/Grower) der Gesamtfuttermischung in Mischfuttern für Masthähnchen eingesetzt werden kann.

Die N-Bilanzversuche wurden u. a. angelegt, um als Basis zur Ableitung der Met+Cys, Arg und Lys-Verwertung mit dem N-Verwertungsmodell und weiterführend zur Bestimmung der Wirksamkeit der limitierenden AS bei dem Einsatz von Insektenprotein aus HI dienen. Die Protein- und AS-Verwertung basiert auf der Relation zwischen der Aufnahme an limitierender AS und N-Retention wachsender Tiere (GEBHARDT, 1980; LIEBERT und GEBHARDT, 1980, 1982). Die mit dem „Göttinger Modell“ errechnete Proteinqualität (Modellparameter „b“) lässt, unabhängig von der N-Aufnahme, durch einen linearen Zusammenhang zwischen der Proteinqualität „b“ und der Konzentration an limitierender AS im Futterprotein eine Berechnung der Wirksamkeit der limitierenden AS zu (GEBHARDT, 1980; WECKE, 1982). Entsprechende weiterführende Untersuchungen stehen noch aus.

6.3 Wachstumsversuche Ferkel und Mastschweine

Die Wachstumsversuche I und II der Ferkel und Mastschweine dienten der experimentellen Überprüfung der Proteinquelle HIM auf die Mastleistung und Verwertungsparameter sowie spcV (Ferkel), wenn gleichzeitig AS in unterschiedlichem Umfang supplementiert wurden. SES wurde dabei zu 50 und 75 % durch HIM substituiert.

6.3.1 Zootechnische- und Aufwandparameter Ferkel

In den Ferkelversuchen I und II entsprach der 50- und 75%ige Austausch von SES einer Einsatzhöhe von 10,5 und 15,6 % HIM in der Gesamtfuttermischung.

Entsprechend den Wachstumsversuchen mit Masthähnchen glich die AS-Ergänzung in Futtermischung HM exakt der Supplementierung der Kontrolle, während in Futtermischung HM+ ein erweiterter Umfang an AS, angepasst an das IAAR (GFE, 2008), zugesetzt wurde.

Eine aktuelle Studie von SPRANGHERS *et al.* (2018) zeigte, dass sowohl der Einsatz eines vollfetten (bis 8 % in der Gesamtfuttermischung) als auch eines teilentfetteten (5,4 % in der Gesamtfuttermischung) HI-Larvenmehls bei den zootechnischen Parametern abgesetzter Ferkel keine statistischen Unterschiede im Vergleich zu einer Soja-basierten (getoastete Sojabohnen und SES als Hauptproteinquelle) Kontrollfuttermischung lieferte. Die Futtermischungen wurden mit Met, Thr, Val und Tryptophan (Trp) ergänzt. Tendenziell führte der Einsatz des vollfetten HI-Larvenmehls bei den Absatzferkeln (LT 21 bis 36) jedoch zu geringeren LMZ, FI und in der Folge zu einem ineffizienteren FA. Dabei war dieser Effekt bei einer Einsatzhöhe von 8 % ausgeprägter als bei einem Gehalt von 4 % vollfetttem HI-Larvenmehl in der Gesamtfuttermischung. Im Vergleich dazu erzielte der Einsatz des teilentfetteten HI-Larvenmehls mit 1,43 g/g einen effizienteren FA als in der Kontrollgruppe (1,48 g/g).

Auf ähnliche Weise präsentierten sich die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit. Ausschließlich in der LMZ war ein signifikant geringerer Wert für Versuchsgruppe HM auszumachen, während sich

für FI, FA und PA tendenziell schlechtere Werte zeigten. Die weiteren zootechnischen- und Aufwandsparameter ergaben keine statistischen Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen. Die AS-ausbalancierte Versuchsgruppe HM+ erreichte einen zur Kontrollgruppe identischen FA und PA.

Der 75%ige Austausch von SES in Wachstumsversuch II resultierte in vergleichbaren Ergebnissen. Versuchsgruppe HM erzielte tendenziell die schlechtesten Leistungsparameter, wobei der erweiterte Umfang der AS-Supplementierung (Versuchsgruppe HM+) im Vergleich zu der SES-basierten Kontrollgruppe zu identischen LMZ und einem geringfügig effizienteren FA führte. Entsprechend wäre ein höherer Einsatz als die getesteten 5,4 % HIM bei SPRANGHERS *et al.* (2018) von bis zu 15,6 % HIM in der Futtermischung für Absetzferkel eine denkbare Alternative, um SES zu ersetzen. Eine frühere Studie von NEWTON *et al.* (1977) belegte bereits die Akzeptanz von HI-Larvenmehl bei früh abgesetzten Ferkeln. DRIEMEYER (2016) konnte zusätzlich nachweisen, dass 3,5 % vollfettes HI-Larvenmehl im Austausch zu Fischmehl in einem Prestarter für Ferkel von LT 10 bis 27 ebenfalls keine nennenswerten Unterschiede in der FI und LMZ hervorriefen. Allerdings wurde den Ferkeln der uneingeschränkte Zugang zur Sauenmilch gestattet, wodurch die Ergebnisse verzerrt wurden.

Zusätzlich wurde der Effekt auf die Blutparameter und die Mikrobiologie im Ferkelkot untersucht, wobei keine Auffälligkeiten in Bezug auf den Gesundheitsstatus, die Mineralstoffverfügbarkeit, der Kotkonsistenz und mikrobiologischen Zusammensetzung beim Einsatz des HI-Larvenmehls auftraten (DRIEMEYER, 2016). Dass die Fütterung von HIM in der Ferkelfuttermischung ohne negative Beeinflussung der Mikroflora im Darm möglich ist, bestätigten ebenfalls erste Ergebnisse von VELTEN *et al.* (2017a, b) und SPRANGHERS (2017). Die frühe Absetzphase der Ferkel ist sehr kritisch und bestimmt für gewöhnlich maßgeblich die Leistung der folgenden Mastphasen (SPRANGHERS, 2017). Die gewonnenen Erkenntnisse bestärken den ersten Eindruck, dass HI-Larvenmehl bedenkenlos in der Fütterung für Absetzferkel eingesetzt werden kann und unerwünschte Leistungseinbußen auf die weiteren Mastphasen durch den Einsatz von HIM nicht zu erwarten sind. Insgesamt ist die Anzahl an Studien mit HI-Larvenmehlen in der Ferkelfütterung jedoch als sehr übersichtlich zu beschreiben.

6.3.2 Scheinbare precaecale Verdaulichkeit Ferkel

Aus einer Vielzahl an Untersuchungen ging hervor, dass die Bestimmung der precaecalen Verdaulichkeit einer fäkalen Verdaulichkeit vorzuziehen ist, wenn Voraussagen zu den verwertbaren AS und dem verwertbaren XP getroffen werden sollen (z. B. LOW, 1980; RÉRAT, 1981, DIERICK *et al.*, 1990). Nach Beendigung von Wachstumsversuch I und II der Ferkel fiel bei Betrachtung der spcV eine teils signifikant höhere XP- und AS-Verdaulichkeit für Versuchsgruppe HM im Vergleich zur Kontrollgruppe auf. Versuchsgruppe HM, die im gleichen Umfang wie die Kontrollgruppe mit

AS ergänzt wurde, zeigte bei 50%igem Austausch von SES eine spcV des XP von $79,3 \pm 1,8$ % und bei 75%igem Austausch eine spcV des XP von $77,2 \pm 2,8$ %, während die Kontrollgruppe in beiden Versuchen Werte von knapp 70 % erreichte. Mit 73,3 % lag die spcV des XP in den Experimenten von SPRANGHERS *et al.* (2018) geringfügig unter den Befunden der eigenen Untersuchungen, allerdings führte die Ergänzung mit 5,4 % HIM in der Futtermischung zu der höchsten spcV im Vergleich zu den Mischungen mit vollfetten HI-Larvenmehl (8 % in der Gesamtfuttermischung) und der Kontrollfuttermischung auf Soja- und Fischmehl-Basis. Bei Schweinen in der Anfangsmast (17 bis 30 kg LM) verbesserte sich die scheinbare Gesamtverdaulichkeit aller Nährstoffe durch den Einsatz von 7 % vollfetten HI-Larven als Ersatz für 5 % Fischmehl in der Gesamtfuttermischung (NEKRASOV *et al.*, 2015). Aufgrund der unterschiedlichen Ansätze der Verdaulichkeitsbestimmung war ein direkter Vergleich der Ergebnisse jedoch nur begrenzt möglich.

Grundsätzlich besteht bei Absetzferkeln eine geringe Nährstoffverdaulichkeit, speziell unmittelbar nach dem Absetzen (HEDEMANN *et al.*, 2001), begründet durch eine niedrige Aktivität der Verdauungsenzyme im Pankreasgewebe (HEDEMANN und JENSEN, 2004). In den Untersuchungen von SPRANGHERS *et al.* (2018) waren die Ferkel mit einem Alter von 21 bis 36 LT bedeutend jünger als in der vorliegenden Arbeit mit 36 bis 61 LT (Wachstumsversuch I) und 40 bis 61 LT (Wachstumsversuch II). Daher kann die etwas schlechtere Verdaulichkeit der Versuchsfuttermischungen bei SPRANGHERS *et al.* (2018) mit der Versuchsdurchführung unmittelbar nach dem Absetzen zusammenhängen. Insgesamt schien der Einsatz eines vollfetten HI-Larvenmehls mit 8 % der Gesamtfuttermischung einen negativen Effekt auf die XP-Verdaulichkeit zu haben.

Eine Ergänzung von 33 % vollfettetem HI-Larvenmehl über 10 Tage ohne zusätzliche AS-Supplementierung führte ebenfalls zu einer signifikant schlechteren scheinbaren XP-Gesamtverdaulichkeit bei 5 Wochen alten Ferkeln (NEWTON *et al.*, 1977). Die Autoren machten insbesondere die AS-Imbalancen für die schlechtere Verdaulichkeit verantwortlich. Zusätzlich gelten pflanzliche Fettquellen gegenüber tierischen Fettquellen aufgrund der hohen Gehalte an ungesättigten Fettsäuren, welche reaktionsfreudiger sind, für Ferkel als besser verdaulich (z. B. SMITH *et al.*, 1996; LESKANICH *et al.*, 1997). Dadurch könnte die schlechtere Verdaulichkeit der vollfetten HI-Larven begründet werden. Allerdings ermittelten NEWTON *et al.* (1977) eine höhere Fettverdaulichkeit für die HI-Larven im Vergleich zu SES; SPRANGHERS *et al.* (2018) konnten keinen Unterschied in der Fettverdaulichkeit beobachten. Wie in Abschnitt 6.1.1 bei den Masthähnchen bereits erwähnt, wurde von einigen Autoren zudem der Chitingehalt für eine schlechtere Verdaulichkeit der Futtermischungen mit HI-Larven verantwortlich gemacht (z. B. MUZZARELLI, 1977; SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2014; DABBOU *et al.*, 2018). Laut KARASOV (1990) blockiert Chitin physikalisch den Zugang von Verdauungsenzymen zu Lipiden und Proteinen, wodurch die Verdaulichkeit dieser Nährstoffe negativ beeinflusst wird.

Während bei Menschen, Mäusen, Kühen und Geflügel chitinspaltende Enzyme nachgewiesen werden konnten (BOOT *et al.*, 2001; SUZUKI *et al.*, 2002; KOH und IWAMAE, 2013; TABATA *et al.*, 2017), sind nur wenige Studien verfügbar, die sich mit der Chitinverdaulichkeit bei Ferkeln oder Mastschweinen beschäftigt haben. Untersuchungen von HEINZ *et al.* (1981) zeigten keine Unterschiede in der XP-Verdaulichkeit bei N-Bilanzversuchen mit Ferkeln (12 bis 27 kg LM), wenn Krillmehl mit einem Gehalt von 7 % Chitin in der TS in der Futtermischung eingesetzt wurde. Bei einem Einsatz von 26 % Garnelenmehl in der Schweinefütterung (35 kg LM), welches 15,5 % Chitin in der TS beinhaltet, lag der Koeffizient für die scheinbare Chitinverdaulichkeit zwischen 0,54 und 0,66 in Abhängigkeit des Vermahlungsgrades (FANIMO *et al.*, 2005). Zusätzlich ermittelten die Autoren, dass diese hohen Einsatzmengen von Chitin beim Schwein zu einer geminderten scheinbaren Gesamtverdaulichkeit (0,49–0,53) von N führten. Grundsätzlich wurde daraus jedoch geschlussfolgert, dass Schweine, so wie andere Säugetiere, Chitin durch Chitinasen, gebildet von Mikroorganismen des Verdauungstraktes, spalten können (JEUNIAUX und CORNELIUS, 1977, SUGITA *et al.*, 1999). In den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit schien der Chitingehalt der HI-Larven die spcV der Futtermischung nicht negativ zu beeinflussen; ein Einsatz von bis zu 15,6 % HIM in der Gesamtfuttermischung steigerte die spcV der ausgewählten AS und des XP deutlich. Insgesamt dürfen die Ergebnisse jedoch nur als vorläufig betrachtet werden, da zur Bestimmung der spcV nur wenige Tiere zur Verfügung standen und teilweise nur geringe Mengen an Probenmaterial die Laboranalysen erschwert haben.

6.3.3 Zootechnische Parameter Mastschweine

Aufgrund der angepassten Phasenfütterung in den Wachstumsversuchen der Mastschweine verringerte sich altersabhängig der XP-Gehalt und damit die Einsatzhöhe von HIM in der jeweiligen Futtermischung. In Wachstumsversuch I (50 % Austausch von SES) wurden bis 50 kg LM 8,2 % und bis 75 kg LM 6,5 % HIM in der Gesamtfuttermischung eingesetzt. Die jeweiligen Versuchsfuttermischungen in Wachstumsversuch II (75 % Austausch von SES) enthielten 12,3 % (bis 50 kg LM) und 9,7 % (bis 75 kg LM) HIM.

Die Ergebnisse der vorliegenden Mastschweineversuche unterstreichen die Erkenntnisse aus den Wachstumsversuchen I und II mit Ferkeln. In den zootechnischen Parametern zeichneten sich keine statistischen Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und der mit HM+ gefütterten Versuchsgruppe ab. Eine tendenziell höhere End-LM, einhergehend mit tendenziell höheren LMZ und geringfügig gesteigerte FI, ergab einen effizienteren FA bei 50%iger Substitution von SES durch HIM. Der höhere Einsatz von HIM in Wachstumsversuch II führte zu einem identischen FA verglichen mit der Kontrollgruppe. Die FI war in Versuchsgruppe HM+ tendenziell höher, bei

gleichzeitig geringerer LMZ. Der Proteinaufwand war in der Versuchsgruppe HM+ in Wachstumsversuch I und II kongruent. Der Energieaufwand der mit HIM gefütterten Tiere war, bedingt durch den komfortablen Fettgehalt im Futter, erwartungsgemäß höher als in der Kontrollgruppe.

Die Ergebnisse decken sich mit Untersuchungen von NEKRASOV *et al.* (2015). Bei einem Einsatz von 7 % vollfetttem HI-Larvenmehl in der Gesamtfuttermischung für Mastschweine (17 bis 30 kg LM) wurde die LMZ in dieser Untersuchung tendenziell gesteigert. Weitere Studien, die HI in der Mastschweinefütterung evaluierten, konnten in der Literaturrecherche nicht auffindig gemacht werden. Die vorliegenden Daten lassen jedoch den Schluss zu, dass eine Substitution von bis zu 75 % SES durch HIM bei Mastschweinen bis 75 kg LM bei einer erweiterten, an das IAAR (GfE, 2008) angepassten AS-Supplementierung ohne negative Effekte auf die LMZ, FI und FA möglich ist.

6.4 N-Bilanzversuche Ferkel und Mastschweine

In den N-Bilanzversuchen mit Ferkeln (25 kg LM) und Mastschweinen (69 kg LM) wurde HIM als Hauptproteinquelle eingesetzt. In den Ferkelversuchen bedeutete das einen Einsatz von 21 % und bei den Mastschweinen von 17 % HIM in der Gesamtfuttermischung. In Versuchsgruppe HM erfolgte ausschließlich eine Basis-Versorgung mit AS. Dazu wurde Lys auf einem Niveau von ca. 80 % der Versorgungsempfehlung (GfE, 2008) supplementiert. Eine Gegenüberstellung der Versorgungsempfehlung und der erreichten AS-Versorgung in den Versuchen kann der aktuellen Publikation von NEUMANN *et al.* (2018) entnommen werden.

6.4.1 N-Verwertungsparameter Ferkel und Mastschweine

Zwischen den Versuchsgruppen HM und HM+ konnten keine signifikanten Auswirkungen auf die mittlere LM der Ferkel bzw. Mastschweine beobachtet werden. Darüber hinaus zeigte sich kein signifikanter Effekt auf die FI. Bei Betrachtung der scheinbaren N-Verdaulichkeit (Ferkel und Schwein) wurde für alle Versuchsgruppen eine hohe N-Verdaulichkeit deutlich, wobei der Umfang der AS-Supplementierung die N-Verdaulichkeit nur tendenziell beeinflusst hat. Allerdings zeigte sich für die Ferkel eine geringere N-Verdaulichkeit im Vergleich zu den Mastschweinen. SPRANGHERS *et al.* (2018) ermittelten eine scheinbare XP-Verdaulichkeit von 78,3 % (5,4 % HIM in der Gesamtfuttermischung) und 77,6 % (8 % vollfette HI-Larven in der Gesamtfuttermischung).

Ein N-Bilanzversuch mit vollfetttem HI-Larvenmehl als 100%iger Austausch zu SES wurde von NEWTON *et al.* (1977) an Ferkeln (8,2 bis 14,7 kg LM) durchgeführt. Die scheinbare Verdaulichkeit von TS, N, XL, XF, XA, NfE, Ca, und Phosphor für die auf HI-Larvenmehl als Hauptproteinquelle basierende Futtermischung betrug 77,5, 76,0, 83,5, 53,8, 45,2, 84,7, 38,9 und 23,0 %. Die entsprechenden Daten für die SES-Kontrollfuttermischung waren 85,3, 77,2, 73,0, 49,2, 61,6, 91,3, 39,3 und 51,3 %. Die beobachtete scheinbare Verdaulichkeit von TS, N, XF und NfE war in der

pflanzlichen Futtermischung höher als in der Insektenfuttermischung. Die Hermetia-Futtermischung wurde dabei nicht mit AS ausbalanciert und zeigte eine suboptimale Versorgung mit Met+Cys, Thr und Trp. AS-Imbalancen könnten für die beobachtete geringere N-Retention verantwortlich gewesen sein. Durch den Mangel einer AS werden die überschüssigen AS aus dem Futter und vermehrten Proteinabbau oxidiert (JAHN, 2000; WESSELING, 2004). Unverdautes Futterprotein führt im Dickdarm zur Ammoniakbildung, welcher über den Harn ausgeschieden wird. Etwa 2/3 der N-Ausscheidungen werden über den Harn eliminiert (MOUGHAN, 1993). Eine insgesamt höhere N-Ausscheidung über den Harn bei gleichzeitig geringerer N-Aufnahme führte zu der schlechteren N-Retention in den Versuchen von NEWTON *et al.* (1977). Signifikant höhere N-Ausscheidungen über den Harn waren ebenfalls in den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit für Versuchsgruppe HM zu erkennen.

Bei den Ferkeln war der Effekt ausgeprägter als bei den Mastschweinen, was durch die stärkere AS-Imbalance in den Ferkelfuttermischungen erklärt werden kann. Zusätzlich sind die AS-Versorgungsansprüche der Ferkel höher als die der Mastschweine. Bei Betrachtung der AS-Gehalte von Futtermischung HM der Mastschweine stellte sich bereits eine leichte Überversorgung mit Ile und His, sowie eine deutliche Überversorgung mit Val heraus, während Leu den Zielwert erfüllte. Lys lag deutlich und Met+Cys und Thr leicht im Mangel vor. Die überschüssigen AS müssen abgebaut und die Abbauprodukte wieder über den Harn ausgeschieden werden (WANG und FULLER, 1989). Das würde die höhere N-Ausscheidung der Schweine über den Harn in der vorliegenden Studie erklären.

Im Vergleich dazu lagen die Gehalte an Lys, Met+Cys sowie Thr in der Futtermischung HM der Ferkel deutlich und der Gehalt an Leu geringfügig unterhalb der Versorgungsempfehlungen. Gleichzeitig waren Ile, His und Val im Überschuss vorhanden. Durch die Supplementierung von höheren Anteilen an Lys sowie zusätzlicher Ergänzung von Met und Thr konnte daher ein deutlich positiver Effekt auf die N-Bilanz für Futtermischung HM+ bei den Ferkeln festgestellt werden. Die zusätzliche Supplementierung von Lys in der Futtermischung HM+ für die Mastschweine führte zwar zu einer leichten Lys-Überversorgung, bewirkte aber zugleich eine Verschiebung der AS-Relationen, sodass sich die Relationen von u. a. Ile, Leu und Val zu Lys dem IAAR der Mastschweine annäherten.

Der Überschuss einer AS im Futter kann zu einer beschleunigten Katabolisierung anderer strukturell oder chemisch verwandten AS führen, wodurch der Bedarf an dieser AS erhöht wird (AUSTIC, 1983). Solche Interaktionen bestehen z. B. zwischen Lys und Arg (D'MELLO, 1970), aber auch zwischen Leu, Ile und Val. Ist eine oder beide dieser AS im Überschuss vorhanden, wird der Bedarf der anderen gesteigert (AUSTIC, 1983). Der in Futtermischung HM der Ferkel beobachtete Überschuss an Ile und Val kann dementsprechend zu einer Katabolisierung von Leu

geführt haben, wodurch der Limitierungseffekt verstärkt gewirkt haben könnte. Passend zu den argumentierten Einschränkungen in der AS-Versorgung und den AS-Verhältnissen zeigte sich eine schlechtere Proteinqualität bei Versuchsgruppe HM, sowohl bei den Ferkeln als auch bei den Mastschweinen. Für die Ferkel konnte nach erweiterter AS-Supplementierung eine signifikant verbesserte Proteinqualität bei Versuchsgruppe HM+ beobachtet werden. Eine ebenso eindeutige Verbesserung der Proteinqualität zeigte sich für die Mastschweine, obwohl der Unterschied nicht statistisch abgesichert werden konnte. Entsprechend deutlich wird beim Einsatz von HIM die Notwendigkeit einer erweiterter AS-Supplementierung entsprechend dem IAAR (GFE, 2008), wie es bereits bei den N-Bilanzversuchen der Masthähnchen beobachtet werden konnte.

Eine Absenkung von Lys auf 80 % der Versorgungsempfehlungen in Futtermischung HM diente zusätzlich der Generierung von Daten, die als Grundlage für eine AS-Wirksamkeitsermittlung herangezogen werden könnten. Entsprechend sind auch für die Ferkel- und Schweinefuttermischungen, wie in Abschnitt 6.2.1 für die Masthähnchen dargelegt, weitere Untersuchungen zur Bestimmung der AS-Wirksamkeit beim Einsatz von HIM notwendig. Daran könnten sich unter Umständen weitere Berechnungen zur Ableitung des AS-Bedarfes der Ferkel und Mastschweine anschließen, sollten große Mengen an HIM in den Futtermischungen verwendet werden.

Erste Untersuchungsergebnisse zu den AS-Wirksamkeiten in den Ferkel- und Schweinefuttermischungen, die nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit waren, können der Publikation von NEUMANN *et al.* (2018) entnommen werden. Die bc^{-1} -Werte spiegeln die individuelle AS-Wirksamkeit wider und können nur zwischen den Versuchsgruppen der jeweiligen Altersgruppe (Ferkel oder Mastschwein) verglichen werden. Sie stehen im direkten Zusammenhang zu dem Maß der limitierenden Position einer AS in Relation zu den weiteren AS. Zeigen sich Unterschiede in der Steigung der Beziehung (bc^{-1}), können diese nur durch unterschiedliche Wirksamkeiten, bedingt durch Divergenzen in der Verdauung, Resorption und der intermediären Verwertung, verursacht werden (LIEBERT und GEBHARDT, 1984, zitiert durch WESSELING, 2004). In den Untersuchungen von NEUMANN *et al.* (2018) zeigte sich für die Ferkel-Versuchsgruppe HM u.a. eine hohe Met-Wirksamkeit, was darauf schließen lässt, dass Met die erstlimitierende AS in dieser Futtermischung war. Während sich kein signifikanter Effekt auf die Wirksamkeit von Lys und Thr zwischen den Ferkel-Versuchsgruppen feststellen ließ, erzeugte die erweiterte AS-Supplementierung in Versuchsgruppe HM+ eine deutlich bessere Leu-Wirksamkeit. Dieses Ergebnis unterstützt die angestellte Vermutung, dass der antagonistische Effekt zwischen Ile, Leu und Val die limitierende Position von Leu in Versuchsgruppe HM verstärkt hat.

In den Schweine-Versuchsgruppen wurde durch die AS-Supplementierung eine Steigerung der Met und Thr-Wirksamkeit erreicht, jedoch ohne signifikanten Effekt. Die Reaktion von Leu war deutlicher ausgeprägt, konnte jedoch ebenfalls nicht statistisch abgesichert werden, obwohl in

Versuchsgruppe HM und HM+ der gleiche Leu-Gehalt vorlag. Diese ersten Ergebnisse müssen weiter untersucht werden, um die AS-Balance in Futtermischungen für Ferkel und Mastschweine bei hohen Einsatzraten von HIM zu verbessern.

Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse der vorliegenden Ferkel- und Mastschweineversuche den Eindruck aus den Versuchen mit Masthähnchen, dass der 100%ige Austausch von SES durch HIM in Futtermischungen mit AS-Supplementierung, angepasst an das jeweilige (tierartspezifische) angenommene IAAR, ohne Leistungseinbußen möglich ist.

6.5 Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von teilentfettetem *Hermetia illucens* Larvenmehl

In der Tierernährung sollen proteinreiche Einzelfuttermittel für monogastrische Nutztiere einen hohen XP-Gehalt, dem Bedarf der Tiere entsprechendes AS-Profil, eine hohe Verdaulichkeit sowie Schmackhaftigkeit aufweisen und bei gleichbleibender Qualität frei von antinutritiven Inhaltsstoffen sein (BARROWS et al., 2008), um die Nährstoffanforderungen für das Wachstum zu erfüllen. *Hermetia illucens* zählt zu den vielversprechendsten Insektenarten für den Einsatz in der Human- und Tierernährung und wurde aus diesem Grund für die Experimente der vorliegenden Arbeit gewählt. Die Eignung von HIM als alternative Proteinquelle in der Schweine- und Geflügelernährung galt es zu evaluieren. Zusätzlich zu der durchgeführten Diskussion der einzelnen Versuchsabschnitte sollen die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von HIM aus Sicht der Tierernährung übergreifend erörtert werden.

6.5.1 Nährstoff- und AS-Zusammensetzung

Die chemische Zusammensetzung des verwendeten HIM war im XP- und XA-Gehalt vergleichbar mit Analysewerten von SPRANGHERS *et al.* (2018). Diese Autoren verwendeten ebenfalls ein entfettetes HI-Mehl der Firma Hermetia Futtermittel GbR (Baruth/Mark, Deutschland), jedoch geerntet im Präpuppen Stadium. Deutliche Unterschiede zeigten sich im Grad der Entfettung. Der XL-Gehalt des HIM der vorliegenden Arbeit war etwa doppelt so hoch wie bei SPRANGHERS *et al.* (2018). In zwei weiteren Studien (DABBOU *et al.*, 2018; ELWERT *et al.*, 2010) wurde ebenfalls ein HIM der Firma Hermetia Futtermittel GbR (Baruth/Mark, Deutschland) bezogen, es fehlen allerdings detaillierte Angaben zu der Nährstoffzusammensetzung.

Die weiteren Studien, die in der Diskussion der Ergebnisse der Masthähnchen-, Ferkel- und Mastschweineversuche vergleichend herangezogen wurden, nutzten überwiegend vollfette HI-Larven oder Präpuppen. Die von UUSHONA (2015) eingesetzten, auf Küchenabfällen aufgezogenen Präpuppen zeigten den niedrigsten XP- (25,5 % der TS) und XL-Gehalt (15,6 % der TS), während in anderen Untersuchungen verwendete, auf Küchenabfällen aufgewachsene HI-Larven den höchsten XP-Gehalt (44,6 % der TS) (MOHAMMED *et al.*, 2017) und den höchsten XL-Gehalt (48,1 %

der TS) (DRIEMEYER, 2016) aufwiesen. Der XA-Gehalt variierte in den Studien zwischen 5,0 und 15,3 % der TS und deckte damit den Wert der eigenen Untersuchungen ab. Der analysierte XF-Gehalt lag höher als in anderen Studien, in denen jedoch vollfettes HI-Larvenmehl verwendet wurde (NEWTON *et al.*, 1977; UUSHONA, 2015; DRIEMEYER, 2016). Die dargestellten variierenden Rohnährstoffzusammensetzungen erschweren die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Studien erheblich. Insbesondere Unterschiede im Futtersubstrat, Entwicklungsstadien zum Erntezeitpunkt sowie die Art der Verarbeitung der HI führten zu variierenden XP- und AS-Gehalten des Ausgangsproduktes (FASAKIN *et al.*, 2003, WANG und SHELOMI, 2017; SPRANGHERS *et al.*, 2016).

In Abbildung 16 ist die AS-Zusammensetzung des verwendeten SES und HIM vergleichend dargestellt. Das verwendete HIM weist im Gegensatz zu SES Defizite in den schwefelhaltigen AS sowie in Arg, Leu, Ile, Phe, Glu und Asp im Gegensatz zu SES auf. Dagegen zeigt es höhere Gehalte an Tyr, Ala, Gly und Pro. Dieser Vergleich macht die Notwendigkeit der erweiterten AS-Supplementation in den Versuchsfuttermischungen deutlich, wenn SES zu einem hohen Anteil durch HIM ersetzt wird.

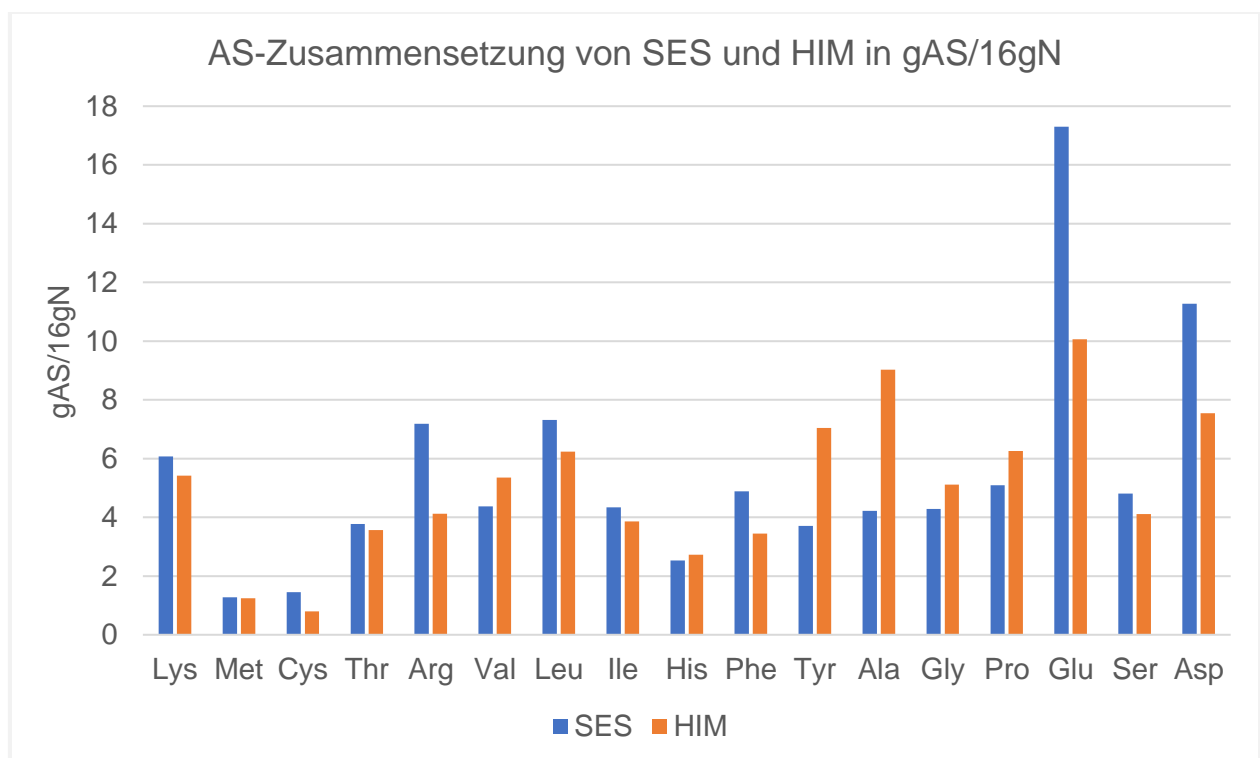


Abbildung 16: Vergleichende Darstellung der AS-Zusammensetzung von Sojaextraktionsschrot (SES) und teilentfettetem *Hermetia illucens* Larvenmehl (HIM)

Um eine alternative Proteinquelle erfolgreich in der Tierernährung einsetzen zu können, ist neben der AS-Zusammensetzung insbesondere das Verhältnis der AS zueinander von großer Bedeutung. Abbildung 17 zeigt das AS-Verhältnis von HIM im Vergleich zu dem angewandten IAAR (WECKE und LIEBERT, 2013) für Masthähnchen, wobei zur besseren Vergleichbarkeit als Referenz der analysierte Lysingehalt des HIM (5,42 g/16 g N) dargestellt ist. Sehr deutlich zeigt die Abbildung das große Defizit an den schwefelhaltigen AS sowie an Arg in Relation zu Lys. Darüber hinaus sind einige AS wie Val, Ile, His und Tyr in einem deutlichen Überschuss vorhanden. Diese Abbildung verdeutlicht die Notwendigkeit einer an das IAAR der Masthähnchen angepassten AS-Supplementierung.

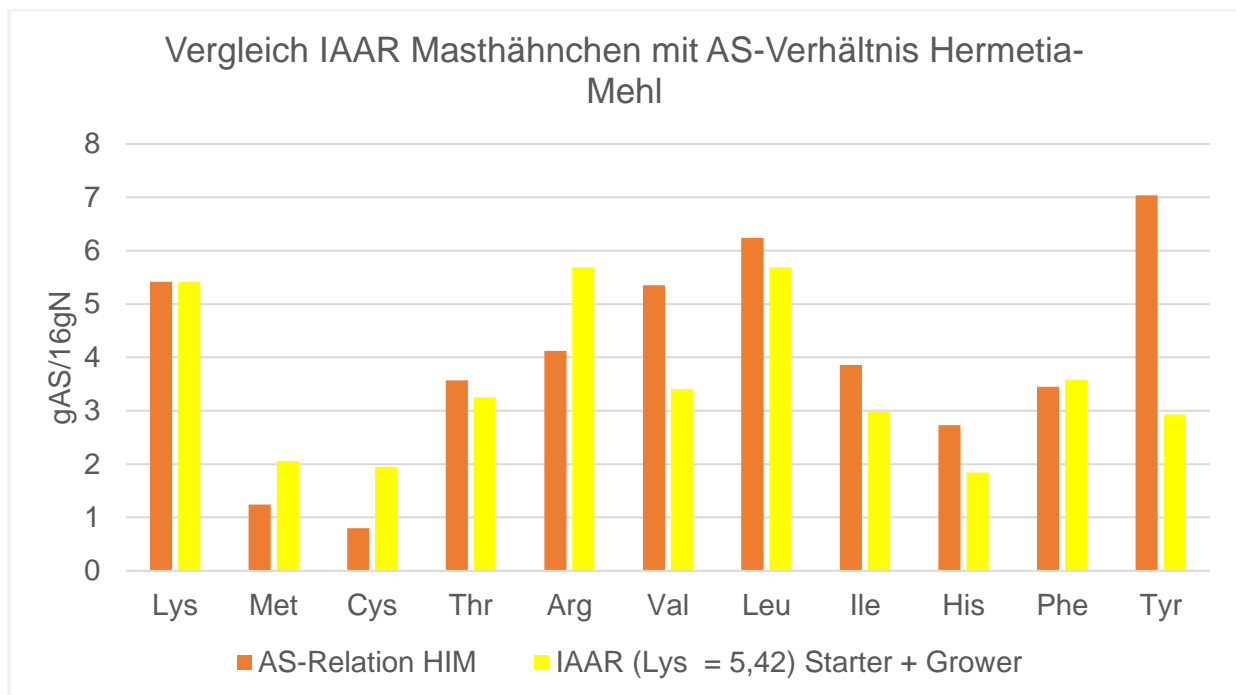


Abbildung 17: Direkter Vergleich der AS-Relationen von teilentfettetem *Hermetia illucens*-Mehl (HIM) mit dem IAAR von Masthähnchen in der Starter- und Grower-Phase (WECKE und LIEBERT, 2013). Zu beachten: Referenz ist zum besseren Vergleich der analysierte Lysingehalt des Proteinträgers HIM (5,42 g/16 g N).

Bei Betrachtung des IAAR für Ferkel und Mastschweine im Vergleich zu den AS-Relationen (vgl. Abbildung 18) des eingesetzten HIM fällt ebenfalls ein Defizit an den schwefelhaltigen AS auf, das jedoch geringer ausfällt als bei den Masthähnchen. Diese Beobachtungen passen zu den Ergebnissen anderer Studien, in denen insbesondere auf die Limitierung durch die schwefelhaltigen AS aufmerksam gemacht wird. Ohne entsprechenden AS-Ausgleich sind deutliche Einsatzbeschränkungen zu erwarten (BOSCH *et al.*, 2014; MAKKAR *et al.*, 2014).

Darüber hinaus decken die AS-Verhältnisse weitestgehend die Ansprüche der Ferkel und Mastschweine, wobei insbesondere Val und Phe+Tyr in einem hohen Überschuss vorhanden sind.

Die Tatsache, dass Arg im HIM im Vergleich zu SES zu einem deutlich niedrigeren Anteil enthalten ist, führt zu der Überlegung, ob in weiteren Untersuchungen Arg in Ferkel- und Schweinefuttermischungen eine größere Bedeutung zukommen sollte. Grundsätzlich kann Arg vom Schwein selbst synthetisiert werden. Arg ist zudem reichlich in pflanzlichem und tierischem Gewebe vorhanden (WU und MORRIS, 1998), weswegen gewöhnlich die Futtermischungen zu einer ausreichenden Bereitstellung dieser AS führten (WU *et al.*, 2007). Neuere Studien konnten jedoch zeigen, dass Arg wichtige regulatorische Aufgaben im Nährstoff Stoffwechsel sowie der Immunreaktion übernimmt (RHOADS *et al.*, 2006; LI *et al.*, 2007). Dadurch könnte die Effizienz der Futterverwertung der Schweine beeinflusst werden.

WU *et al.* (2007) vermuten, dass höhere Gehalte von Arg und Glu in Futtermischungen von Schweinen die Effizienz der Nährstoffausnutzung deutlich verbessern könnten. Entsprechend sollte der geringe Gehalt an Arg in HIM in der Fütterung von Ferkeln und Mastschweinen nicht unterschätzt werden.

Insgesamt präsentierten die durchgeführten Wachstums- und N-Bilanzversuche mit Masthähnchen, Ferkeln und Mastschweinen, dass bei adäquater AS-Supplementierung Austauschraten des SES durch HIM von bis zu 100 % möglich sind. Zwischen der Basis-AS-Supplementierung und der erweiterten AS-Supplementierung zeigte sich jedoch insbesondere bei den Masthähnchen ein deutlicher Effekt auf die untersuchten Parameter, wohingegen der Effekt bei den Ferkeln und besonders bei den Mastschweinen weniger ausgeprägt war. Beim Vergleich der AS-Relationen von HIM und dem jeweiligen angenommenen IAAR der Masthähnchen (vgl. Abbildung 17) sowie der Ferkel und Mastschweine (vgl. Abbildung 18) wird deutlich, dass die AS-Verhältnisse des HIM die Ansprüche der Ferkel und Mastschweine besser abdeckten als die der Masthähnchen.

Hierbei kann zusätzlich die kurze Verweildauer des aufgenommenen Futters im Verdauungstrakt der Masthähnchen, bedingt durch den kurzen Darm in Relation zur Körpergröße, zu einer schlechteren Verdaulichkeit des angebotenen Futters geführt haben. Bei den schnellwachsenden Masthähnchen benötigt das Futter weniger als drei Stunden, um den Verdauungstrakt zu passieren. Um die schnelle Passagerate optimal ausgleichen zu können, beanspruchen sie eine leicht verdauliche und nährstoffreiche Futtermischung (RAVINDRAN, 2013). Die vorliegenden Ergebnisse zeigten für Versuchsgruppe HM bei den Masthähnchen eine bedeutend schlechtere spcV als bei den Ferkeln.

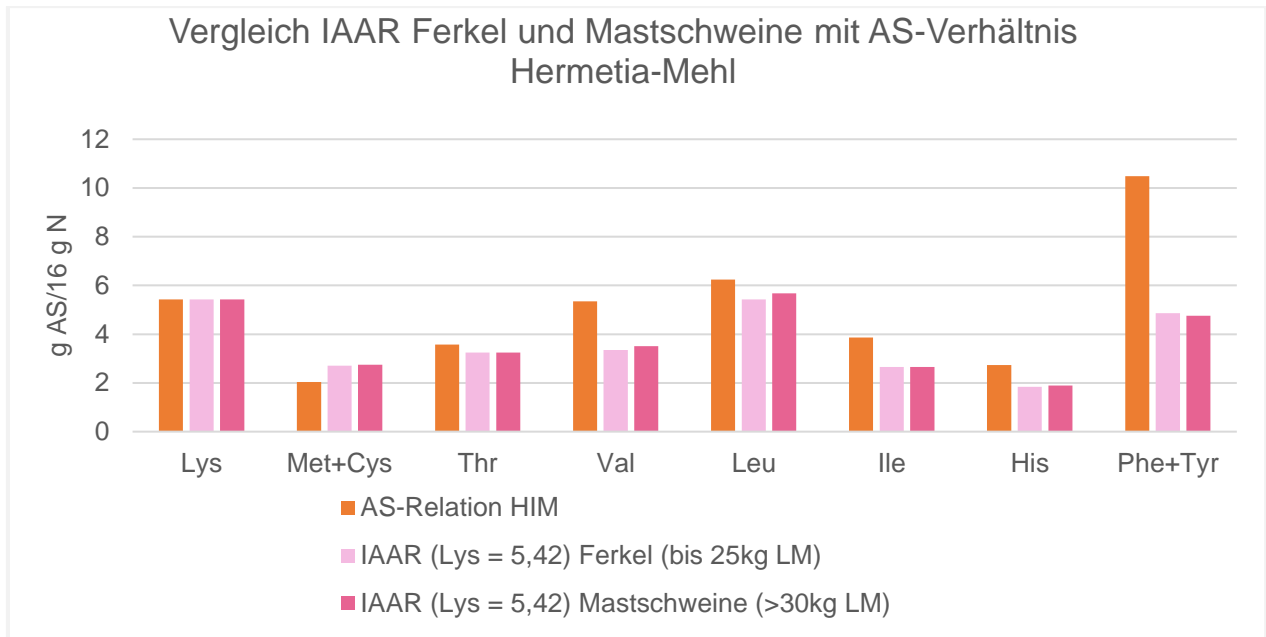


Abbildung 18: Direkter Vergleich der AS-Relationen von teilentfettetem *Hermetia illucens*-Mehl (HIM) mit dem IAAR von Ferkeln und Masthähnchen (GfE, 2008, außer His: nach NRC, 2012).

Zu beachten: Referenz ist zum besseren Vergleich der analysierte Lysingehalt des Proteinträgers HIM (5,42 g/16 g N).

6.5.2 Umrechnungsfaktor N : XP

Ein Teil des in den Futtermitteln enthaltenen N stammt aus NPN-Verbindungen wie Ammoniak, Harnstoff, Nitraten, Nitriten, Chitin etc. (SOSULSKI und IMAFIDON, 1990; MARIOTTI *et al.*, 2008; JANSSEN *et al.*, 2017). Im Allgemeinen wird der XP-Gehalt als Referenz für den Proteingehalt von Futtermitteln angegeben, wobei ein herkömmlicher N-zu-Rohprotein-Umrechnungsfaktor (N : XP) von 6,25 verwendet wird (SOSULSKI und IMAFIDON, 1990). Da jedes Einzelfuttermittel jedoch seine individuelle AS-Zusammensetzung und damit einen spezifischen N-Gehalt aufweist, ist der Umrechnungsfaktor von 6,25 bisweilen sehr ungenau (JONES, 1941) und kann dadurch zu fehlerhaften Kalkulationen von Futtermischungen führen (MARIOTTI *et al.*, 2008; JANSSEN *et al.*, 2017; NERY *et al.*, 2018). Aufgrund des NPN-Gehaltes von Insekten, bestehend aus Chitin und Ausscheidungsprodukten von Ammoniak, wird ein modifizierter N-Umrechnungsfaktor zur Berechnung des XP-Gehaltes von ganzen Larven oder verarbeiteten Larvenmehlen empfohlen (KROECKEL *et al.*, 2012; SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2016; STADTLANDER *et al.*, 2017; JANSSEN *et al.*, 2017). In Studien von JANSSEN *et al.* (2017) wurde nach Untersuchungen mit *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus* und *Hermetia illucens* ein Umrechnungsfaktor für ganze Larven von 4,76 und für Insektenproteinextrakte von 5,60 vorgeschlagen. Untersuchungen von NERY *et al.* (2018) unterstützen diese Empfehlung. Da derzeit keine umfassende Datenbank zur Verfügung steht, wurde in der vorliegenden Studie der übliche Umrechnungsfaktor (6,25) angewendet. Dies kann zu einer Überschätzung des XP-Gehaltes des HIM geführt haben.

6.5.3 Chitin

Der Chitin-Gehalt in HI-Larven oder Präpuppen wird nicht zuletzt aufgrund fehlender einheitlicher valider Chitinanalytik in den meisten Studien nicht ausgewiesen. DIETZ und LIEBERT (2018) verwendeten die gleiche HIM-Charge wie in den vorliegenden Untersuchungen. Die Chitinanalyse ergab 11,1 % Chitin in der TS. Im Vergleich dazu gaben DIENER *et al.* (2009) für HI-Präpuppen einen Chitingehalt von 8,7 % in der TS und FINKE (2012) für HI-Larven einen Gehalt von 5,4 % in der TS an. Der ermittelte Chitingehalt von KROECKEL *et al.* (2012) für HI-Präpuppen lag bei 9,2 % (wie gefüttert). Die Variationen im ermittelten Chitingehalt sind u. a. den unterschiedlichen Analysemethoden geschuldet. Der Chitingehalt wurde in einigen Studien über den Säure-Detergenzien-Faser (ADF)- oder XF-Gehalt bestimmt (JÓZEFIAK *et al.*, 2016). Allerdings stellten HAHN *et al.* (2018) heraus, dass diese klassischen Bestimmungsmethoden des Chitingehaltes sehr ungenau sind. Stattdessen würde sich eine Kombination aus ADF- und Säure-Detergenzien-Lignin (ADL)- Bestimmung (ADF-ADL) besser eignen. Alternativ führt auch eine aufwendigere Messung der Acetylgruppen zu einer exakteren Bestimmung des Chitin-Gehaltes. Ein einheitliches Verfahren wäre sehr nützlich für die Vergleichbarkeit und, um intensiver die Eigenschaften von Chitin in der Nahrung nachvollziehen zu können (VELDKAMP und BOSCH, 2015).

Wie in Abschnitt 6.1.4 und 6.3.2 bereits ausführlich diskutiert, kann ein hoher Chitin-Gehalt unter Umständen zu schlechteren Verdaulichkeiten führen. Chitin könnte jedoch auch durch eine alkalische Extraktion (DEFOLIART *et al.*, 1982) oder enzymatisch (CALIGIANI *et al.*, 2018) aus dem Insektenmehl entfernt werden. Darüber hinaus könnte die Zugabe von Chitinasen die Verdaulichkeit verbessern, was jedoch noch nicht intensiver erforscht wurde (SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2016).

Als positive Eigenschaften werden Chitin eine stimulierende Wirkung auf das Immunsystem (LEE *et al.*, 2008; HENRY *et al.*, 2015) sowie antimikrobielle und entzündungshemmende Eigenschaften zugesprochen (BRINCHMANN *et al.*, 2011; VAN HUIS, 2013; SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2014). Dafür ist u. a. der Gehalt an antimikrobiellen Peptiden (AMPs) verantwortlich. Diese AMPs sind in einigen Insektenarten in größerem Umfang aufzufinden. Werden AMPs als Futtermittelbestandteil verwendet, können sie das Wachstum möglicherweise pathogener Darmbakterien reduzieren, ähnlich wie ein herkömmliches Antibiotikum (JÓZEFIAK *et al.*, 2016). In den letzten Jahren wurde den AMPs, den natürlichen Antibiotika, große Aufmerksamkeit gewidmet. Es wird davon ausgegangen, dass ihre antibiotische Aktivität nicht zur Entwicklung von Bakterienresistenz führt. Insekten sind eine reiche Quelle für AMPs. Ihre Aktivität richtet sich gegen Bakterien und / oder Pilze sowie bestimmte Parasiten und Viren. Die antibakterielle Wirkung von AMPs auf die Bakterienzelle beinhaltet die Zerstörung der Bakterienzellhülle. Die größte Gruppe von AMPs von Insekten bilden die Defensine. Insektendefensine sind Peptide, die von Körperfettzellen sowie Blut-

zellen produziert werden und im gesamten Körper wirken können. Über die Aktivität von Defensinen und defensinähnlichen Peptiden von HI ist wenig bekannt (JÓZEFIAK *et al.*, 2016).

Eine Studie von PARK *et al.* (2005) identifizierte ein neues Defensin-ähnliches Peptid (DLP4) von HI. Dieses Protein zeigte antimikrobielle Eigenschaften hauptsächlich gegen grampositive Bakterien. Forscher hoffen, dass AMPs der Insekten bei Resistenz von Bakterien gegen herkömmliche Antibiotika eingesetzt werden können. Der antimikrobielle Mechanismus von AMPs von Insekten ist über viele Jahre der Evolution geprägt und sehr konservativ, was in der Praxis bedeutet, dass diese Komponente im Gegensatz zu Antibiotika, die rapide bakterielle Resistenzen induzieren, gegen Bakterien dauerhaft wirksam bleiben könnten (JÓZEFIAK *et al.*, 2016).

7 Schlussfolgerung

Das Insektenmehl der schwarzen Soldatenfliegenlarve (*Hermetia illucens*) ist aus ernährungsphysiologischer Sicht geeignet, einen beachtlichen Anteil von bis zu 100 % des SES im Futter für Masthähnchen, Ferkel und Mastschweine zu ersetzen. Allerdings immer unter Berücksichtigung einer adäquaten AS-Ergänzung, angepasst an das jeweilige tierartspezifische IAAR.

Die AS-Verhältnisse im HIM werden dem angenommenen IAAR der Ferkel und Mastschweine eher gerecht, als dem angenommenen IAAR der Masthähnchen. Daher macht sich eine erweiterte AS-Supplementierung bei den Masthähnchen besonders deutlich bemerkbar. Wurden die Futtermischungen nur zum gleichen Umfang wie die Kontrollfuttermischung mit AS ergänzt, führte dies zu deutlich schlechteren Ergebnissen in den Wachstums- und N-Bilanzversuchen.

Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um die Potentiale dieser Proteinquellen durch AS-Ergänzungen noch besser auszuschöpfen. Insbesondere Untersuchungen zur Wirksamkeit einzelner AS in dem alternativen Proteinträger sind erforderlich, um das Potential von HIM für eine ressourcenschonende Produktion von Masthähnchen und Mastschweinen auch bei hohen Einsatzmengen voll nutzen zu können. Die Vielzahl der Einflussfaktoren auf die Zusammensetzung der HI-Larven und Präpuppen erschweren jedoch zusätzlich exaktere Aussagen zu notwendigen AS-Supplementierungen bei hohen Einsatzraten von HIM.

Ein weiteres Hindernis für die Aufnahme von Insekten als Futtermittel für Geflügel und Schweine ist jedoch das geltende EU-Recht. Während unter Einhaltung von diversen Bedingungen eine Auswahl an Insekten für den Einsatz in der Aquakulture zugelassen wurde (Commission Regulation (EU) 2017/893), steht eine Zulassung in der Geflügel- und Schweinefütterung aktuell noch aus.

Unter den Aspekten der Akzeptanz beim Tier und Kombinationseignungen im Futter bestehen bei dem getesteten Insektenmehl geringe Beschränkungen in der Einsatzhöhe.

Das Larvenmehl der HI kann nach den ersten Untersuchungen als vielsprechende alternative Proteinquelle in der Ernährung von Masthähnchen, Ferkeln und Mastschweinen eingestuft werden.

Literaturverzeichnis

- AAFCO Association of American Feed Control Officials (2016): 2016 AAFCO Annual Meeting Agenda and Committee Reports. Pittsburgh, PA, USA, 31. July-3. August 2016, 112. https://www.aafco.org/Portals/0/SiteContent/Meetings/Annual/2016/Committee_Report_Book_PRINT.pdf?ver=2016-07-12-103227-353, 27. Juli 2018
- ALLEN, N. K. und BAKER, D.H. (1972): Effect of Excess Lysine on the Utilization of and Requirement for Arginine by the Chick. *Poultry Science*, **51**, 902-906. <https://doi.org/10.3382/ps.0510902>
- ALEXANDRATOS, N. und BRUINSMA, J. (2012): World Agriculture towards 2030/2050: The 2012 Revision. ESA Working Paper No. 12-03, Agricultural Development Economics Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- AMERAH, A.M., RAVINDRAN, V. LENTLE, R.G. und THOMAS, D.G. (2007): Feed Particle Size: Implications on the Digestion and Performance of Poultry. *World's Poultry Science Journal*, **63**, 439-455. <https://doi.org/10.1017/S0043933907001560>
- AMINODAT 5.0® (2016): Evonik Degussa GmbH, Health & Nutrition, Hanau-Wolfgang, Germany
- ANIEBO, A.O., ERONDU, E.S. und OWEN, O.J. (2008): Proximate Composition of Housefly Larvae (*Musca domestica*) Meal Generated from Mixture of Cattle Blood and Wheat Bran. *Livestock Research for Rural Development*, **20**, 1-5. <http://www.lrrd.org/lrrd20/12/anie20205.htm>, 8. Mai 2018
- ANIEBO, A.O., ERONDU, E.S. und OWEN, O.J. (2009): Replacement of Fish Meal with Maggot Meal in African Catfish (*Clarias gariepinus*) Diets. *Revista Científica UDO Agrícola*, **9**, 653-656. <https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/45510/1/cg09081.pdf>, 8. Mai 2018
- ARANGO GUTIÉRREZ, G.P., VERGARA RUIZ, R.A. und MEJÍA VÉLEZ, H. (2004): Compositional, Microbiological and Protein Digestibility Analysis of the Larvae Meal of *Hermetia illucens* L. (diptera: Stratiomyiidae) at Angelópolis-Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, **57**, 2491-2500.
- AUSTIC, R.E. (1983): Nutritional Interactions of Amino Acids. Recent Advances in Animal Nutrition (RAAN) Conference Proceedings, 307-312. <https://pdfs.semanticscholar.org/ceca/08f45028f4f89b4f26a16a53dab195971bed.pdf>, 11. Dezember 2018
- AVIAGEN (2014a): Ross 308 Broiler: Performance Objectives. http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross-308-Broiler-PO-2014-EN.pdf, 22. Mai 2018

- AVIAGEN (2014b). Ross 308 Broiler. Standard und Sollwerte. Handbuch.
- AWONIYI, A.M., ALETOR, V.A. und AINA, J.M. (2003): Performance of Broiler-Chickens Fed on Maggot Meal in Place of Fishmeal. *International Journal of Poultry Science*, **2**, 271-274. <http://dx.doi.org/10.3923/ijps.2003.271.274>
- AWT Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe in der Tierernährung (1998): Aminosäuren in der Tierernährung, Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe in der Tierernährung e.V. (Hrsg.): Agrimedia, Bonn. S. 11-12. <http://www.awt-feedadditives.org/ckfinder/userfiles/files/publication/Aminosäuren-NEU-DE.pdf>, 10. August 2018
- AYIEKO, M.A., ORIARO, V. und NYAMBUGA, I.A. (2010): Processed Products of Termites and Lake Flies: Improving Entomophagy for Food Security within the Lake Victoria Region. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, **10**, 2085-2098.
- AZAGOH, C., HUBERT, A. und MEZDOUR, S. (2015): Insect Biorefinery in Europe: 'Designing the Insect Biorefinery to Contribute to a more Sustainable Agro-Food Industry'. *Journal of Insects as Food and Feed*, **1**, 159-168. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0009>
- BAKER, D.H. und HAN, Y. (1994): Ideal Amino Acid Profile for Chicks During the First Three Weeks Posthatching. *Poultry Science*, **73**, 1441-1447. <https://doi.org/10.3382/ps.0731441>
- BAKER, D.H., BATAL, A.B., PARR, T.M., AUGSPURGER, N.R. und PARSONS, C.M. (2002): Ideal Ratio (Relative to Lysine) of Tryptophan, Threonine, Isoleucine, and Valine for Chicks During the Second and Third Weeks Posthatch. *Poultry Science*, **81**, 485-494. <https://doi.org/10.1093/ps/81.4.485>
- BAKER, D.H., FERNANDEZ, S.R., WEBEL, D.M. und PARSONS, C.M. (1996): Sulfur Amino Acid Requirement and Cystine Replacement Value of Broiler Chicks During the Period Three to Six Weeks Posthatching. *Poultry Science*, **75**, 737-742. <https://doi.org/10.3382/ps.0750737>
- BALOGUN, A.M., FSAKIN, E.A. und OWOLANKE, D. (1997): Evaluation of Fish Silage/Soybean Meal Blends as Protein Feedstuff for *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) Fingerlings. *Journal of Applied Animal Research*, **11**, 129-136.
- BARBATO, G.F. (1992): Genetic Architecture of Carcass Composition in Chickens. *Poultry Science*, **71**, 789-798. <https://doi.org/10.3382/ps.0710789>
- BARRAGAN-FONSECA, K.B., DICKE, M. und VAN LOON, J.J.A. (2017): Nutritional Value of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) and its Suitability as Animal Feed - a Review. *Journal of Insects as Food and Feed*, **3**, 105-120. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0055>

- BARROSO, F.G., DE HARO, C, SÁNCHEZ-MUROS, M.J., VENEGAS, E., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, A. und PÉREZ-BAÑÓN, C. (2014): The Potential of Various Insect Species for Use as Food for Fish. *Aquaculture*, **422-423**, 193-201. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.024>
- BARROWS, F.T., BELLIS, D., KROGDAHL, A., ASHILD, S., FEFFREY, T. und HERMANN, E.M. (2008): Report of the Plant Products in Aquafeed Strategic Planning Workshop: An Integrated, Interdisciplinary Research Roadmap for Increasing Utilization of Plant Feedstuffs in Diets for Carnivorous Fish. *Reviews in Fisheries Science*, **16**, 449-455. <https://doi.org/10.1080/10641260802046734>
- BARTOV, I. (1985): Effects of Dietary Protein Concentration and Corticosterone Injections on Energy and Nitrogen Balances and Fat Deposition in Broiler Chicks. *British Poultry Science*, **26**, 311-324. <https://doi.org/10.1080/00071668508416819>
- BENDER, A. und MILLER, D. (1953): A New Brief Method of Estimating Net Protein Value. *Biochemical Journal*, **53**, vii.
- BENKENDORFF, K. (2004): Untersuchungen zum leistungsabhängigen Bedarf an Lysin, Methionin/Cystin und Threonin von Nil-Tilapien auf Grundlage der Aminosäure-Wirksamkeit in ausgewählten Proteinträgermischungen. Dissertation, Tierernährungsphysiologie, Georg-August Universität, Göttingen.
- BERENBAUM, M.R. (1995): Bugs in the System. Insects and their Impact on Human Affairs (Helix Books). *Basic Books*; 1st Edition. ISBN-13: 978-0201408249
- BIASATO, I., DE MARCO, M., ROTOLO, L., RENNA, M., LUSSIANA, C., DABBOU, S., CAPPUCHINO, M.T., BIASIBETTI, E., COSTA, P., GAI, F., POZZO, L., DEZZUTTO, D., BERGAGNA, S., MARTINEZ, S., TARANTOLA, M., GASCO, L. und SCHIAVONE, A. (2016): Effects of Dietary *Tenebrio molitor* Meal Inclusion in Free-Range Chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **100**, 1104-1112. <https://doi.org/10.1111/jpn.12487>
- BLOCK, R.J. und MITCHELL, H.H. (1946): The Correlation of Amino Acid Composition of Proteins with their Nutritive Value. *Nutrition Abstracts & Reviews*, **16**, 249-278.
- BOLAND, M.J., RAE, A.N., VEREIJKEN, J.M., MEUWISSEN, M.P.M., FISCHER, A.R.H., VAN BOEKEL, M.A.J.S., RUTHERFURD, S.M., GRUPPEN, H., MOUGHAN, P.J. und HENDRIKS, W.H. (2013): The Future Supply of Animal-Derived Protein for Human Consumption. *Trends in Food Science and Technology*, **29**, 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.07.002>
- BONDARI, K. und SHEPPARD, D.C. (1981): Soldier Fly Larvae as Feed in Commercial Fish Production. *Aquaculture*, **24**, 103-109. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(81\)90047-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(81)90047-8)

- BONDARI, K. und SHEPPARD, D.C. (1987): Soldier Fly, *Hermetia illucens*, Larvae as Feed for Channel Catfish *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and Blue Tilapia *Oreochromis aureus* (Steindacher). *Aquaculture Research*, **18**, 209-220. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1987.tb00141.x>
- BOOT, R.G., BLOMMAART, E. F.C., SWART, E., GHAUHARALI-VAN DER VLUGT, K., BIJL, N., MOE, C., PLACE, A. und AERTS, J.M.F.G. (2001): Identification of a Novel Acidic Mammalian Chitinase Distinct from Chitotriosidase. *Journal of Biological Chemistry*, **276**, 6770-6778. <https://doi.org/10.1074/jbc.M009886200>
- BOOTH, D.C. und SHEPPARD, C. (1984): Oviposition of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: stratiomyidae): Eggs, Masses, Timing, and Site Characteristics. *Environmental Entomology*, **13**, 421-423. <https://doi.org/10.1093/ee/13.2.421>
- BOSCH, G., ZHANG, S., OONINCX, D.G.A.B. und HENDRIKS, W.H. (2014): Protein Quality of Insects as Potential Ingredients for Dog and Cat Foods. *Journal of Nutritional Science*, **3**, e29. <https://doi.org/10.1017/jns.2014.23>
- BOVERA, F., LOPONTE, R., MARONO, S., PICCOLO, G., PARISI, G., IACONISI, V., GACO, L. und NIZZA, A. (2016): Use of *Tenebrio molitor* Larvae Meal as Protein Source in Broiler Diet: Effect on Growth Performance, Nutrient Digestibility, and Carcass and Meat Traits. *Journal of Animal Science*, **94**, 639-647. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9201>
- BOVERA, F., PICCOLO, G., GASCO, L., MARONO, S., LOPONTE, R., VASSALOTTI, G., MASTELLONE, V., LOMBARDI, P., ATTIA, Y.A. und NIZZA, A. (2015): Yellow Mealworm Larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a Possible Alternative to Soybean Meal in Broiler Diets. *British Poultry Science*, **56**, 569-575. <https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1080815>
- BRANDT, M. und ALLAM, S.M. (1987): Analytik von TiO₂ im Darminhalt und Kot nach Kjeldahlaufschluss. *Archives of Animal Nutrition*, **37**, 453-454
- BREDE, A., NEUMANN, C., VELTEN, S. und LIEBERT, F. (2016): Evaluation of *Hermetia illucens* and *Spirulina platensis* Proteins in Semi-Synthetic Diets for the Laboratory Rat. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*. (Hrsg.): DLG-Verlag. Frankfurt am Main, Germany, **25**, 31.
- BREDE, A., WECKE, C. und LIEBERT, L. (2018a): Does the Optimal Dietary Methionine to Cysteine Ratio in Diets for Growing Chickens Respond to High Inclusion Rates of Insect Meal from *Hermetia illucens*? *Animals*, **8**, 187-203. <http://dx.doi.org/10.3390/ani8110187>
- BREDE, A., WECKE, C., SÜNDER, A. und LIEBERT, F. (2018b): Besonderheiten bei der Versorgung mit schwefelhaltigen Aminosäuren unter spezieller Beachtung der Mastgeflügelernährung. *Übersichten Tierernährung*, **43**, 1-52.

- BRIEGEL, H. (1990): Metabolic Relationship between Female Bodysize, Reserves and Fecundity of *Aedes aegypti*. *Journal of Insect Physiology*, **36**, 165-172. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1910\(90\)90118-Y](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1910(90)90118-Y)
- BRINCHMANN, B. C., BAYAT, M., BRØGGER, T., MUTTUVELU, D. V., TJØNNELAND, A. und SIGSGAARD, T. (2011): A Possible Role of Chitin in the Pathogenesis of Asthma and Allergy. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, **18**, 7-12.
- BROSNAN, J.T. und BROSNAN, M.E. (2006): The Sulfur-Containing Amino Acids: An Overview. *The Journal of Nutrition*, **136**, 1636-1640. <https://doi.org/10.1093/jn/136.6.1636S>
- BSAS (2003): Nutrient Requirements Standards for Pigs. In: Whittemore, C.T., Hazzledine, M.J., Close, W.H. (Hrsg.): British Society of Animal Science (BSAS). Penicuik, UK.
- BUNCHASAK, C. (2009): Role of Dietary Methionine in Poultry Production. *The Journal of Poultry Science*, **46**, 169-179. <https://doi.org/10.2141/jpsa.46.169>
- BUSSLER, S., RUMPOLD, B.A., JANDER, E., RAWEL, H.M. und SCHLUTER, O.K. (2016): Recovery and Techno-Functionality of Flours and Proteins from Two Edible Insect Species: Meal Worm (*Tenebrio molitor*) and Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae. *Heliyon*, **2**, e00218. <https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.heliyon.2016.e00218>
- CALIGIANI, A., Marseglia, A., Leni, G., Baldassarre, S., Maistrello, L., Dossena, A. und Sforza, S. (2018): Composition of Black Soldier Fly Prepupae and Systematic Approaches for Extraction and Fractionation of Proteins, Lipids and Chitin. *Food Research International*, **105**, 812-820. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.012>
- CALVERT, C.C. und MARTIN, R.D. (1969): Housefly Pupae as Food for Poultry. *Journal of Economic Entomology*, **62**, 938-939. <http://dx.doi.org/10.1093/jee/62.4.938>
- CARUSO, D., DEVIC, E., SUBAMIA, I. W., TALAMOND, P. und BARAS, E. (2013): Technical Handbook of Domestication and Production of Diptera Black Soldier Fly (BSF) *Hermetia illucens*. *Stratiomyidae*. (Hrsg.): Percetakan IPB. ISBN: 978-979-493-610-8
- CHAKRAVORTY, J., GHOSH, S. und MEYER-ROCHOW, V.B. (2011): Practices of Entomophagy and Entomotherapy by Members of the Nyishi and Galo Tribes, two Ethnic Groups of the State of Arunachal Pradesh (North-East-India). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, **7**, 1-14. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-7-5>
- CHAPMAN, R.F. (1971): The Insect Structure and Function. 2nd edition. English Universities Press.
- CHAPMAN, R.F. (1998): The Insects: Structure and Function. Cambridge University Press, Fourth Edition. 69-91. <http://catdir.loc.gov/catdir/samples/cam034/97035219.pdf>, 24. Juli 2018

- CHARLTON, A. J., DICKINSON, M., WAKEFIELD, M. E., FITCHES, E., KENIS, M., HAN, R., ZHU, F., KONE, N., GRANT, M., DEVIC, E., BRUGGEMAN, G., PRIOR, R. und SMITH, R. (2015): Exploring the Chemical Safety of Fly Larvae as a Source of Protein for Animal Feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, **1**, 7–16. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0020>
- CHUNG, T.K. und BAKER, D.H. (1992): Ideal Amino Acid Pattern for Ten Kilogram Pigs. *Journal of Animal Science*, **70**, 3102-3111. <https://doi.org/10.2527/1992.70103102x>
- ČIČKOVÁ, H., NEWTON, G.L., LACY, R.C. und KOZÁNEK, M. (2015): The Use of Fly Larvae for Organic Waste Treatment. *Waste Management*, **35**, 68-80. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.026>
- COCKCROFT, B.L. (2018): An evaluation of Defatted Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae as a Protein Source for Broiler Chicken Diets. Master Thesis, Stellenbosch Universität. <http://scholar.sun.ac.za/handle/10019.1/103626>, 20. Juli 2018
- COLLIER, J. und VALLANCE, P. (1989): Second Messenger Role for NO Widens to Nervous and Immune Systems. *Trends in Pharmacological Science*, **10**, 427-431. [https://doi.org/10.1016/S0165-6147\(89\)80001-X](https://doi.org/10.1016/S0165-6147(89)80001-X)
- COMMISSION REGULATION (EU) 2017/893 Official Journal of the European Union of 24 May 2017 Amending Annex I and IV to Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council and Annexes X, XIV and XV to Commission Regulation (EU) No 142/2011 as Regards the Provisions on Processed Animal Protein. OJ L 138, 25.05.2017, 92-116.
- CONDE-AGUILERA, J.A., CHOLET, J.C.G., LESSIRE, M., MERCIER, Y., TESSERAUD, S., VAN MILGEN, J. (2016): The Level and Source of Free-Methionine Affect Body Composition and Breast Muscle Traits in Growing Broilers. *Poultry Science*, **95**, 2322-2331. <https://doi.org/10.3382/ps/pew105>
- CONDE-AGUILERA, J.A., COBO-ORTEGA, C., TESSERAUD, S., LESSIRE, M., MERCIER, Y., VAN MILGEN, J. (2013): Changes in Body Composition in Broilers by a Sulfur Amino Acid Deficiency During Growth. *Poultry Science*, **92**, 1266-1275. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02796>
- CUCA G., M. und JENSEN, L.S (1990): Arginine Requirement of Starting Broiler Chicks. *Poultry Science*, **69**, 1377-1382. <https://doi.org/10.3382/ps.0691377>
- CULLERE, M., TASONIERO, G., GIACCONE, V., MIOTTI-SCAPIN, R., CLAEYS, E., DE SMET, S. und DALLE ZOTTE, A. (2016): Black Soldier Fly as a Dietary Protein Source for Broiler Quails: Apparent Digestibility, Excreta Microbial Load, Feed Choice, Performance, Carcass and Meat Traits. *Animal*, **10**, 1923-1930. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001270>

- D'MELLO, J.P.F. und LEWIS, D. (1970). Amino Acid Interaction in Chick Nutrition. 1. Interrelationship Between Lysine and Arginine. *British Poultry Science*, **11**, 299-311. <https://doi.org/10.1080/00071667008415820>
- D'MELLO, J.P.F. (2003): Adverse Effects of Amino Acids. In *Amino Acids in Animal Nutrition*; (Hrsg.): D'Mello, J.P.F., CABI Publishing: Wallingford, UK, 124-142. ISBN 0 85199 654 X http://gtu.ge/Agro-Lib/0834903_04864_d_mello_j_p_f_amino_acids_in_animal_nutrition_2d_edition.pdf, 26.11.2018
- DABBOU, S., GAI, F., BIASATO, I., CAPUCCHINO, M.T, BIASIBETTI, E., DEZZUTTO, D., MENEGUZ, M., PLACHÁ, I., GASCO, L. und SCHIVAONE, A. (2018): Black Soldier Fly Defatted Meal as a Dietary Protein Source for Broiler Chickens: Effects on Growth Performance, Blood Traits, Gut Morphology and Histological Features. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, **9**, 49-58. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0266-9>
- DANKWA, D., ODDOYE, E.O.K. und MZAMO, K.B. (2000): Preliminary Studies on the Complete Replacement of Fishmeal by House-Fly-Larvae-Meal in Weaner Pig Diets: Effects on Growth Rate, Carcass Characteristics, and some Blood Constituents. *Ghana Journal of Agricultural Science*, **33**, 223-227.
- DASHEFSKY, H.S., ANDERSON, D.L., TOBIN, E.N. und PETERS, T.M. (1976): Face Fly Pupae: A Potential Feed Supplement for Poultry. *Environmental Entomology*, **5**, 680-682. <https://doi.org/10.1093/ee/5.4.680>
- DBV (2016): Erzeugung und Märkte. Situationsbericht 2016/17. (Hrsg.): Deutscher Bauernverband (DBV) Berlin, Germany, 144-193.
- DEAN, W. F. und SCOTT, H.M. (1965): The Development of an Amino Acid Reference Diet for the Early Growth of Chicks. *Poultry Science*, **44**, 803-808. <https://doi.org/10.3382/ps.0440803>
- DE FOLIART, G.R. (1992): Insects as Human Food: Gene DeFoliart discusses some nutritional and economic aspects. *Crop Protection*, **11** (Science Publishers, INC), 395-399. http://labs.russell.wisc.edu/insectsasfood/files/2012/09/14_InsectsHumanFood.pdf, 10. Juli 2018
- DEFOLIART, G.R., FINKE, M.D. und SUNDE, M.L. (1982): Potential Value of the Mormon Cricket (*Orthoptera: Tettigonidae*) Harvested as a High-Protein Feed for Poultry. *Journal of Economic Entomology*, **75**, 848-852. <https://doi.org/10.1093/jee/75.5.848>
- DE LANGE, C.F.M., BIRKETT, S.H. und MOREL, P.C.H. (2001): Protein, Fat and Bone Tissue Growth in Swine. (Hrsg.): Lewis, A.J und Southern, L.L. *Swine Nutrition*. Boca Raton, CRC Press, 65-84.

- DE MARCO, M., SARTÍNEZ, S., HERNANDEZ, F., MADRID, J., GAI, F., ROTOLO, L., BELFORTI, M., BERGERO, D., KATZ, H., DABBOU, S., KOVITVADHI, A., ZOCCARATO, I., GASCO, L. und SCHIAVONE, A. (2015): Nutritional Value of Two Insect Larvae Meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for Broiler Chickens: Apparent Nutrient Digestibility, Apparent Ileal Amino Acid Digestibility and Apparent Metabolizable Energy. *Animal Feed Science and Technology*, **209**, 211-218. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006>
- DI BATTISTA, D. (1987): Control of Protein Intake in Golden Hamster. *Physiology & Behavior*, **39**, 1-10. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(87\)90337-4](https://doi.org/10.1016/0031-9384(87)90337-4)
- DICLARO II, J. W. und KAUFMAN, P. E. (2010): Black Soldier Fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta: *Diptera*: *Stratiomyidae*). EENY461, Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- DIENER, S., ZURBRUGG, C. und TOCKNER, K. (2009): Conversion of Organic Material by Black Soldier Fly Larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Management Research*, **27**, 603–610. <https://doi.org/10.1177%2F0734242X09103838>
- DIENER, S.; ZURBRÜGG, C.; GUTIÉRREZ, F.R; NGUYEN, D. H.; MOREL, A.; KOOTTATEP, T. und TOCKNER, K. (2011): Black Soldier Fly Larvae for Organic Waste Treatment - Prospects and Constraints. (Hrsg.): Alamgir, M. Proceedings of the 2011-2nd International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries 13.-15. Feb. 2011, Khulna, Bangladesh, 52 (1-8), ISBN: 978-984-33-2705-5.
- DIERENFELD, E.S. und KING, J. (2009): Digestibility and Mineral Availability of Phoenix Worms (*Hermetia illucens*) Ingested by Mountain Chicken Frogs (*Leptodactylus fallax*). *Journal of Herpetological Medicine and Surgery*, **18**, 100-105. <https://doi.org/10.5818/1529-9651.18.3-4.100>
- DIERICK, N.A., VERVAEKE, I.J., DECUYPERE, J.A. und HENDRICKX, H. K. (1990): Bacterial Protein Synthesis in Relation to Organic Matter Digestion in the Hindgut of Growing Pigs; Contribution of Hindgut Fermentation to Total Energy Supply and Growth Performances. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **63**, 220-235. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1990.tb00139.x>
- DIETZ, C. und LIEBERT, F. (2018): Does Graded Substitution of Soy Protein Concentrate by an Insect Meal Respond on Growth and N-Utilization in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)? *Aquaculture Reports*, **12**, 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.09.001>

- DILGER, R.N. und BAKER, D.H. (2007): DL-Methionine is as Efficacious as L-Methionine, but Modest L-Cystine Excesses are Anorexigenic in Sulfur Amino Acid-Deficient Purified and Practical-Type Diets Fed to Chicks. *Poultry Science*, **86**, 2367-2374. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00203>
- DILGER, R.N. und BAKER, D.H. (2008): Excess Dietary L-Cysteine Causes Lethal Metabolic Acidosis in Chicks. *The Journal of Nutrition*, **138**, 1628-1633. <https://doi.org/10.1093/jn/138.9.1628>
- DIXON, W. J. und MASSEY, F.J. (1969): Introduction to Statistical Analysis. New Dehli: Mc Graw-Hill.
- DLG (2008): Empfehlungen zur Sauen- und Ferkelfütterung. Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG). (Hrsg.): DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung. DLG-Verlag. Frankfurt am Main. ISBN: 978-3-7690-0724-4
- DRIEMEYER, H. (2016): Evaluation of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae as an Alternative Protein Source in Pig Creep Diets in Relation to Production, Blood and Manure Microbiology Parameters. Master Thesis, University of Stellenbosch, Western Cape, South Africa. <http://scholar.sun.ac.za/handle/10019.1/100283>, 12. August 2018
- EFSA (2015): Risk Profile Related to Production and Consumption of Insects as Food and Feed. *EFSA Journal*, **13**. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4257>
- ELWERT, C., KNIPS, Y. und KATZ, P. (2010): A Novel Protein Source: Maggot Meal of the Black Soldier fly (*Hermetia illucens*) in Broiler Feed. Tagungsband 11. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle-Wittenberg 2010, 140-142. ISBN 78-3-86829-250-3
- EMMERT, J.L. und BAKER, D.H. (1997): Use of the Ideal Protein Concept for Precision Formulation of Amino Acid Levels in Broiler Diets. *The Journal of Applied Poultry Research*, **6**, 462-470. <https://doi.org/10.1093/japr/6.4.462>
- EMMERT, J.L., EDWARDS, H.M. und BAKER, D.H. (2000): Protein and Body Weight Accretion of Chicks on Diets with Widely Varying Contents of Soybean Meal Supplemented with its Limiting Amino Acids, *British Poultry Science*, **41**, 204-213. <https://doi.org/10.1080/713654908>
- ESMAIL, S.H.M. und CHAMBERLAIN, A.G. (1987): Effect of Dietary-Components on the Growth and Body Composition of Broiler-Chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **58**, 262-266. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1987.tb00171.x>
- EXPO, K.E. (2011): Effect of Processing on the Protein Quality of Four Popular Insects Consumed in Southern Nigeria. *Archives of Applied Science Research*, **3**, 307-326.

- FANIMO, A.O., SUSENBETH, A. und SÜDEKUM, K.-H. (2005): Protein Utilisation, Lysine Bioavailability and Nutrient Digestibility of Shrimp Meal in Growing Pigs. *Animal Feed Science and Technology*, **129**, 196-209. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.12.018>
- FAO (2004): Protein Sources for the Animal Feed Industry. Expert Consultation and Workshop, 29 April - 3 May 2002. (Hrsg.): Food and Agricultural Organization (FAO). Bangkok, Thailand. ISBN: 9251050120
- FAO (2013): Edible Insects-Future Prospects for Food and Feed Security. FAO Forestry Paper No. 171, (Hrsg.): FAO, Rome. <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf>, 15. Mai 2018
- FAO (2014): Animal Production and Health Meat – Meat Consumption. (Hrsg.): Agriculture and Consumer Protection Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/meat/background.html>, 15. Mai 2018
- FARKE, J. (2011): Studien zur Aminosäurenwirksamkeit beim Mastgeflügel unter spezifischer Betrachtung der schwefelhaltigen Aminosäuren. Dissertation, Tierernährungsphysiologie, Georg-August-Universität, Göttingen.
- FASAKIN, E.A., BALOGUN, A.M. und AJAYI, O.O. (2003): Evaluation of Full-Fat and Defatted Maggot Meals in the Feeding of Clariid Catfish, *Clarias gariepinus*, Fingerlings. *Aquaculture Research*, **34**, 733-738. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00876.x>
- FEARNSIDE, P.M. (2001): Soybean Cultivation as a Threat to the Environment in Brazil. *Environmental Conservation*, **28**, 23-38.
- FINKE, M.D. (2002): Complete Nutrient Composition of Commercially Raised Invertebrates Used as Food for Insectivores. *Zoo Biology*, **21**, 269-285. <https://doi.org/10.1002/zoo.10031>
- FINKE, M.D. (2004): Nutrient Content of Insects-Organic Value Recovery Solution Studies. *Encyclopedia of Entomology*, (Hrsg.): Springer, Dordrecht, 147-233. https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F0-306-48380-7_2920, 20. Mai 2018
- FINKE, M.D. (2007): Estimate of Chitin in Raw Whole Insects. Research Article. *Zoo Biology*, **26**, 105-115. <https://doi.org/10.1002/zoo.20123>
- FINKE, M.D. (2012): Complete Nutrient Content of Four Species of Feeder Insects. *Zoo Biology*, **32**, 27-36. <https://doi.org/10.1002/zoo.21012>
- FINKE, M.D., SUNDE, M.L. und DEFOLIART, G.R. (1985): An Evaluation of the Protein Quality of Mormon Crickets (*Anabrus simplex*) when Used as a High Protein Feedstuff for Poultry. *Poultry Science*, **64**, 708-712. <https://doi.org/10.3382/ps.0640708>

- FISCHER, R.A., BYERLEE, D. und EDMEADES, G.O. (2014): Crop Yields and Global Food Security. Will Yield Increase Continue to Feed the World? ACIAR Monograph No.158. (Hrsg.): Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra, Australia. <https://www.aciar.gov.au/node/12101>, 15. Mai 2018
- FLACHOWSKY, G. und JEROCH, H. (1973): Der Einfluß eines variierenden Energie- und Rohproteingehaltes im Mischfutter auf die Ausschachtungsergebnisse, die chemische Körperzusammensetzung und die Fleischqualität männlicher und weiblicher Broiler. *Archiv für Tierernährung*, **23**, 385-395. <https://doi.org/10.1080/17450397309420986>
- FOLEY, J.A., RAMANKUTTY, N., BRAUMAN, K.A., CASSIDY, E.S., GERBER, J.S., JOHNSTON, M., MUELLER, N.D., O'CONNELL, C., RAY, D.K., WEST, P.C., BALZER, C., BENNETT, E.M., CARPENTER, S.R., HILL, J., MONFREDA, C., POLASKY, S., ROCKSTRÖM, J., SHEEHAN, J., STEBERT, S., TILMAN, D. und ZAKS, P.M. (2011): Solutions for a Cultivated Planet. *Nature*, **478**, 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- FORBES, J.M. und SHARIATMADARI, F. (1994): Diet Selection for Protein by Poultry. *Worlds Poultry Science Journal*, **50**, 7-24. <https://doi.org/10.1079/WPS19940002>
- FULLER, M. F. (2004): The Encyclopedia of Farm Animal Nutrition. (Hrsg.): CABI Publishing, Wallingford, UK. <https://doi.org/10.1079/9780851993690.0000>
- FULLER, M.F., MCWILLIAM, R., WANG, T.C. und GILES, L.R. (1989): The Optimum Dietary Amino Acid Pattern for Growing Pigs. 2. Requirements for Maintenance and for Tissue Protein Accretion. *British Journal of Nutrition*, **62**, 255-267. <https://doi.org/10.1079/BJN19890028>
- FURMAN, D.P., YOUNG, R.D. und CATTS, P.E. (1959): *Hermetia illucens* (Linnaeus) as a Factor in the Natural Control of *Musca Domestica* Linnaeus. *Journal of Economic Entomology*, **52**, 917-921.
- GARCIA, M.A. und ALTIERI, M.A. (2005): Transgenic Crops: Implications for Biodiversity and Sustainable Agriculture. *Bulletin of Science, Technology & Society*, **25**, 335-353. <https://doi.org/10.1177/0270467605277293>
- GEBHARDT, G. (1966): Die Bewertung der Eiweißqualität von Nahrungs- und Futtermitteln mit Hilfe des N-Bilanzversuches. (Hrsg.): Hock, A., Ed., *Vergleichende Ernährungslehre des Menschen und seiner Haustiere*, Gustav Fischer Verlag, Jena, Germany, 323-348.
- GEBHARDT, G. (1980): Eiweiß- und Aminosäureverwertung in Beziehung zum Stoffwechsel der limitierenden Aminosäure. *Archiv für Tierernährung*, **30**, 63-71. <https://doi.org/10.1080/17450398009441181>
- GFE (1999): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). (Hrsg.): DLG-Verlag: Frankfurt am Main, Germany.

- GFE (2008): Prediction of Metabolisable Energy of Compound Feeds for Pigs. (Hrsg.): Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE), *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, **17**, 199–204.
- GIETZEN, D. W. und ROGERS, Q.R. (2006): Nutritional Homeostasis and Indispensable Amino Acid Sensing: A New Solution to an Old Puzzle. *Trends in Neuroscience*, **29**, 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2005.12.007>
- GIETZEN, D. W., HAO, S. und ANTHONY, T.G. (2007): Mechanisms of Food Intake Repression in Indispensable Amino Acid Deficiency. *Annual Review of Nutrition*, **27**, 63-78. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.27.061406.093726>
- GOODBAND, B., TOKACH, M. DRITZ, S., DE ROUCHEY, J. und WOODWORTH, J. (2014): Practical Starter Pig Amino Acid Requirements in Relation to Immunity, Gut Health and Growth Performance. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, **5**, 12-13. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-5-12>
- GRABER, G. und BAKER, D.H. (1971): Sulfur Amino Acid Nutrition of the Growing Chick: Quantitative Aspects Concerning the Efficacy of Dietary Methionine, Cysteine and Cystine. *Journal of Animal Science*, **33**, 1005-1011. <https://doi.org/10.2527/jas1971.3351005x>
- GRABER, G., SCOTT, H.M. und BAKER, D.H. (1971): Sulfur Amino Acid Nutrition of the Growing Chick: Effect of Age on the Capacity of Cystine to Spare Dietary Methionine. *Poultry Science*, **50**, 1450-1455. <https://doi.org/10.3382/ps.0501450>
- GRUBER, K., ROTH, F.X. und KIRCHGESSNER, M. (2000): Effect of Partial Dietary Amino Acid De-
ductions on Growth Rate and Nitrogen Balance in Growing Chicks. *Archiv für Ge-
flügelkunde*, **64**, 244-250. ISSN: 0003-9098.
- GULLAN, P.J. und CRANSTON, P.S. (2005): *The Insects. An Outline of Entomology*. (Hrsg.): Wiley Blackwell, 3rd. Edition, Oxford, 10-20. ISBN-13: 978-1405111133
- HAASBROEK, P. (2016): The Use of *Hermetia illucens* and *Chrysomya chloropyga* Larvae and Prael-pupae Meal in Ruminant Nutrition. MSc Thesis, University of Stellenbosch, Western Cape, South Africa. <http://scholar.sun.ac.za/handle/10019.1/98726>, 20. Juli 2018
- HAHN, T., ROTH, A., FEBEL, E., FIJALOWSKA, M., SCHMITT, E., ARSIWALLA, T. und ZIBEK, S. (2018): New Methods for High-Accuracy Insect Chitin Measurement. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **98**, 5069-5073. <http://doi.org/10.1002/jsfa.9044>

- HALLORAN, A. und VANTOMME, P. (2013): The Contribution of Insects to Food Security, Livelihoods and the Environment. (Hrsg.): FAO, Rom: Selbstverlag. <http://www.fao.org/forestry/edibleinsects/en/> , 23. Mai 2018
- HALLORAN, A., HANBOONSONG, Y., ROOS, N. und BRUUN, S. (2017): Life Cycle Assessment of Cricket Farming in North-Eastern Thailand. *Journal of Cleaner Production*, **156**, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.017>
- HALLORAN, A., ROOS, N., EILENBERG, J., CERUTTI, A. und BRUUN, S. (2016): Life Cycle Assessment of Edible Insects for Food and Protein: A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, **36**, 57. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0392-8>
- HANBOONSONG, Y. (2010): Edible Insects and Associated Food Habits in Thailand. In: *Forest Insects as Food: Humans Bite Back*, Durst, P.B., Johnson, D.V., Leslie, R.N., Shono, K., (Hrsg.): Food and Agriculture Organization of the United Nations: Bangkok, Thailand, 173-182. ISBN 978-92-5-106488-7
- HAO, S., SHARP, J.W., ROSS-INTA, C. M., MCDANIEL, B. J., ANTHONY, T. G., WEK, R. C., CAVENER, D. R., MCGRATH, B. C., RUDELL, J. B., KOEHNLE, T. J. und GIETZEN, D.W. (2005): Uncharged tRNA and Sensing of Amino Acid Deficiency in Mammalian Piriform Cortex. *Science*, **307**, 1776-1778. <https://doi.org/10.1126/science.1104882>
- HEDEMANN, M.S. und JENSEN, B.B. (2004): Variations in Enzyme Activity in Stomach and Pancreatic Tissue and Digesta in Piglets Around Weaning. *Archives of Animal Nutrition*, **58**, 47-59. <https://doi.org/10.1080/00039420310001656677>
- HEDEMANN, M.S., PEDERSEN, A.R. und ENGBERG, R.M. (2001): Exocrine Pancreatic Secretion is Stimulated in Piglets Fed Fish Oil Compared with those Fed Coconut Oil or Lard. *Journal of Nutrition*, **131**, 3222-3226.
- HEINZ, T., HENK, G. und KESTING, S. (1981): Untersuchungen an Labortieren, Schweinen und Broilern zum Futterwert von Krillmehl. *Archiv für Tierernährung*, **31**, 537-547. <http://dx.doi.org/10.1080/17450398109426867>
- HENRY, M.; GASCO, L.; PICCOLO, G. und FOUNTOULAKI, E. (2015): Review on the Use of Insects in the Diet of Farmed Fish. *Animal Feed Science and Technology*, **203**, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>
- HOFFMANN, L., SCHIEMANN, R. und KLEIN, M. (1982): Untersuchungen zum Energiebedarf für den Proteinansatz an waschenden Ratten und Broilern. 4. Mitteilung: Untersuchung zum Energiebedarf für den Proteinansatz bei Broiler. *Archiv für Tierernährung*, **32**, 513-530.

- HOLSHEIMER, J. P. und RUESINK, E.W. (1993): Effect on Performance, Carcass Composition, Yield, and Financial Return of Dietary Energy and Lysine Levels in Starter and Finisher Diets Fed to Broilers. *Poultry Science*, **72**, 806-815. <https://doi.org/10.3382/ps.0720806>
- HOPLEY, D. (2015): The Evaluation of the Potential of *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio*, *Naophoeta cinera*, *Blaptica dubia*, *Gromphardhina portentosa*, *Perplaneta americana*, *Blatta lateralis*, *Oxyhalao duesta* and *Hermetia illucens* for Use in Poultry Feeds. MSc thesis, University of Stellenbosch, Western Cape, South Africa.
- HOSSAIN, S.M. und BLAIR, R. (2007): Chitin Utilization by Broilers and its Effect on Body Composition and Blood Metabolites. *British Poultry Science*, **48**, 33-38. <https://doi.org/10.1080/00071660601156529>
- HOUPT, K.A. und HOUPT, T.R. (1991): Appetite and Feeding Behavior. In: Miller, E.R., Ullrey, D.E., Lewis, A.J. (Hrsg.). Swine Nutrition. Butterworth-Heinemann. Stoneham, US, 361-372.
- HUDSON, S.M. und JENKINS, D.W. (2001): Chitin and Chitosan. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, **1**, 569-580. <https://doi.org/10.1002/0471440264.pst052>
- INAGAKI, S. und YAMASHATI, O. (1986): Metabolic Shift from Lipogenesis to Glycogenesis in the Last Instar Larval Fat Body of the Silkworm, *Bombyx mori*. *Insect Biochemistry*, **16**, 327-331. [https://doi.org/10.1016/0020-1790\(86\)90043-0](https://doi.org/10.1016/0020-1790(86)90043-0)
- INAOKA, T., OKUBO, G., YOKOTA, M. und TAKEMASA, M. (1999): Nutritive Value of House Fly Larvae and Pupae Fed on Chicken Faeces as Food Source for Poultry. *Journal of Poultry Science*, **36**, 174-180. <https://doi.org/10.2141/jpsa.36.174>
- JACKSON, S., SUMMERS, J.D. und LESSON, S. (1981): Effect of Dietary Protein and Energy on Broiler Carcass Composition and Efficiency of Nutrient Utilization. *Poultry Science*, **61**, 2224-2231. <https://doi.org/10.3382/ps.0612224>
- JACKSON, S.; PLACE, A. R. und SEIDERER L. J. (1992): Chitin Digestion and Assimilation by Seabirds. *The Auk*, **109**, 758-770. <http://www.jstor.org/stable/4088151>, 28. Juni 2018
- JAHN, B.M. (2000): Stickstoff-Bilanzstudien zum Erhaltungsbedarf an essentiellen Aminosäuren bei ausgewachsenen Sauen. Dissertation, Ernährungswissenschaften, Technische Universität München. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/603571/603571.pdf>, 26. November 2018
- JANKOWSKI, J., KUBINSKA, M. und TDUNCZYK, Z. (2014): Nutritional and Immunomodulatory Function of Methionine in Poultry Diets - A Review. *Annals of Animal Science*, **14**, 17-32. <https://doi.org/10.2478/aoas-2013-0081>

- JANSSEN, R.H., VINCKEN, J.-P., VAN DEN BROEK, L.A.M., FOGLIANO, V. und LAKEMON, C.M.M. (2017): Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Three Edible Insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **65**, 2275-2278. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00471>
- JANSSON, A. und BERGGREN, A. (2015): Insects as Food - Something for the Future? Future Agriculture, Swedish University of Agricultural Sciences. ISBN: 978-91-576-9335-8
- JEON, H., PARK, S., CHOI, J. JEONG, G., LEE, S.-B., CHOI, Y. und LEE, S.-J. (2011): The Intestinal Bacterial Community in the Food Waste-Reducing Larvae of *Hermetia illucens*. *Current Microbiology*, **62**, 1390-1399. <https://doi.org/10.1007/s00284-011-9874-8>
- JEROCH, H., SIMON, A. und ZENTEK, J. (2013): Geflügelernährung. (Hrsg.): Eugen Ulmer KG. ISBN: 978-3-8001-7869-8
- JEUNIAUX, C. und CORNERIUS, C. (1977): Distribution and Activity of Chitinolytic Enzymes in the Digestive Tract of Birds and Mammals. (Hrsg.): Muzzarelli R.A.A und Pariser E. R. Proceedings of the First International Conference on Chitin/Chitosan. Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, 542-549. <http://hdl.handle.net/2268/190140>, 19. Juli 2018
- Ji, Y.J., LIU, H.N., KONG, X.F., BLACHIER, F., GENG, M.M., LIU, Y.Y. und YIN, Y.C. (2016): Use of Insect Powder as a Source of Dietary Protein in Early-Weaned Piglets. *American Society of Animal Science*, **94**, 111-116. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9555>
- JOHNSON, D.V. (2010): The Contribution of Edible Forest Insects to Human Nutrition and to Forest Management. In: *Forest Insects as Food: Humans Bite Back*, Durst, P.B., Johnson, D.V., Leslie, R.N., Shono, K., (Hrsg.): Food and Agriculture Organization of the United Nations: Bangkok, Thailand, 5-22. ISBN: 978-92-5-106488-7
- JONES, D.B. (1941): Factors for Converting Percentages of Nitrogen in Foods and Feeds into Percentages of Proteins. United States Department of Agriculture, Circular No. 183, 1-22. http://foodfacts.foodcomp.info/References/Protein/Jones_1941%20nitrogen-protein%20conversion%20cir183.pdf, 5. Dezember 2018.
- JÓZEFIAK, D., JÓZEFIAK, A., KIEROŃCZYK, B., RAWSKI, M., ŚWIĄTKIEWICZ, S., DŁUGOSZ, J. und ENGBERG, R.E. (2016): Insects - A Natural Nutrient Source for Poultry - A Review. *Annals of Animal Science*, **16**, 297-313. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0010>
- KARASOV, W.H. (1990): Digestion in Birds: Chemical and Physiological Determinants and Ecological Implications. *Studies in Avian Biology*, **13**, 391-415.

- KIDD, M.T., PEEBLES, E.D., WHITMARSH, S.K., YEATMAN, J.B. und WIDEMAN, Jr., R.F. (2001): Growth and Immunity of Broiler Chicks as Affected by Dietary Arginine. *Poultry Science*, **80**, 1535-1542. <https://doi.org/10.1093/ps/80.11.1535>
- KIRCHGEßNER, M., ROTH, F.X., SCHWARZ, F.J. und STANGL, G.I. (2011): Tierernährung. 13. Neu überarbeitete Auflage. DLG-Verlag. ISBN-10: 3769008030
- KHAN, D.R., WECKE, C. und LIEBERT, F. (2015): An Elevated Dietary Cysteine to Methionine Ratio Does Not Impact on Dietary Methionine Efficiency and the Derived Optimal Methionine to Lysine Ratio in Diets for Meat Type Chicken. *Open Journal of Animal Sciences*, **5**, 457-466. <http://dx.doi.org/10.4236/ojas.2015.54047>
- KHEMPAKA, S., CHITSATCHAPONG, C. und MOLEE, W. (2011): Effect of Chitin and Protein Constituents in Shrimp Head Meal on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Intestinal Microbial Populations, Volatile Fatty Acids, and Ammonia Production in Broilers. *The Journal of Applied Poultry Research*, **20**, 1-11. <https://doi.org/10.3382/japr.2010-00162>
- KHEMPAKA, S., MOCHIZUKI, M., KOH, K. und KARASAWA, Y. (2006): Effect of Chitin in Shrimp Meal on Growth Performance and Digestibility in Growing Broilers. *The Journal of Poultry Science*, **43**, 339-343. <https://doi.org/10.2141/jpsa.43.339>
- KHUSRO, M., ANDREW, N.R. und NICHOLAS, A. (2012): Insects as Poultry Feed: A Scoping Study for Poultry Production Systems in Australia. *World's Poultry Science Journal*, **68**, 435-446. <https://doi.org/10.1017/S0043933912000554>
- KIM, W., BAE, S., PARK, K., LEE, S., CHOI, Y., HAN, S.; und KOH, Y. (2011): Biochemical Characterization of Digestive Enzymes in the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera. Stratiomyidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, **14**, 11-14. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2010.11.003>
- KLONICK, A. (2017): Bug Ideas: Assessing the Market Potential and Regulation of Insects. Master Thesis, Environmental Management, Duke University, Durham, USA. <https://dukespace.lib.duke.edu/dspace/bitstream/handle/10161/14175/KlonickMPFinal.docx?sequence=1&isAllowed=y>, 19. Juli 2018
- KLUTH, H. und RODEHUTSCORD, M. (2006): Comparison of Amino Acid Digestibility in Broiler Chickens, Turkeys and Pekin Ducks. *Poultry Science*, **85**, 1953-1960. <https://doi.org/10.1093/ps/85.11.1953>
- KLUTH, H., MEHLHORN, K. und RODEHUTSCORD, M. (2005): Studies on the Intestine Section to Be Sampled in Broiler Studies on Precaecal Amino Acid Digestibility. *Archives of Animal Nutrition*, **59**, 271-279. <https://doi.org/10.1080/17450390500217058>

- KOH, K. und IWAMAE, S. (2013): Chitinolytic Activity of Mucosal Enzymes in the Different Parts of the Digestive Tract in Broilers. *Japan Poultry Science Association*, **50**, 65-67. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0120054>
- KÖNIG, H.E. und LIEBICH, H.G. (2014): Verdauungsapparat (*Apparatus digestorius*). (Hrsg.): König, H.E. und Liebich, H.G., Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. Schattauer, 6. Auflage, Stuttgart, 352-353. ISBN-13: 978-3794529841
- KONO, M.; MATSUI, T. und SHIMIZU, C. (1987): Effect of Chitin, Chitosan, and Cellulose as Diet Supplements on the Growth of Cultured Fish. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**, 125-129. <https://doi.org/10.2331/suisan.53.125>
- KORTELAJAINEN, T., SILJANDER-RASI, H., TUORI, M. und PARTANEN, K. (2014): Ileal Digestibility of Amino Acids in Novel Organic Protein Feedstuffs for Pigs: Black Soldier Fly Larvae Meal (*Hermetia illucens*). Agrifood Research Finland. <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/532273/Hermetia.pdf?sequence=1>, 17. Mai 2018
- KRAMER, K.J., HOPKINS, T.L. und SCHAEFER, J. (1995): Applications of Solids NMR to the Analysis of Insect Sclerotized Structures. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, **25**, 1067-1080. [https://doi.org/10.1016/0965-1748\(95\)00053-4](https://doi.org/10.1016/0965-1748(95)00053-4)
- KROECKEL, S., HARJES, A.-G.E., ROTH, I., KATZ, H., WUERTZ, S., SUSENBETH, A. und SCHULZ, C. (2012): When a Turbot Catches a Fly. Evaluation of a Pre-pupae Meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Fish Meal Substitute- Growth Performance and Chitin Degradation in Juvenile Turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, **364-365**, 345-352. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.041>
- LECLERCQ, B., CHAQUEAU, A.M., COCHARD, T., HAMAOU, S. und LARBIERE, M. (1993): Comparative Utilisation of Sulphur-Containing Amino Acids by Genetically Lean or Fat Chickens. *British Poultry Science*, **34**, 383-391. <https://doi.org/10.1080/00071669308417593>
- LECLERCQ, M. (1997): A propos de *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) ("soldier fly") (*diptera: Stratiomyidae: Hermetiinae*). *Bulletin et annales de la Société royale d'entomologie de Belgique*, **133**, 275-282.
- LEE, C.G., DA SILVA, C.A., LEE, J.-Y., HARTL, D. und ELIAS, J.A. (2008): Chitin Regulation of Immune Responses- An old Molecule with New Roles. *Current Opinion in Immunology*, **20**, 684-689. <https://doi.org/10.1016/j.coi.2008.10.002>

- LEMME, A., RAVINDRAN, V. und BRYDEN, W. (2004): Ileal Digestibility of Amino Acids in Feed Ingredients for Broilers. *World's Poultry Science Journal*, **60**, 423-438. <https://doi.org/10.1079/WPS200426>
- LESHNER, A. I. (1972): Dietary Self-Selection by Pregnant and Lactating Rats. *Physiology & Behavior*, **8**, 151-154. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(72\)90144-8](https://doi.org/10.1016/0031-9384(72)90144-8)
- LESKANICH, C.O., MATTHEWS, K.R., WARKUP, C.C., NOBLE, R.C. und HAZZELDINE, M. (1997): The Effect of Dietary Oil Containing (n-3) Fatty Acids on the Fatty Acids, Physiocochemical, and Organoleptic Characteristics of Pig Meat and Fat. *Journal of Animal Science*, **75**, 673-683.
- LEWIS, D., SMITH, G. und PAYNE, C. (1963): Arginine in Poultry Nutrition: 1. Dietary Requirement for Arginine. *British Journal of Nutrition*, **17**, 415-431. <https://doi.org/10.1079/BJN19630045>
- LI, P., YIN, Y.L., LI, D., KIM, S.W. und WU, G. (2007). Amino acids and immune function. *British Journal of Nutrition*, **98**, 237-252. <https://doi.org/10.1017/S000711450769936X>
- LI, Q., ZHENG, L., QUI, N., CHAI, H., TOMBERLIN, J.K. und YU, Z. (2011): Bioconversion of Dairy Manure by Black Soldier Fly (*Diptera: Stratiomyidae*) for Biodiesel and Sugar Production. *Waste Management*, **31**, 1316-1320. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.005>
- LIEBERT, F. (1995): Methodical Investigations about Evaluation of Lysine Utilization in Reply to: Pigs Following Extreme Changes of Protein Quantity and Protein Quality. *Archives of Animal Nutrition*, **48**, 319-327. <https://doi.org/10.1080/17450399509381851>
- 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 Biology Research*, **1**, 101-110. <https://doi.org/10.3184/175815508X388074>
- LIEBERT, F. (2013): Available Protein Sources and Promising Developments to Meet Amino Acid Requirements. In: Proceedings, 19th European Symposium on Poultry Nutrition (ESPN), Potsdam, Germany, 26-29. August 2013, 29-35.
- LIEBERT, F. (2015): Basics and Applications of an Exponential Nitrogen Utilization Model ("Goettingen Approach") for Assessing Amino Acid Requirements in Growing Pigs and Meat Type Chickens Based on Dietary Amino Acid Efficiency. (Hrsg.): Sakomura, N.K., Gous, R., Kyriazakis, I. and Hauschild, L., *Nutritional Modelling for Pigs and Poultry*, CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK, 73-87. <https://doi.org/10.1079/9781780644110.0073>

- LIEBERT, F. (2017): Invited Review: Further Progress Is Needed in Procedures for the Biological Evaluation of Dietary Protein Quality in Pig and Poultry Feeds. *Archives Animal Breeding*, **60**, 259-270. <https://doi.org/10.5194/aab-60-259-2017>
- LIEBERT, F. und GEBHARDT, G. (1980): Beziehungen zwischen Lysinkonzentration und Kenndaten der Eiweiß- und Aminosäurenverwertung beim Broilerküken. *Archiv für Tierernährung*, **30**, 469-478. <https://doi.org/10.1080/17450398009430894>
- LIEBERT, F. und GEBHARDT, G. (1982): Zur Charakterisierung der Hitzeschädigung von Weizenkleber an Vicia-faba-Schrot mit Hilfe von N-Umsatzmessungen und Aminosäurebilanz des Verdauungstraktes bei Schweinen. *Archiv für Tierernährung*, **32**, 157-164. <https://doi.org/10.1080/17450398209425130>
- LIEBERT, F. und LEBZIEN, P. (2008): Das Rohprotein: Ausgangspunkt für derzeitige Verfahren zur Beurteilung der Proteinversorgung bei Schwein und Rind. *Übersichten Tierernährung*, **36**, 47-57.
- LIEBERT, F., NEUMANN, C., VELTEN, S und SÜNDER, A. (2017): Potenziale und Grenzen alternativer Proteinträger aus Insekten und Mikroalgen in der Masthähnchen- und Schweineernährung. Tagungsband 14.Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle-Wittenberg 2017, Übersichtsbeitrag, 10-21. ISBN: 978-3-86829-891-8
- LINDEN, T. (2012): Soldatenfliege *Hermetia Illucens*. Lebensweise, Zucht, Erfahrungen. <https://docplayer.org/22596295-Soldatenfliege-hermetia-illucens.html>, 12. Juni 2018
- LINDSAY, G.J.H., WALTON, M.J., ADRON, J.W., FLETCHER, T.C., CHO, C.Y. und COWEY, C.B. (1984): The Growth of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) Given Diets Containing Chitin and its Relationship to Chitinolytic Enzymes and Chitin Digestibility. *Aquaculture*, **37**, 315-334. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(84\)90297-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90297-7)
- LNW (2014). Rechenmeister für die Schweinefütterung. Neuauflage 2014. (Hrsg.): Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Germany.
- LOCK, E.R., ARSIWALLA, T., WAAGBØ, R. (2016): Insect Larvae Meal as an Alternative Source of Nutrients in the Diet of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Postsmolt. *Aquaculture Nutrition*, **22**, 1202-1213. <https://doi.org/10.1111/anu.12343>
- LONGVAH, T., MANGTHYA, K. und RAMULU, P. (2011): Nutrient Composition and Protein Quality Evaluation of Eri Silkworm (*Samia ricinii*) Prepupae and Pupae. *Food Chemistry*, **128**, 400-403. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.041>

- LOOY, H., DUNKEL, F.V. und WOOD, J.R. (2013): How then Shall We Eat? Insect-eating Attitudes and Sustainable Foodways. *Agriculture and Human Values*, **31**, 131-141. <https://doi.org/10.1007/s10460-013-9450-x>
- LORD, W.D., GOFF, M.L, ADKINS, R. und HASKELL, N.H. (1994): The Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) as a Potential Measure of Human Postmortem Interval: Observations and Case Histories. *Journal of Forensic Sciences*, **39**, 215-222. <https://doi.org/10.1520/JFS13587J>
- LOW, A.G. (1980): Nutrient Absorption in Pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **31**, 1087-1130. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740311102>
- LUMPKINS, B.S., BATAL, A.B. und BAKER, D.H. (2007): Variations in the Digestible Sulfur Amino Acid Requirement of Broiler Chickens due to Sex, Growth Criteria, Rearing Environment and Processing Yield Characteristics. *Poultry Science*, **86**, 325-330. <https://doi.org/10.1093/ps/86.2.325>
- MAKKAR, H.P.S., G. TRAN, V. HEUZÉ und P. ANKERS (2014): State-of-the-art on Use of Insects as Animal Feed. *Animal Feed Science and Technology*, **197**, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- MARIOTTI, F., TOME, D. und PATUREAU MIRAND, P.P. (2008): Converting Nitrogen into Protein - Beyond 6.25 and Jones' Factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **48**, 177-184. <https://doi.org/10.1080/10408390701279749>
- MARONO, S., PICCOLO, G., LOPONTE, R. DI MEO, C., ATTIA, Y.A., NIZZA, A. und BOVERA, F. (2015): *In vitro* Crude Protein Digestibility of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* Insect Meals and its Correlation with Chemical Composition Traits. *Italian Journal of Animal Science*, **14**, 338-343. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3889>
- MAURER, V., HOLINGER, M., AMSLER, Z., FRÜH, B., WOHLFAHRT, J., STAMER, A. und LEIBER, F. (2016): Replacement of Soybean Cake by *Hermetia illucens* Meal in Diets for Layers. *Journal of Insects as Food and Feed*, **2**, 83-90. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0071>
- MAURUS, E.M., KIRCHGEßNER, M. und ROTH, F.X. (1988): Körperzusammensetzung und Nährstoffansatz von männlichen Broilern bei unterschiedlicher Protein- und Energieversorgung in der verlängerten Mast. *Archiv für Geflügelkunde*, **52**, 79-86.
- MAY, B.M. (1961): The Occurrence in New Zealand and the Life History of Soldier Fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *New Zealand Journal of Science*, **4**, 55-65.
- MEIXNER, O. und MÖRL VON PFALZEN, L. (2018): Die Akzeptanz von Insekten in der Ernährung. Eine Studie zur Vermarktung von Insekten als Lebensmittel aus Konsumentensicht

- (Studie zum Marketing natürlicher Ressourcen). (Hrsg.): Springer Gabler. 11-36.
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-21336-7>
- MEKONNEN, M.M. und HOEKSTRA, A.Y. (2010): The Green, Blue and Grey Water Footprint of Farm Animals and Animal Products. Value of Water Research Report Series 48. (Hrsg.): UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, the Netherlands:
- MEYER, M., SCHMIDT, W. und BRUSE, F. (2017): Die schwarze Soldatenfliege *Hermetia illucens* (LINNAEUS, 1758). *Arthropda - Das Fachmagazin für Wirbellose*, **1**, 1-11. ISSN: 0943-7274
- MEYER-ROCHOW, V.B. und CHAKRAVORTY, J. (2013): Notes on Entomophagie and Entemotherapy Generally and Information on the Situation in India in Particular. *Applied Entomology and Zoology*, **48**, 105-112. <https://doi.org/10.1007/s13355-013-0171-9>
- MIAO, Z.H., GLATZ, P.C. und RU, Y.J. (2005): Free-range Poultry Production - A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, **18**, 113-132.
<https://doi.org/10.5713/ajas.2005.113>
- MIGLIETTA, P.P., DE LEO, F., RUBERTI, M. und MSSARI, S. (2015): Mealworms for Food: A Water Footprint Perspective. *Water*, **7**, 6190-6203. <http://dx.doi.org/10.3390/w7116190>
- MOHAMMED, A, LARYEA, T.E., GANIYU, A. und ADONGO, T. (2017): Effects of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal on the Growth Performance of Broiler Chickens. *UDS International Journal of Development*, **4**, 35-41.
<http://www.udsiid.org/index.php/udsiid/article/view/155>, 19. Juni 2018
- MORAN Jr., E.T. (1981): Cystine Requirement of Feather-Sexed Broiler Chickens with Sex and Age. *Poultry Science*, **60**, 1056-1061. <https://doi.org/10.3382/ps.0601056>
- MOUGHAN, P.J. (1993): Animal Factors Affecting Protein Utilisation in the Pig. (Hrsg.): Verstegen, M.W.A., Den Hartog, L.A., Van Kempen und G.J.M., Metz, J.H.M.. Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences. Pudoc Scientific Publishers. Wageningen, Netherlands, 39-48. <http://edepot.wur.nl/317111#page=50>, 01. Dezember 2018
- MÜLLER, R. und HÖTZEL, D. (1957): Zur Frage des Vergleichs von Ratte und Schwein bei der Proteinbewertung. *Archiv für Tierernährung*, **7**, 233-243.
<https://doi.org/10.1080/17450395709424755>
- MUTAFELA, R.N. (2015): High Value Organic Waste Treatment via Black Soldier Fly Bioconversion: Onsite Pilot Study. Master Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Sockholm, Sweden. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:868277/FULLTEXT02>, 24. Mai 2018

- MUZZARELLI, R.A.A. (1977): Chitin. Pergamon Press Ltd. ISBN: 0-08-020367-1
- MWANIKI, Z.N. und KIARIE, E. (2018): Standardized Ileal Digestible Amino Acids and Apparent Metabolizable Energy Content in Defatted Black Soldier Fly Larvae Meal Fed to Broiler Chickens. *Canadian Journal of Animal Science*. 1-17. <https://doi.org/10.1139/CJAS-2018-0111>
- NAKAGAKI, B.J. und DEFOLIART, G.R. (1991): Comparison of Diets for Mass-rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as a Novelty Food, and the Comparison of Food Conversion Efficiency with Values Reported for Livestock. *Journal of Economic Entomology*, **84**, 891-896. <https://doi.org/10.1093/jee/84.3.891>
- NAKAMURA, S., ICHIKI, R.T., SHIMODA, M. und MORIOKA, S. (2016): Small-Scale Rearing of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), in the Laboratory: Low-Cost and Year-Round Rearing. *Applied Entomology and Zoology*, **51**, 161–166. <https://doi.org/10.1007/s13355-017-0542-8>
- NAUMANN, C. and BASSLER, R. (1976-2004): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Methodenbuch, Volume III, (Hrsg.): VDLUFA-Verlag, Darmstadt, Germany
- NEKRASOV, R.V., CHABAEV, M.G., PASHKOVA, L.A., BOGOLUBOVA, N.V., USHAKOVA, N.A., KRAVTSOVA, L.Z. und PRAVDIN, I.V. (2015): Dried Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* in Diets to Growing Pigs. Posterpräsentation, 66th, EAAP Annual Meeting, 31. August-4. Sept. 2015, Warsaw, Polen.
- NERY, J., GASCO, L., DABBOU, S. und SHIAVONE, A. (2018): Protein Composition and Digestibility of Black Soldier Fly Larvae in Broiler Chickens Revisited According to the Recent Nitrogen-Protein Conversion Ratio. *Journal of Insects as Food and Feed*, **4**, 171-177. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0006>
- NEUMANN, C., VELTEN, S. und LIEBERT, F. (2018): N Balance Studies Emphasize the Superior Protein Quality of Pig Diets at High Inclusion Level of Algae Meal (*Spirulina platensis*) or Insect Meal (*Hermetia illucens*) when Adequate Amino Acid Supplementation is Ensured. *Animals*, **8**, 172. <https://doi.org/10.3390/ani8100172>
- NEWTON, G. L.; BOORAM, C. V.; BARKER, R. W. und HALE, O. M. (1977): Dried *Hermetia Illucens* Larvae Meal as a Supplement for Swine. *Journal of Animal Science*, **44**, 395-400. <https://doi.org/10.2527/jas1977.443395x>
- NEWTON, L., SHEPPARD, C., WATSON, D.W. und BURTLE, G. (2005a): Using the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, as a Value-Added Tool for the Management of Swine Manure. Report for Mike Williams, Director of the Animal and Poultry Waste Management Center, North

- Carolina State University, Raleigh, NC, USA.
http://www.organicvaluerecovery.com/studies/studies_htm_files/bsf_value_added.pdf,
 20. Juni 2018
- NEWTON, L., SHEPPARD, D.C., WATSON, D.W., BURTLE, G.J., DOVE, C.R., TOMBERLIN, J. und THELEN, E.E. (2005b): The Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, as a Manure Management/ Resource Recovery Tool.
<https://pdfs.semanticscholar.org/5aa5/81bf66145ee15551c0a86df6436b9183fd05.pdf>,
 20. Juni 2018
- NRC (2012). Nutrient Requirements of Swine. Committee on Nutrient Requirements of Swine. (Hrsg.): Board on Agriculture and Natural Resources. Division on Earth and Life Study. National Research Council (NRC). The National Academies Press, Washington, D.C., US.
- NYAKERI, E.M., OGOLA, H.J., AYIEKO, M.A. und AMIMO, F.A. (2017): An Open System for Farming Black Soldier Fly Larvae as a Source of Proteins for Smallscale Poultry and Fish Production. *Journal of Insects as Food and Feed*, **3**, 51-56.
<https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0030>
- OHTA, Y. und ISHIBASHI, T. (1994): Dietary Levels and Ratio of Methionine and Cystine for Maximum Performance of Broilers. *Japanese Poultry Science*, **31**, 369-380.
<https://doi.org/10.2141/jpsa.31.369>
- OLIVEIRA, F. R., DOELLE, K., LIST, R. und REILLY, J. R. O. (2015): Assessment of Diptera: Stratiomyidae, Genus *Hermetia illucens* (L., 1758) Using Electron Microscopy. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, **3**, 147-152.
- OLIVEIRA, F.R., DOELLE, K. und SMITH, R.P. (2016): External Morphology of *Hermetia illucens* Stratiomyidae: Diptera (L.1758) Based on Electron Microscopy. *Annual Research & Review in Biology*, **9**, 1-10. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2016/22973>
- OLUOKUN, J.A. (2000): Upgrading the Nutritive Value of Full-Fat Soybeans Meal for Broiler Production with either Fishmeal or Black Soldier Fly Larvae Meal (*Hermetia illucens*). *Nigerian Journal of Animal Science*, **3**. Abstract: <https://doi.org/10.4314/tjas.v3i2.49768>,
 10. August 2018.
- OONINCX, D.G.A.B. und DE BOER, I.J.M. (2012): Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans - A Life Cycle Assessment. *PLoS One*, **7**, e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>
- OONINCX, D.G.A.B., VAN BROEKHOVEN, S., VAN HUIS, A. und VAN LOON, J.J.A. (2015b): Feed Conversion, Survival and Developmet, and Composition of Four Insect Species on Diets

- Composed of Food By-Products. *PLoS ONE*, **10**, e0144601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>
- OONINCX, D.G.A.B, VAN HUIS, A. und VAN LOON, J.J.A. (2015a): Nutrient Utilisation by Black Soldier Flies Fed with Chicken, Pig, or Cow Manure. *Journal of Insects as Food and Feed*, **1**, 131-139. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0023>
- OONINCX, D.G.A.B., VAN ITTERBECK, J., HEETKAMP, M.J.W., VAN DEN BRAND, H., VAN LOON, J.J.A. und VAN HUIS, A. (2010): An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. *PLoS ONE*, **5**, e14445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445>
- OSAVA, M. (1999): Soy Production Spreads, Threatens Amazon in Brazil. Inter Press Service. <http://www.ipsnews.net/1999/09/environment-brazil-soy-production-spreads-threatens-amazon/>, 2. Mai 2018
- OYEGOKE, O.O., AKINTOLA, A.J. und FASORANTI, J.O. (2006): Dietary Potentials of the Edible Larvae of *Cirina Forda* (westwood) as a Poultry Feed. *African Journal of Biotechnology*, **5**, 1799-1802. <http://www.academicjournals.org/AJB>, 18. Juni 2018
- PARK, C.H., HAHM, E.R., PARK, S., KIM, H.-K. und YANG, C.H. (2005): The inhibitory mechanism of curcumin and its derivative against β -catenin/Tcf signaling. *FEBS Letters*, **579**, 13. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2005.04.013>
- PASTOR, A. (2014): Studien zur Aminosäurenwirksamkeit beim Mastgeflügel unter spezifischer Betrachtung der verzweigt-kettigen Aminosäuren. Dissertation, Tierernährungsphysiologie, Georg-August Universität, Göttingen.
- PASTOR, A., WECKE, C. und LIEBERT, F. (2013): Assessing the Age-Dependent Optimal Dietary Branched-Chain Amino Acid Ratio in Growing Chicken by Application of a Nonlinear Modeling Procedure. *Poultry Science*, **92**, 3184-3195. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03340>
- PASTOR, B., VELASQUEZ, Y., GOBBI, P. und ROJO, S. (2015): Conversion of Organic Wastes into Fly Larval Biomass: Bottlenecks and Challenges. *Journal of Insects as Food and Feed*, **1**, 179-193. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0024>
- PESTI, G.M., LECLERCQ, B., CHAGNEAU, A.M. und COCHARD, T. (1996): Effects of the Naked Neck (Na) Gene on the Sulphur-Containing Amino Acid Requirements of Broilers. *Poultry Science*, **75**, 375-380. <https://doi.org/10.3382/ps.0750375>
- PIMENTEL, D., DRITSCHILO, W., KRUMMEL, J. und KUTZMANN, J. (1975): Energy and Land Constraints in Food Protein Production. *Science*, **190**, 754-761.

- PREMALATHA, M., ABBASI, T., ABBASI, T. und ABBASI, S.A. (2011): Energy-efficient Food Production to Reduce Global Warming and Ecodegradation: The Use of Edible Insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 4357-4360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.115>
- PRETORIUS, Q. (2011): The Evaluation of Larvae of *Musca domestica* (Common House Fly) as Protein Source for Broiler Production, Doctoral Dissertation, Stellenbosch University. <http://scholar.sun.ac.za/handle/10019.1/46243>, 02. Juli 2018
- RAMOS-ELORDUY, J. (2005): Insects: A Hopeful Food Source, (Hrsg.): Paoletti, M.G.; Ecological Implications of Minilivestock (*Potential of Insects, Frogs and Snails*), 263-291 (Science Publishers, INC.). ISBN: 9781578083398
- RAMOS-ELORDUY, J. (2008): Energy Supplied by Edible Insects from Mexico and their Nutritional and Ecological Importance. *Ecology of Food and Nutrition*, **47**, 280-297. <https://doi.org/10.1080/03670240701805074>
- RAMOS-ELORDUY, J. (2009): Anthro-entomophagy: Cultures, Evolution and Sustainability. *Entomological Research*, **39**, 271-288. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2009.00238.x>
- RAMOS-ELORDUY, J. und PINO, J.M. (2002): Edible Insects of Chiapas, Mexico. *Ecology of Food and Nutrition*, **41**, 271-299. <https://doi.org/10.1080/03670240214081>
- RAVINDRAN, V. (2013): Poultry Feed Availability and Nutrition in Developing Countries. *Poultry Development Review*, (Hrsg.): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 60-63. <http://www.fao.org/3/a-al703e.pdf> , 22. Juni 2018
- RAVINDRAN, V., HEW, L.I., RAVINDRAN, G. und BRYDEN, W.L. (1999): A Comparison of Ileal Digesta and Excreta Analysis for the Determination of Amino Acid Digestibility in Food Ingredients for Poultry. *British Poultry Science*, **40**, 266-274. <https://doi.org/10.1080/00071669987692>
- RAVINDRAN, V., HEW, L.I., RAVINDRAN, G. und BRYDEN, W.L. (2005): Apparent Ileal Digestibility of Amino Acids in Dietary Ingredients for Broiler Chickens. *Animal Science*, **81**, 85-97.
- REESE, D.E., THALER, R.C., BRUMM, M.C., LEWIS, A.J. MILLER, P.S. und LIBAL, G.W. (1995): EC95-273 Swine Nutrition Guide. U.S. Department of Agriculture: Nebraska Cooperative Extension. <http://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/1374>, 2. Juli 2018
- RÉRAT, A. (1981): Digestion and Absorption of Nutrients in the Pig. (Hrsg.): Bourne, G.H.; Human Nutrition and Animal Feeding. *World Review of Nutrition and Dietetics*. Basel, Karger, 1981, **37**, 229-287. <https://doi.org/10.1159/000398000>

- RHOADS, J.M., NIU, X.M., ODLE, J. und GRAVES, L.M. (2006): Role of mTOR Signaling in Intestinal Cell Migration. *Am. J. of Physiol. Gastrointestinal and Liver Physiology*, **291**, G510-G517. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00189.2005>
- RICHARDS, M.P. (2003): Genetic Regulation of Feed Intake and Energy Balance in Poultry. *Poultry Science*, **82**, 907-916. <https://doi.org/10.1093/ps/82.6.907>
- RIMBACH, M.G und LIEBERT, F. (1999): N-Metabolism Parameter of Current Broiler Chicken Genotypes in Different Age Period. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, **8**, 49.
- RODEHUTSCORD, M. und KLUTH, H. (2003): Aminosäurenverdaulichkeit als ein Futterwertkriterium in der Geflügelfütterung: Methodische Aspekte zur Messung. *Lohmann Information*, **4**, 1-8.
- RODEHUTSCORD, M., KAPOCIUS, M., TIMMLER, R. und DIECKMANN, A. (2004): Linear Regression Approach to Study Amino Acid Digestibility in Broiler Chickens. *British Poultry Science*, **45**, 85-92. <https://doi.org/10.1080/00071660410001668905>
- RODRÍGUEZ, M.L., REBOLÉ, A., VELASCO, S., ORTIZ, L.T., TREVIÑO, J. und ALZUETA, C. (2011): Wheat- and Barley-Based Diets with or without Additives Influence Broiler Chicken Performance, Nutrient Digestibility and Intestinal Microflora. *Science of Food and Agriculture*, **92**, 184-190. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4561>
- ROFFEIS, M. MUYS, B. ALMEIDA, J., MATHIJS, E., ACHTEN, W.M.J., PASTOR, B., VELÁSQUEZ, Y., MARTINEZ-SANCHEZ, A.L. und ROJO, S. (2015): Pig Manure Treatment with Housefly (*Musca domestica*) Rearing- an Environmental Life Cycle Assessment. *Journal of Insects as Food and Feed*, **1**, 195-214. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0021>
- ROSELAND, C.R., GRODOWITZ, M.J., KRAMER, K.J., HOPKINS, T.L. und BROCE, A.B. (1985): Stabilization of Mineralized and Sclerotized Pupal Cuticle in Muscid Flies. *Insect Biochemistry*, **15**, 521-528. [https://doi.org/10.1016/0020-1790\(85\)90065-4](https://doi.org/10.1016/0020-1790(85)90065-4)
- ROSTANGO, H.S., PUPA, J.M.R. und PACK, M. (1995): Diet Formulation for Broilers Based on Total Versus Digestible Amino Acids. *The Journal of Applied Poultry Research*, **4**, 293-299. <https://doi.org/10.1093/japr/4.3.293>
- RUMPOLD, B.A. und SCHLÜTER, O.K. (2013): Potential and Challenges of Insects as an Innovative Source for Food and Feed Production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **17**, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>
- RUMPOLD, B.A. und SCHLÜTER, O.K. (2014): Nutrient Composition of Insects and their Potential Application in Food and Feed in Europe. *Food Chain*, **4**, 129-139, <https://doi.org/10.3362/2046-1887.2014.013>

- SAMADI und LIEBERT, F. (2006): Estimation of Nitrogen Maintenance Requirement and Potential for Nitrogen Deposition in Fast Growing Chickens Depending on Age and Sex. *Poultry Science*, **85**, 1421-1429. <https://doi.org/10.1093/ps/85.8.1421>
- SAMADI und LIEBERT, F. (2007a): Lysine Requirement of Fast Growing Chickens - Effects of Age, Sex, Level of Protein Deposition and Dietary Lysine Efficiency. *The Journal of Poultry Science*, **44**, 63-72. <https://doi.org/10.2141/jpsa.44.63>
- SAMADI und LIEBERT, F. (2007b): Threonine Requirement of Slow-Growing Male Chickens Depends on Age and Dietary Efficiency of Threonine Utilization. *Poultry Science*, **86**, 1140-1148. <https://academic.oup.com/ps/article/86/6/1140/2962714>, 15. November 2018
- SAMADI, WECKE, C., PASTOR, A. und LIEBERT, F. (2017): Assessing Lysine Requirement of Growing Chicken by Direct Comparison between Supplementation Technique and "Goettingen Approach". *Open Journal of Animal Science*, **7**, 56-69. <https://doi.org/10.4236/ojas.2017.71006>
- SÁNCHEZ-MUROS, M.-J., BARROSO, F. G. und MANZANO-AGUGLIARO, F. (2014): Insect Meal as Renewable Source of Food for Animal Feeding: A Review. *Journal of Cleaner Production*, **65**, 16-27. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>
- SÁNCHEZ-MUROS, M.-J., BARROSO, F.G. und DE HARO, C. (2016): Chapter 10: Brief Summary of Insect Usage as an Industrial Animal Feed/Feed Ingredient. In: *Insects as Sustainable Food Ingredients Production, Processing and Food Applications*. (Hrsg.): Dossey, A.T., Morales-Ramos, J.A. und Guadalupe Rojas, M. (2016). Academic Press. 273-309. ISBN: 978-0-12-802856-8
- SCHIAVONE, A., DE MARCO, M., MARTÍNEZ, S., DABBOU, S., RENNA, M., MADRID, J., HERNANDEZ, F., ROTOLO, L., COSTA, P., GAI, F. und GASCO, L. (2017): Nutritional Value of a Partially Defatted and a Highly Defatted Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) Meal for Broiler Chickens: Apparent Nutrient Digestibility, Apparent Metabolizable Energy and Apparent Ileal Amino Acid Digestibility. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, **8**, 51. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0181-5>
- SCHIAVONE, A., DE MARCO, M., ROTOLO, L., BELFORTI, M., MARTINEZ MIRÒ, S., MADRID SANCHEZ, J., HERNANDEZ RUIPEREZ, F., BIANCHI, C., STERPONE, L., MALFATTO, V., KATZ, H., ZOCCARATO, I., GAI, F. und GASCO, L. (2014): Nutrient Digestibility of *Hermetia illucens* and *Tenebrio molitor* Meal in Broiler Chickens. *Proceedings of the 1st International Conference Insects to Feed the World*, Wageningen, 14.-17. Mai 2014, 73. <http://hdl.handle.net/2318/158360>, 20. Juli 2018

- SEALEY, W.M, GAYLORD, T.G., BARROWS, F.T., TOMBERLIN, J.K. MCGUIRE, M.A., ROSS, C. und ST-HILAIRE, S. (2011): Sensory Analysis of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, Fed Enriched Black Soldier Fly Prepupae, *Hermetia illucens*. *Journal of the World Aquaculture Society*, **42**, 34-45. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2010.00441.x>
- SEBASTIAN, S., TOUCHBURN, S.P., CHAUEZ, E.R. und LAGUE, P.C. (1997): Apparent Digestibility of Protein and Amino Acids in Broiler Chickens Fed a Corn-Soybean Diet Supplemented with Microbial Phytase. *Poultry Science*, **76**, 1760-1769. <https://doi.org/10.1093/ps/76.12.1760>
- SEKIZ, S.S., SCOTT, M.L. und NESHEIM, M.C. (1975): The Effect of Methionine Deficiency on Body Weight, Food and Energy Utilization in the Chick. *Poultry Science*, **54**, 1184-1188. <https://doi.org/10.3382/ps.0541184>
- SHEPPARD, C. (1983): Housefly and Lesser Fly Control Utilizing the Black Soldier Fly in Manure Management-Systems for Caged Laying Hens. *Environmental Entomology*, **12**, 1439-1442. <https://doi.org/10.1093/ee/12.5.1439>
- SHEPPARD, D.C., NEWTON, G.L. und BURTLE, G. (2008): Black Soldier Fly Prepupae a Compelling Alternative to Fish Meal and Fish Oil. Public comment in response to a request by National Marine Fisheries Service Nov. 15, 2007, NOAA 15/11//2007 - 29/2/2008. <https://articles.extension.org/pages/15054/research-summary:-black-soldier-fly-prepupae-a-compelling-alternative-to-fish-meal-and-fish-oil>, 25. Juli 2018
- SHEPPARD, D.C., NEWTON, G.L., THOMPSON, S.A. und SAVAGE, S.A. (1994): A Value-Added Manure Management-System Using the Black Soldier Fly. *Bioresource Technology*, **50**, 275-279. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90102-3)
- SHEPPARD, D.C., TOMBERLIN, J.K., JOYCE, J.A., KISER, B.C. und SUMNER, S.M. (2002): Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Medical Entomology*, **39**, 695-698. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.4.695>
- SHOCKLEY, M. und DOSSEY, A.T. (2014): Insects for Human Consumption. (Hrsg.): Morales-Ramos, J.A., Guadalupe Rojas, M. and Shapiro-Ilan, D.I., *Mass Production of Beneficial Organisms: Invertebrates and Entomopathogens*, Academic Press, Cambridge, MA, 617-652. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391453-8.00018-2>
- SKŘIVANOVÁ, E., MAROUNEK, M., BENDA, V. und BREZINA, P. (2006): Susceptibility of *Escherichia coli*, *Salmonella* sp. and *Clostridium perfringens* to Organic Acids and Monolaurin. *Veterinarni Medicina*, **51**, 81-88. <http://vri.cz/docs/vetmed/51-3-81.pdf>, 03. August 2018

- SKŘIVANOVÁ, E., PRAŽÁKOVÁ, Š., BENADA, O. und MAROUNEK, M. (2014): Susceptibility of *Escherichia coli* and *Clostridium perfringens* to Sucrose Monoesters of Capric and Lauric Acid. *Czech Journal of Animal Science*, **59**, 374-380. ISSN: 1212-1819.
- SMETANA, S., MATHYS, A., KNOCH, A. und HEINZ, V. (2015): Meat Alternatives: Life Cycle Assessment of Most Known Meat Substitutes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, **20**, 1254-1267. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0931-6>
- SMETANA, S., PALANISAMY, M., MATHYS, A. und HEINZ, V. (2016): Sustainability of Insect Use for Feed and Food: Life Cycle Assessment Perspective. *Journal of Cleaner Production*, **137**, 741-751. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.148>
- SMIL, V. (2002): Worldwide Transformation of Diets, Burdens of Meat Production and Opportunities for Novel Food Proteins. *Enzyme and Microbial Technology*, **30**, 305-311. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(01\)00504-X](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(01)00504-X)
- SMITH, D.R., KNABE, D.A. und SMITH, S.B. (1996): Depression of Lipogenesis in Swine Adipose Tissue by Specific Dietary Fatty Acids. *Journal of Animal Science*, **74**, 975-983. <https://doi.org/10.2527/1996.745975x>
- SMITH, J., SONES, K., GRACE, D., MACMILLIAN, S., TARAWALI, S. und HERRERO, M. (2013): Beyond Milk, Meat, and Eggs: Role of Livestock in Food and Nutrition Security. *Animal Frontiers*, **3**, 6-13. <https://dx.doi.org/10.2527/af.2013-0002>
- SMITH, R. und BARNES, E. (2015): Determining the Contribution that Insects Can Make to Addressing the Protein Deficit in Europe, PROteINSECT Consensus Business Case Report. Minerva Health & care Communications Ltd.
- SOSULSKI, F.W. und IMAFIDON, G.I. (1990): Amino Acid Composition and Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Animal and Plant Foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **38**, 1351-1356. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf00096a011>
- SPRANGHERS, T. (2017): Rearing of the Black Soldier Fly Towards Application in Piglet Feed. Dissertation, Universität Ghent.
- SPRANGHERS, T., MICHIELS, J., VRANCX, J., OVYN, A., ECKHOUT, M., DE CLERCQ, P. und DE SMET, S. (2018): Gut Antimicrobial Effects and Nutritional Value of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) Prepupae for Weaned Piglets. *Animal Feed Science and Technology*, **235**, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.08.012>
- SPRANGHERS, T., OTTOBONI, M., KLOOTWIJK, C., OVYN, A., DEBOOSERE, S., DE MEULENAER, B., MICHIELS, J., ECKHOUT, M., DE CLERQ, P. und DE SMET, S. (2016): Nutritional Composition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Prepupae Reared on Different Organic Waste

- Substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **97**, 2594-2600.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.8081>
- SPREEN, K.A., ZIKAKIS, J.P. und AUSTIN, P.R. (1984): The Effect of Chitinous Materials on the Intestinal Microflora and the Utilization of Whey in Monogastric Animals. In: Chitin, Chitosan and Related Enzymes. (Hrsg.): Zikakis, J.P., Academic Press, Orlando, 57-75.
- STADTLANDER, T., STAMER, A., BUSER, A., WOHLFAHRT, J., LEIBER, F. und SANDROCK, C. (2017): *Hermetia illucens* Meal as Fish Meal Replacement for Rainbow Trout on Farm. *Journal of Insects as Food and Feed*, **3**, 165-175. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0056>
- ST-HILAIRE, S., SHEPPARD, C., TOMBERLIN, J.K., IRVING, S., NEWTON, L., MCGUIRE, M.A., MOSLEY, E.E., HARDY, R.W. und SEALEY, W. (2007a): Fly Prepupae as a Feedstuff for Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*, **38**, 59-67.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00073.x>
- ST-HILAIRE, S., CRANFILL, K., MCGUIRE, M.A., MOSLEY, E.E., TOMBERLIN, J.K., NEWTON, L., SEALEY, W., SHEPPARD, C und IRVING, S. (2007b): Fish Offal Recycling by the Black Soldier Fly Produces a Foodstuff High in Omega-3 Fatty Acids. *Journal of the World Aquaculture Society*, **38**, 309-313. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00101.x>
- STEINFELD, H., GERBER, P., WASSENAAR, T., CASTEL, V., ROSALES, M. und DE HAAN, C. (2006): Livestock's Long Shadow-Environmental Issues and Options. (Hrsg.): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Selbstverlag, Rome. ISBN: 978-92-5-105571-7
- STERLING, K. G., PESTI, G.M. und BALKALLI, R.I. (2003): Performance of Broiler Chicks Fed Various Levels of Dietary Lysine und Crude Protein. *Poultry Science*, **82**, 1939-1947.
<https://doi.org/10.1093/ps/82.12.1939>
- STILES, W. (2016): The case for alternative protein sources for animal feed.
https://businesswales.gov.wales/farmingconnect/sites/farming/files/technical_article_-_protein_alternatives_final_1.pdf, 03. Mai 2018
- SUGITA, H., YAMADA, S., KONAGAYA, Y. und DEGUCHI, Y. (1999): Production of β -N-acetylglucosaminidase and chitinase by *Aeromonas* Species Isolated from River Fish. *Fisheries Science*, **65**, 155-158.
- SÜNDER, A., WECKE, C. und LIEBERT, F. (2015): Einfluss des Methionin:Cystein-Verhältnisses im Futter auf abgeleitete Methioninbedarfswerte beim Masthähnchen. In: 13. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, 24.-26. November 2015, Lutherstadt Wittenberg. (Hrsg.): A. Zeyner/ H. Kluth/ M.Bulang/ M. Bochnia/ M. Glatter, 43-45.

- SURENDRA, K.C., OLIVER, R., TOMBERLIN, J.K., JHA, R. und KHANAL, S.K. (2016): Bioconversion of Organic Wastes into Biodiesel and Animal Feed via Insect Farming. *Renewable Energy*, **98**, 197-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.022>
- SUZUKI, M., FUJIMOTO, W., GOTO, M., MORIMATSU, M., SYUTO, B. und TOSHIHIKO, I. (2002): Cellular Expression of Gut Chitinase mRNA in the Gastrointestinal Tract of Mice and Chickens. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, **50**, 1081-1089. <https://doi.org/10.1177%2F002215540205000810>
- TABATA, E., KASHIMURA, A., WAKITA, S., OHNO, M., SAKAGUCHI, M., SUGAHARA, Y., KINO, Y., MATOSKA, V., BAUER, P.O. und OYAMA, F. (2017): Gastric and Intestinal Proteases Resistance of Chicken Acidic Chitinase Nominates Chitin-containing Organisms for Alternative whole Edible Diets for Poultry. *Scientific Reports*, **7**, 6662-6673. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07146-3>
- TASAKI, I. und TAKAHASHI, N. (1966). Absorption of Amino Acids from the Small Intestine of the Domestic Fowl. *Journal of Nutrition*, **88**, 359-364. <https://doi.org/10.1093/jn/88.4.359>
- THONG, H.T. und LIEBERT, F. (2004): Potential for Protein Deposition and Threonine Requirement of Modern Genotype Barrows Fed Graded Levels of Protein with Threonine as Limiting Amino Acid. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **88**, 196-203. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2004.00457.x>
- TOMBERLIN, J.K. und SHEPPARD, D.C. (2002): Factors Influencing Mating and Oviposition of Black Soldier Flies (*diptera: Stratiomyidae*) in a Colony. *Journal of Entomological Science*, **37**, 345-352. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-37.4.345>
- TOMBERLIN, J.K., ADLER, P.H. und MYERS, H.M. (2009): Development of the Black Soldier Fly (*diptera: Stratiomyidae*) in Relation to Temperature. *Environmental Entomology*, **38**, 930-934. <https://doi.org/10.1603/022.038.0347>
- TOMBERLIN, J.K., SHEPPARD, D.C. und JOYCE, J.A. (2002): Selected Life-History traits of Black Soldier Flies (*Diptera: Stratiomyidae*) Reared on Three Artificial Diets. *Annals of the Entomological Society of America*, **95**, 379-386. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2002\)095\[0379:SLHTOB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2002)095[0379:SLHTOB]2.0.CO;2)
- TSCHIRNER, M. und SIMON, A. (2015): Influence of Different Growing Substrates and Processing on the Nutrient Composition of Black Soldier Fly Larvae Destined for Animal Feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, **1**, 249-259. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0008>
- ÜSTÜNER, T., HASBENLI, A. und ROZKOŠNÝ, R. (2003): The First Record of *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (*Diptera, Stratiomyidae*) from the Near East. *Studia dipterologica*, **10**, 181-185. ISSN: 0945-3954

- UUSHONA, T. (2015): Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Pre-Pupae as a Protein Source for Broiler Production. Master Thesis, University of Stellenbosch, Western Cape, South Africa.
- VAN HEUGTEN, E. (2010): Growing-finishing Swine Nutrient Recommendations and Feeding Management. National Swine Nutrition Guide. Factsheet, Pork Information Gateway. <http://porkgateway.org/wp-content/uploads/2015/07/growing-finishing-swine-nutrient-recommendations1.pdf> , 16. Juli 2018
- VAN HUIS, A. (2013): Food Safety and Preservation. (Hrsg.): van Huis, A. Edible Insects- Future Prospects for Food and Feed Security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom, 117-124. ISBN: 978-92-5-107595-1.
- VAN HUIS, A. und OONINCX, D.G.A.B. (2017): The Environmental Sustainability of Insects as Food and Feed. A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, **37**, 1-14. <http://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>
- VAN HUIS, A., DICKE, M. und VAN LOON, J.J.A. (2015): Insects to Feed the World. *Journal of Insects as Food and Feed*, **1**, 3-5. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.x002>
- VAN HUIS, A., VAN ITTERBECK, J., KLUNDER, H., MERTENS, E., HALLORAN, A., MUIR, G. und VANTOMME, P. (2013): Edible Insects- Future Prospects for Food and Feed Security. FAO Forestry Paper 171, 1-201. ISBN: 978-92-5-107595-1
- VAN ZANTEN, H.H.E., MOLLENHORST, H., OONINCX, D.G.A.B., BIKKER, P., MEERBURG, B.G. und DE BOER, I.J.M. (2015): From Environmental Nuisance to Environmental Opportunity: Housefly Larvae Convert Waste to Livestock Feed. *Journal of Cleaner Production*, **102**, 362-369. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.106>
- VANHONACKER, F. und VERBEKE, W.J. (2014): Public and Consumer Policies for Higher Welfare Food Products: Challenges and Opportunities. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, **27**, 153-171. <https://doi.org/10.1007/s10806-013-9479-2>
- VANTOMME, P. (2015): Way Forward to Bring Insects in the Human Food Chain. *Journal of Insects as Food and Feed*, **1**, 121-129. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0014>
- VELDKAMP, T. und BOSCH, G. (2015): Insects: A Protein-Rich Feed Ingredient in Pig and Poultry Diets. *Animal Frontiers*, **5**, 45-50. <https://doi.org/10.2527/af.2015-0019>
- VELDKAMP, T., VAN DUINKERKEN, G., VAN HUIS, A., LAKEMOND, C.M.M., OTTEVANGER, E., BOSCH, G. und VAN BOEKEL, T. (2012): Insects as a Sustainable Feed Ingredient in Pig and Poultry Diets: A Feasibility Study. Wageningen UR Livestock Research. <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/234247>, 8. Juli 2018

- VELTEN, S., NEUMANN, C., DÖRPER, A. und LIEBERT, F. (2017a): Response of Piglets due to Amino Acid Optimization of Mixed Diets with 75% Replacement of Soybean-Meal by Partly Defatted Insect Meal (*Hermetia illucens*). INSECTA Conference. Book of Abstract, Bornimer Agrartechnische Berichte, Potsdam-Bornim, Heft 97, 63-64. ISSN: 0947-7314
- VELTEN, S., NEUMANN, C., MAST, J., GRUBER-DUJARDIN, E. und LIEBERT, F. (2017b): Einfluss von Insekten- (*Hermetia illucens*) und Mikroalgenmehl (*Spirulina platensis*) als alternative Proteinquellen auf Wachstumsparameter und Schleimhautoberfläche des Dünndarms von Absatzferkeln. (Hrsg.): A. Zeyner, H. Kluth, M. Bukang, M. Bochnia und M. Bachmann; 14. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle-Wittenberg, 27-29. ISBN: 978-3-86829-891-8
- VENKATESH, K. und MORRISON, P.E. (1980): Studies of Weight Changes and Amount of Food Ingested by the Stable Fly, *Stomoxys calcitrans* (Diptera, Muscidae). *The Canadian Entomologist*, **112**, 141-149. <https://doi.org/10.4039/Ent112141-2>
- VERBEKE, W., SPRANGHERS, T., DE CLERCQ, P., DE SMET, S., SAS, B. und EECKHOUT, M. (2015): Insects in Animal Feed: Acceptance and its Determinants among Farmers, Agriculture Sector Stakeholders and Citizens. *Animal Feed Science and Technology*, **204**, 72-87. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.04.001>
- VIEIRA, S.L., LEMME, A., GOLDENBERG, D.B. und BRUGALLI, I. (2004): Responses of Growing Broilers to Diets with Increased Sulfur Amino Acids to Lysine Ratios at Two Dietary Protein Levels. *Poultry Science*, **83**, 1307-1313. <https://doi.org/10.1093/ps/83.8.1307>
- WALDROUP, P. W., MITCHELL, R. J., PAYNE, J. R. und HAZEN, K. R. (1976): Performance of Chicks Fed Diets Formulated to Minimize Excess Levels of Essential Amino Acids. *Poultry Science*, **55**, 243-253. <https://doi.org/10.3382/ps.0550243>
- WALLACE, P.A., NYAMEASEM, J.K., ADU-ABOAGYE, G.A., AFFEDZIE-OBRESI, S., NKEGBE, E.K., KARBO, N., MURRAY, F., LESCHEN, W. und MAQUART, P.-O. (2017): Impact of Black Soldier Fly Larval Meal on Growth Performance, Apparent Digestibility, Haematological and Blood Chemistry Indices of Guinea Fowl Starter Keets under Tropical Conditions. *Tropical Animal Health Production*, **49**, 1163-1169. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1312-x>
- WANG, T.C. und Fuller, M.F. (1989): The Optimum Dietary Amino Acids Pattern for Growing Pigs. 1. Experiments by Amino Acid Deletion. *Journal of Animal Science*, **62**, 77-89. <https://doi.org/10.1079/BJN19890009>
- WANG, Y.S. und SHELOMI, M. (2017): Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods*, **6**, 91. <https://doi.org/10.3390/foods6100091>

- WECKE, C. (1982): Untersuchungen zur Eiweißverwertung von lysinergänzttem Gerstenprotein und zur Wirkungsmöglichkeit der limitierenden Aminosäure Lysin an wachsenden Schweinen. *Archiv für Tierernährung*, **32**, 221-228. <https://doi.org/10.1080/17450398209426895>
- WECKE, C. und LIEBERT, F. (2009): Lysine Requirement Studies in Modern Genotype Barrows Dependent on Age, Protein Deposition and Dietary Lysine Efficiency. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **93**, 295-304. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00923.x>
- WECKE, C. und LIEBERT, F. (2010): Optimal Dietary Lysine to Threonine Ratio in Pigs (30-110 kg BW) Derived from Observed Dietary Amino Acid Efficiency. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **94**, 277-285. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00969.x>
- WECKE, C. und LIEBERT, F. (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. <https://doi.org/10.3390/ani3030558>
- WECKE, C., PASTOR, A. und LIEBERT, F. (2013): Ideal in Feed Amino Acid Ratios for Growing Broiler Chicken Based on Individual Amino Acid Efficiency Data Derived from N Balance Studies. ESPN Potsdam, 152.
- WECKE, C., PASTOR, A. und LIEBERT, F. (2016): Validation of the Lysine Requirement as Reference Amino Acid for Ideal In-Feed Amino Acid Ratios in Modern Fast Growing Meat-Type Chickens. *Open Journal of Animal Science*, **6**, 185-194. <https://doi.org/10.4236/ojas.2016.63024>
- WECKE, C., KHAN, D., SÜNDER, A. und LIEBERT, F. (2018a): Age and Gender Dependent Nutrient Composition of Feather and Feather-Free Body Fractions in Meat-Type Chickens. *Open Journal of Animal Sciences*, **8**, 74-86. <https://doi.org/10.4236/ojas.2018.81006>
- WECKE, C., KHAN, D., SÜNDER, A. und LIEBERT, F. (2018b): Age and Gender Dependent Amino Acid Concentrations in the Feather, Feather-Free and Whole Empty Body Protein of Fast Growing Meat-Type Chickens. *Open Journal of Animal Sciences*, **8**, 223-238. <https://doi.org/10.4236/ojas.2018.83017>
- WESSELING, B. (2004): Zur Wirksamkeit von Futteramino säuren beim Schwein. Dissertation, Institut für Tierphysiologie und Tierernährung, Georg-August Universität, Göttingen. (Hrsg.): Cuvillier Verlag Göttingen, 1. Auflage, ISBN 3-86537-002-0
- WPSA (1984): The Prediction of Apparent Metabolizable Energy Values for Poultry in Compound Feeds. *World's Poultry Science Journal*, **40**, 181-182.

- WU, G. und MORRIS Jr., S.M. (1998): Arginine metabolism: nitric oxide and beyond. *Biochem. J.*, **336**, 1-17.
- WU, G., BAZERA, F.W., DAVIS, T.A., JAEGER, A.L., JOHNSON, G.A., KIM, S.W., KNABE, D.A., MEININGER, C.J., SPENCER, T.E., YIN, Y.-L. (2007): Important Roles for the Arginine Family of Amino Acids in Swine Nutrition and Production. *Livestock Science*, **112**, 8-22. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.07.003>
- YEN, A.L. (2008): Edible Insects and Other Invertebrates in Australia: Future Prospects; In: Forest insects as food: humans bite back. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development, Chiang Mai, Thailand, 19-21 February, 2008; (Hrsg.): Food and Agriculture Organization: Chiang Mai, Thailand, 65-84.
- YEN, A.L. (2009): Entomophagy and Insect Conservation: Some Thoughts for Digestion. *Journal of Insect Conservation*, **13**, 667-670. <https://doi.org/10.1007/s10841-008-9208-8>
- YU, G., LI, Y., YANG, Y. und XIA, Q. (2014): Effects of the Artificial Diet with Low Water Content on the Growth and Development of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (diptera: Stratiomyidae). *Acta Entomologica Sinica*, **57**, 943-950. <http://www.insect.org.cn/EN/Y2014/V57/I8/943>, 20. Juli 2018
- YU, G.H., CHEN, Y.H., YU, Z.N. und CHENG, P. (2009): Research Progress on the Larvae and Prepupae of Black Soldier Fly *Hermetia illucens* Used as Animal Feedstuff. *Chinese Bulletin of Entomology*, **46**, 41-45.
- ZHANG, J.; HUANG, L.; HE, J.; TOMBERLIN, J.K.; LI, J.; LEI, C.; SUN, M.; LIU, Z. und YU, Z. (2010): An Artificial Light Source Influences Mating and Oviposition of Black Soldier Flies, *Hermetia illucens*. *Journal of Insect Science*, **10**, Article 202. <https://doi.org/10.1673/031.010.20201>
- ZUIDHOF, M.J., MOLNAR, C.L. MORLEY, F.M., WRAY, T.L., ROBINSON, F.E., KHAN, B.A., AL-ANI, L. und GOONEWARDENE, L.A. (2003): Nutritive Value of House Fly (*Musca domestica*) Larvae as a Feed Supplement for Turkey Poults. *Animal Feed Science and Technology*, **105**, 225-230. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00004-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00004-X)

Lebenslauf

Susanne Christine Rothstein, geb. Velten

Geboren am 01.12.1985 in Heinsberg

- 07/15 - 02/19 **Doktorandin / wissenschaftliche Mitarbeiterin**
Department für Nutztierwissenschaften – Tierernährungsphysiologie
Georg-August-Universität Göttingen
Titel der Dissertation: „Ernährungsphysiologische Bewertung von teilentfettetem Larvenmehl der schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) für den Einsatz in ressourcenschonenden Ernährungskonzepten der Schweine- und Hähnchenmast“
- 02/15 - 04/15 **Arbeitserfahrungsprojekt** im Unternehmen Schils BV der VanDrie Group (NL)
- 04/12 - 06/15 **Studium der Agrarwissenschaften**
Schwerpunkt Nutztierwissenschaften, Tierernährung an der Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Abschluss: M. Sc. Agr.
Titel der Masterarbeit: „Schätzung der Praecaecalen Proteinverdaulichkeit von Milchaustauschern und Proteinquellen für Kälber“
- 04/12 - 07/12 **Studentische Hilfskraft** mit Tutorentätigkeit im Bereich BWL, im Institut für Lebensmittel- und Ressourcenökonomie an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- 03/12 - 06/13 **Studentische Hilfskraft** im Bereich Futtermittelanalytik, im Institut für Tierwissenschaften, Abteilung Tierernährung an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- 10/11 - 05/13 **Fernstudium „Manager im Pferdesport“**
IST-Studieninstitut, Düsseldorf
Abschluss: IST-Diplom zur Managerin im Pferdesport (IST)
- 10/08 - 07/12 **Studium der Agrarwissenschaften**
Schwerpunkt Nutztierwissenschaften, Tierernährung, an der Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Abschluss: B. Sc. Agr.
Titel der Bachelorarbeit: „Wirkungen von Futterfetten in der Ernährung von Pferden“
- 06/08 **Abschlussprüfung zur Pferdewirtin Schwerpunkt Reiten**
Abschluss: staatlich anerkannte Pferdewirtin Schwerpunkt Reiten
- 08/05 - 06/08 **Berufskolleg Humboldtstraße, Köln**
Berufsschulabschluss
- 07/06 - 06/08 **Auszubildende Pferdewirtin Schwerpunkt Reiten** im Ausbildungsstall „Hof Roßheide“, Aachen
- 07/05 - 06/06 **Auszubildende Pferdewirtin Schwerpunkt Reiten** an der Landesreit- und Fahrschule Rheinland, Langenfeld
- 08/96 - 06/05 **Kreisgymnasium Heinsberg**
Abschluss: Abitur

Wissenschaftliche Publikationen und Tagungsbeiträge (alphabetisch)

Wissenschaftliche Journalbeiträge

- Altmann B.A., Neumann, C., **Rothstein, S.**, Liebert, F. und Mörlein, D. (2018): Do Dietary Soy Alternatives Lead to Pork Quality Improvements or Drawbacks? A Look into Micro-Alga and Insect Protein in Swine Diets. *Meat Science*, **153**, 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.001>
- Altmann B.A., Neumann, C., **Velten, S.**, Liebert, F. und Mörlein, D. (2018): Meat Quality Derived from High Inclusion of a Micro-Alga or Insect Meal as an Alternative Protein Source in Poultry Diets: A Pilot Study. *Foods*, **7**, 34. <https://doi.org/10.3390/foods7030034>
- Neumann, C., **Velten, S.** and Liebert, F. (2018): N Balance Studies Emphasize the Superior Protein Quality of Pig Diets at High Inclusion Level of Algae Meal (*Spirulina platensis*) or Insect Meal (*Hermetia illucens*) when Adequate Amino Acid Supplementation is Ensured. *Animals*, **8**, 172-195. <https://doi.org/10.3390/ani8100172>
- Neumann, C., **Velten, S.** und Liebert, F. (2018): Improving the Dietary Protein Quality by Amino Acid Fortification with a High Inclusion Level of Micro Algae (*Spirulina platensis*) or Insect Meal (*Hermetia illucens*) in Meat Type Chicken Diets. *Open Journal of Animal Sciences*, **8**, 12-26. <https://doi.org/10.4236/ojas.2018.81002>
- Neumann, C., **Velten, S.** und Liebert, F. (2018): The Graded Inclusion of Algae (*Spirulina platensis*) or Insect (*Hermetia illucens*) Meal as a Soybean Meal Substitute in Meat Type Chicken Diets Impacts Growth, Nutrient Deposition and Dietary Protein Quality Depending on the Extent of Amino Acid Supplementation. *Open Journal of Animal Sciences*, **8**, 163-183. <https://doi.org/10.4236/ojas.2018.82012>
- Velten, S.**, Neumann, C., Bleyer, M., Gruber-Dujardin, E. Hanuszewska, M., Przybylska-Gornowicz, B. und Liebert, F. (2018): Effects of 50 Percent Substitution of Soybean Meal by Alternative Proteins from *Hermetia illucens* or *Spirulina platensis* in Meat-Type Chicken Diets with Graded Amino Acid Supply. *Open Journal of Animal Sciences*, **8**, 119-136. <https://doi.org/10.4236/ojas.2018.82009>
- Velten, S.**, Neumann, C., Schäfer, J. und Liebert, F. (2018): Effects of the Partial Replacement of Soybean Meal by Insect or Algae Meal in Chicken Diets with Graded Amino Acid Supply on Parameters of gut Microbiology and Dietary Protein Quality. *Open Journal of Animal Sciences*, **8**, 259-279. <https://doi.org/10.4236/ojas.2018.83020>

Wissenschaftliche Tagungsbeiträge

2018

- Altmann, B.A., Neumann, C., **Velten, S.**, Liebert, F. und Mörlein, D. (2018): Alga and Insect Meal and their Effect on Monogastric Animal Meat Quality. Tropentag 2018: Global food security and food safety: The role of universities. Book of abstracts. Tielkes, E. (Ed.), 390. ISBN: 978-3-8236-1760-0
- Gruber-Dujardin, E., **Velten, S.**, Neumann, C. und Liebert, F. (2018): Effects of a Partly Defatted Insect Meal (*Hermetia illucens*) or Micro Algae (*Spirulina platensis*) in Mixed Diets on Intestinal Mucosal Surface and Mucin Secretion of Meat Type Chicken. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, **27**, 155. ISBN: 978-3-7690-4111-8
- Neumann, C., **Velten, S.** und Liebert, F. (2018): Protein Quality of Piglet Diets with a High Inclusion Level of Algae Meal (*Spirulina platensis*) or Insect Meal (*Hermetia illucens*) by Graded Fortification of Dietary Amino Acid Supply. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, **27**, 62. ISBN: 978-3-7690-4111-8

- Neumann, C., **Velten, S.**, Liebert, F. (2018). Ernährungsphysiologische Bewertung von *Hermetia illucens* und *Spirulina platensis* für den Einsatz in nachhaltig ressourcenschonenden Ernährungskonzepten der Schweine- und Hähnchenmast. Gesamtworkshop „Sustainability Transitions in der Lebensmittelproduktion: Alternative Proteinquellen in soziotechnischer Perspektive“, 22.06.2018, Osnabrück.
- Velten, S.**, Neumann, C und Liebert, F. (2018): Response of Piglets and Fattening Pigs due to Amino Acid Optimization of Mixed Diets with 50% Replacement of Soybean-meal by Partly Defatted Insect Meal (*Hermetia illucens*) or Meal from Micro Algae (*Spirulina platensis*). *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, **27**, 60. ISBN: 978-3-7690-4111-8
- Velten, S.**, Neumann, C. und Liebert, F. (2018): Effects of Complete Substitution of Soybean Meal by Insect Meal (*Hermetia illucens*) in Meat-type Chicken Diets. International Symposium of Insects, INSECTA. Book of Abstracts, Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft **100**, 111, Gießen, Deutschland. ISSN: 0947-7314
- Velten, S.**, Neumann, C. und Liebert, F. (2018): Influence of Insects (*Hermetia illucens*) or Algae Meal (*Spirulina platensis*) in Broiler Diets on Growth Performance, Precaecal Digestibility and Intestinal Microbiota of Meat Type Chickens. The XVth European Poultry Conference, World's Poultry Science Journal, Conference Information and Proceedings, 65, Dubrovnik, Kroatien. ISBN: 978-90-829157-0-9
- 2017**
- Altmann, B., Grahl, S., Neumann, C., Palanisamy, M., Smetana, S. und **Velten, S.** (2017): Die Eignung von *Hermetia illucens* und *Spirulina* in der Tier- und Humanernährung und deren Relevanz für die Nachhaltigkeit. Symposium, Wissenschaft für nachhaltige Entwicklung. Programm und Abstracts, S. 42.
- Liebert, F., Neumann, C., **Velten, S.** und Sünder, A. (2017): Potenziale und Grenzen alternativer Proteinträger aus Insekten und Mikroalgen in der Masthähnchen- und Schweineernährung. Tagungsband 14. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle-Wittenberg 2017, Übersichtsbeitrag, 10-21. ISBN: 978-3-86829-891-8
- Neumann, C., **Velten, S.** und Liebert, F. (2017): Ergebnisse zum Einsatz von Insekten- oder Algenmehl bei teilweiser Substitution von Sojaextraktionsschrot in der Broilermast. In: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.): Standortgerechte Landnutzung-umweltverträglich und wirtschaftlich, 129. VDLUFA-Kongress, VDLUFA-Schriftenreihe Band **74**, 527-533, VDLUFA-Verlag, Darmstadt. ISBN: 978-3-941273-24-5
- Neumann, C., **Velten, S.**, Deike, K. und Liebert, F. (2017): Protein Quality of Chicken Diets with Complete Substitution of Soybean Meal by Insect Meal (*Hermetia illucens*) or Algae Meal (*Spirulina platensis*) and Graded Fortification of Dietary Amino Acid Supply. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, **26**, 79. ISBN: 978-3-7690-4110-1
- Neumann, C., **Velten, S.**, Hanuszewska, M., Schäfer, J. und Liebert, F. (2017): Influence of Insect or Algae Meal in Broiler Diets on Growth Performance, Intestinal Microbiota and Intestinal Microstructure of Meat Type Chicken. In: A. Zeyner, H. Kluth, M. Bukang, M. Bochnia und M. Bachmann (Hrsg.): 14. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle-Wittenberg, 30-33. ISBN: 978-3-86829-891-8
- Velten, S.**, Gruber-Dujardin, E., Neumann, C. und Liebert, F. (2017): Gastro Intestinal Effects of Partly Defatted Insect Meal (*Hermetia illucens*) and Micro Algae Meal (*Spirulina platensis*) as Substitute for Soybean Meal in Mixed Diets for Meat Type Chicken. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, **26**, 88. ISBN: 978-3-7690-4110-1
- Velten, S.**, Neumann, C. und Liebert, F. (2017): Proteinqualität von Broilerfutter bei vollständiger Substitution von Sojaextraktionsschrot durch teilentfettetes Insektenmehl (*Hermetia il-*

lucens) bei differenziertem Aminosäureangebot. In Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.): Standortgerechte Landnutzungsumweltverträglich und wirtschaftlich, 129. VDLUFA-Kongress, VDLUFA-Schriftenreihe Band **74**, 534-541, VDLUFA-Verlag, Darmstadt. ISBN: 978-3-941273-24-5

Velten, S., Neumann, C., Dörper, A. und Liebert, F. (2017): Response of Piglets due to Amino Acid Optimization of Mixed Diets with 75% Replacement of Soybean-Meal by Partly Defatted Insect Meal (*Hermetia illucens*). INSECTA Conference. Book of Abstract, Bornimer Agrartechnische Berichte, Potsdam-Bornim, Heft **97**, 63-64. ISSN: 0947-7314

Velten, S., Neumann, C., Mast, J. und Liebert, F. (2017): Response of Meat Type Chickens due to Amino Acid Optimization of Mixed Diets with 50% Replacement of Soybean-Meal by Partly Defatted Insect Meal (*Hermetia illucens*) or Meal from Micro Algae (*Spiulina platensis*). *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, **26**, 89. ISBN: 978-3-7690-4110-1

Velten, S., Neumann, C., Mast, J., Gruber-Dujardin, E. und Liebert, F. (2017): Einfluss von Insekten- (*Hermetia illucens*) und Mikroalgenmehl (*Spirulina platensis*) als alternative Proteinquellen auf Wachstumsparameter und Schleimhautoberfläche des Dünndarms von Absatzferkeln. In: A. Zeyner, H. Kluth, M. Bukang, M. Bochnia und M. Bachmann (Hrsg.): 14. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle-Wittenberg, 27-29. ISBN:978-3-86829-891-8

2016

Altmann, B., **Velten, S.**, Neumann, C., Liebert, F. und Mörlein, D. (2016): The Potential Meat Quality Optimization Through the use of Alternative Protein-Feed Sources. INSECTA, Magdeburg.

Brede, A., Neumann, C., **Velten, S.**, Liebert, F. (2016): Evaluation of *Hermetia illucens* and *Spirulina platensis* Proteins in Semi-Synthetic Diets for the Laboratory Rat. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, **25**, 31. ISBN: 978-3-7690-4109-5

Velten, S., Böttger, C. und Südekum, K.-H. (2016): Schätzung der precaecalen Verdaulichkeit des Rohproteins von Milchaustauschern und Proteinquellen für Kälber. In Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.): Anforderungen an die Verwertung von Reststoffen in der Landwirtschaft 128. VDLUFA-Kongress, VDLUFA-Schriftenreihe Band **73**, 445-452, VDLUFA-Verlag, Darmstadt. ISBN: 978-3-941273-23-8

Velten, S., Neumann, C. und Liebert, F. (2016): Poster 2.9, Evaluation of Partly Defatted Insect Meal from *Hermetia illucens* as a Substitute for Soybean Meal in Broiler Chicken Diets. INSECTA, Magdeburg.

Fachartikel

Velten, S. und Liebert, F. (2018). Larven der schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) als potenzieller Proteinlieferant in der Schweine- und Geflügelernährung. Veredlungsproduktion. Fachartikel, Proteinmarkt. Online verfügbar unter: <https://www.proteinmarkt.de/fachartikel/kw31-larven-der-schwarzen-soldatenfliege-hermetia-illucens-als-potentieller-proteinlieferant-in-der-schweine-und-gefluegelernaehring/> (01.08.2018).

Anhangs-Tabellen

Anhangs-Tabelle 1: Rohnährstoff- und Aminosäuren-Zusammensetzung eingesetzter Einzelfuttermittel

Inhaltsstoffe	Weizen		Mais		Gerste	
TS (%)	86,94		89,8		85,8	
XP (% der TS)	12,59		9,8		10,8	
XA (% der TS)	1,57		1,2		2,1	
XL (% der TS)	2,29		5,1		1,9	
XF (% der TS)	2,88		2,1		5,0	
Aminosäuren-Gehalte	g AS/16 g N	mg AS/g TS	g AS/16 g N	mg AS/g TS	g AS/16 g N	mg AS/g TS
Lys	2,72	3,43	2,62	2,56	3,66	3,96
Met	1,46	1,83	1,77	1,73	1,60	1,73
Cys	2,23	2,80	1,96	1,91	2,31	2,50
Thr	2,86	3,61	3,34	3,26	3,36	3,63
Arg	4,47	5,63	4,09	4,00	4,84	5,24
Val	3,85	4,85	4,34	4,24	4,53	4,90
Leu	6,18	7,78	11,37	11,10	6,19	6,70
Ile	3,07	3,86	3,18	3,10	3,14	3,40
His	2,19	2,75	2,65	2,58	2,11	2,28
Phe	4,10	5,17	4,66	4,55	4,39	4,75
Tyr	2,72	3,42	3,85	3,76	3,01	3,26
Ala	3,48	4,38	7,09	6,92	3,93	4,25
Gly	4,01	5,05	3,45	3,37	4,11	4,45
Pro	9,40*	11,83*	8,51	8,30	9,37	10,14
Glu	27,44	34,54	17,77	17,35	21,06	22,80
Ser	4,69	5,90	4,46	4,36	4,12	4,46
Asp	5,06	6,37	6,55	6,39	6,12	6,62

*unter Vorbehalt (mit 440 nm ausgewertet)

Anhangs-Tabellen

Anhangs-Tabelle 2: Zusammensetzung Prämix Masthähnchen

Inhaltsstoff / Zusatzstoff	Einheit	Wirkstoff je kg Endfutter (1 %)
XA	%	0,78
Ca	%	0,21
Na	%	0,08
Vitamin A	I.E.	5000,00
Vitamin D3	I.E.	1000,00
Vitamin E	mg	30,00
Vitamin B1	mg	2,60
Vitamin B2	mg	4,80
Vitamin B6	mg	3,20
Vitamin B12	mcg	20,00
Vitamin K3	mg	3,00
Niacin	mg	50,00
Ca-Pantothenat	mg	10,00
Folsäure	mg	0,90
Biotin	mcg	100,00
Cholinchlorid	mg	1000,00
Eisen	mg	50,00
Fe-II-Sulf-Monohydrat	mg	50,00
Kupfer	mg	15,00
Cu-II-Sulf-Pentahydrat	mg	15,00
Mangan	mg	120,00
Mangan-II-Oxid	mg	120,00
Zink	mg	70,00
Zn-Oxid	mg	70,00
Jod	mg	1,40
Ca-Jodat wasserfrei	mg	0,28
Selen	mg	0,28
Natriumselenit	mg	0,28
BHT (E321)	mg	100,00

Anhangs-Tabellen

Anhangs-Tabelle 3: Zusammensetzung Prämix Ferkel und Mastschweine

Inhaltsstoff / Zusatzstoff	Einheit	Wirkstoff je kg Endfutter (1,5 % Ferkel)	Wirkstoff je kg Endfutter (1 % Mastschweine)
Ca	%	0,18	0,14
P	%	0,21	0,10
Na	%	0,008	0,12
Mg	%	0,10	
Vitamin A	I.E.	9000,00	4000,00
Vitamin D3	I.E.	1050,00	500,00
Vitamin E	mg	52,50	40,00
Thiamin	mg	1,50	1,50
Riboflavin	mg	4,50	6,00
Vitamin B6	mg	3,80	3,00
Vitamin B12	mcg	30,00	30,00
Vitamin K3	mg	3,00	3,00
Niacin	mg	18,80	20,00
Calcium-Pantothenat	mg	11,30	12,00
Folsäure	mg	1,10	0,50
Biotin	mcg	225,00	100,00
Cholinchloride	mg	525,00	100,00
Eisen	mg	150,00	80,00
Kupfer	mg	30,00	5,00
Mangan	mg	37,50	27,50
Zink	mg	150,00	75,00
Jod	mg	0,23	0,68
Selen	mg	0,23	0,20
Phytase (EC 3.1.3.8)	FTU	501,00	500,00

Anhangs-Tabelle 4: Zootechnische- und Aufwandsparameter Wachstumsversuch I-III Starterphase (LT 0-21)

	Versuch I 50 % SES-Austausch						Versuch II 75 %/50 % SES-Austausch						Versuch III 100 % SES-Austausch							
	K	HM	SM	HM+	SM+	K	HM+	SM+	HM-LAS	SM-LAS	K	HM+	SM+	HM-LAS	SM-LAS	K	HM+	SM+	HM-LAS	SM-LAS
	12	9	8*	9	9	12	9	9	9	9	12	9	9	9	9	12	9	9	9	9
n	12	9	8*	9	9	12	9	9	9	9	12	9	9	9	12	9	9	9	9	9
LM Beginn (g)	47,5 ± 0,1	47,4 ± 0,1	47,3 ± 0,1	47,3 ± 0,2	47,3 ± 0,2	51,6 ± 0,26	51,9 ± 0,18	51,7 ± 0,38	51,7 ± 0,13	51,8 ± 0,12	1129,4 ^{cd} ± 57,5	1170,7 ^d ± 42,4	1025,6 ^b ± 39,9	1082,2 ^{bc} ± 63,4	585,6 ^a ± 73,9	1033,8 ^b ± 52,1	1160,1 ^c ± 35,1	989,3 ^b ± 67,9	1115,5 ^c ± 31,7	742,3 ^a ± 61,9
LM Ende (g)	960,9 ^c ± 112,2	693,2 ^b ± 30,1	504,6 ^a ± 31,0	1034,5 ^d ± 42,0	947,3 ^c ± 60,1	1129,4 ^{cd} ± 57,5	1170,7 ^d ± 42,4	1025,6 ^b ± 39,9	1082,2 ^{bc} ± 63,4	585,6 ^a ± 73,9	1129,4 ^{cd} ± 57,5	1170,7 ^d ± 42,4	1025,6 ^b ± 39,9	1082,2 ^{bc} ± 63,4	585,6 ^a ± 73,9	1033,8 ^b ± 52,1	1160,1 ^c ± 35,1	989,3 ^b ± 67,9	1115,5 ^c ± 31,7	742,3 ^a ± 61,9
LMZ (g/d)	43,5 ^c ± 2,4	30,8 ^b ± 1,4	21,7 ^a ± 1,5	47,0 ^d ± 2,0	42,8 ^c ± 2,9	51,3 ^{cd} ± 2,7	53,3 ^d ± 2,0	46,4 ^b ± 1,9	49,1 ^{bc} ± 3,0	25,4 ^a ± 3,5	51,3 ^{cd} ± 2,7	53,3 ^d ± 2,0	46,4 ^b ± 1,9	49,1 ^{bc} ± 3,0	25,4 ^a ± 3,5	47,1 ^b ± 2,5	53,1 ^c ± 1,7	44,9 ^b ± 3,2	51,0 ^c ± 1,5	33,2 ^a ± 3,0
FI (g/d)	54,28 ^{cd} ± 3,82	47,12 ^b ± 3,73	38,13 ^a ± 3,42	58,02 ^d ± 4,13	52,64 ^c ± 4,62	58,6 ^{bc} ± 2,5	59,2 ^c ± 2,2	55,6 ^b ± 2,3	55,1 ^b ± 3,2	40,5 ^a ± 5,9	58,6 ^{bc} ± 2,5	59,2 ^c ± 2,2	55,6 ^b ± 2,3	55,1 ^b ± 3,2	40,5 ^a ± 5,9	55,7 ^b ± 2,7	57,1 ^b ± 2,1	55,4 ^b ± 2,5	56,1 ^b ± 1,3	40,7 ^a ± 4,1
FA (g/g)	1,25 ^a ± 0,11	1,53 ^b ± 0,13	1,70 ^c ± 0,10	1,23 ^a ± 0,07	1,23 ^a ± 0,04	1,14 ^a ± 0,04	1,11 ^a ± 0,03	1,20 ^b ± 0,02	1,12 ^a ± 0,01	1,61 ^c ± 0,29	1,14 ^a ± 0,04	1,11 ^a ± 0,03	1,20 ^b ± 0,02	1,12 ^a ± 0,01	1,61 ^c ± 0,29	1,18 ^b ± 0,03	1,08 ^a ± 0,04	1,24 ^b ± 0,07	1,10 ^a ± 0,03	1,23 ^b ± 0,07
PA (g/g)	0,31 ^a ± 0,03	0,38 ^b ± 0,03	0,40 ^b ± 0,02	0,32 ^a ± 0,02	0,29 ^a ± 0,01	0,283 ^a ± 0,010	0,295 ^b ± 0,007	0,311 ^c ± 0,004	0,296 ^b ± 0,002	0,414 ^d ± 0,075	0,283 ^a ± 0,010	0,295 ^b ± 0,007	0,311 ^c ± 0,004	0,296 ^b ± 0,002	0,414 ^d ± 0,075	0,294 ^{bc} ± 0,008	0,275 ^a ± 0,010	0,316 ^d ± 0,017	0,281 ^{ab} ± 0,006	0,309 ^{cd} ± 0,019
EA (kJ/g)	18,02 ^a ± 1,52	23,33 ^b ± 2,05	26,15 ^c ± 1,49	18,89 ^a ± 1,09	18,94 ^a ± 0,66	16,46 ^a ± 0,61	17,02 ^{ab} ± 0,39	18,35 ^c ± 0,26	17,18 ^b ± 0,14	24,69 ^d ± 4,46	16,46 ^a ± 0,61	17,02 ^{ab} ± 0,39	18,35 ^c ± 0,26	17,18 ^b ± 0,14	24,69 ^d ± 4,46	17,06 ^a ± 0,45	16,56 ^a ± 0,59	18,43 ^b ± 0,98	16,96 ^a ± 0,39	18,28 ^b ± 1,10

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl (SPM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+/SM+ = Futtermischung mit HM/SPM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-LAS/SM-LAS = Mischung HM+/SM+ mit kalkulatorisch erstlimittierter AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; LM = Lebendmasse; LMZ = Lebendmassezunahme; FI = Futteraufnahme; FA = Futteraufwand; PA = Proteinaufwand; EA = Energieaufwand; * Ausreißer ($p < 0,05$) im Futteraufwand bestimmt mit SPSS boxplot, ^{a-d}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches ($p < 0,05$)

Anhangs-Tabelle 5: Zootechnische- und Aufwandsparameter Wachstumsversuch I-III Growerphase (LT 21-34/35)

	Versuch I 50 % SES-Austausch						Versuch II 75 %/50 % SES-Austausch						Versuch III 100 % SES-Austausch					
	K	HM	SM	HM+	SM+		K	HM+	SM+	HM-LAS	SM-LAS		K	HM+	SM+	HM-LAS	SM-LAS	
	12	9	8*	9	9	n	12	9	9	9	9	9	12	9	9	9	9	
LM Beginn (g)	960,9 ^c ± 112,2	693,2 ^b ± 30,1	504,6 ^a ± 31,0	1034,5 ^d ± 42,0	947,3 ^c ± 60,1		1129,4 ^{cd} ± 57,5	1170,7 ^d ± 42,4	1025,6 ^b ± 39,9	1082,2 ^{bc} ± 63,4	585,6 ^a ± 73,9		1033,8 ^b ± 52,1	1160,1 ^c ± 35,1	989,3 ^b ± 67,9	1115,5 ^c ± 31,7	742,3 ^a ± 61,9	
LM Ende (g)	2173,7 ^c ± 112,2	1493,6 ^b ± 89,3	1062,5 ^a ± 64,8	2319,9 ^d ± 114,4	2121,8 ^c ± 121,6		2367,9 ^{bc} ± 153,1	2529,7 ^c ± 100,0	2326,8 ^b ± 75,0	2317,1 ^b ± 92,8	1779,6 ^a ± 164,9		2177,3 ^b ± 103,8	2397,2 ^c ± 102,8	2052,8 ^b ± 102,1	2319,5 ^c ± 71,6	1547,6 ^a ± 128,1	
LMZ (g/d)	101,4 ^{cd} ± 9,60	66,8 ^{2b} ± 5,28	46,40 ^a ± 3,63	107,12 ^d ± 7,92	97,73 ^c ± 5,25		95,27 ^{ab} ± 10,58	104,54 ^b ± 5,96	100,09 ^{ab} ± 5,02	94,99 ^a ± 3,15	91,84 ^a ± 8,24		95,30 ^{bc} ± 6,41	103,08 ^d ± 6,38	88,63 ^b ± 5,25	100,33 ^{cd} ± 4,87	67,11 ^a ± 6,39	
FI (g/d)	145,01 ^c ± 8,01	124,80 ^b ± 11,10	96,00 ^a ± 4,51	137,97 ^c ± 9,88	144,42 ^c ± 8,98		148,8 ^b ± 14,2	149,5 ^b ± 6,8	138,4 ^{ab} ± 7,3	143,7 ^{ab} ± 8,1	132,3 ^a ± 10,0		160,3 ^c ± 7,9	144,1 ^b ± 7,7	140,1 ^b ± 7,0	140,6 ^b ± 5,7	121,1 ^a ± 12,0	
FA (g/g)	1,44 ^b ± 0,07	1,88 ^c ± 0,21	2,05 ^c ± 0,18	1,29 ^a ± 0,07	1,23 ^a ± 0,04		1,57 ^c ± 0,12	1,43 ^{ab} ± 0,05	1,39 ^a ± 0,08	1,51 ^{bc} ± 0,06	1,44 ^{ab} ± 0,05		1,69 ^{bc} ± 0,10	1,40 ^a ± 0,04	1,58 ^b ± 0,06	1,40 ^a ± 0,02	1,81 ^c ± 0,10	
PA (g/g)	0,32 ^{ab} ± 0,02	0,42 ^c ± 0,05	0,43 ^c ± 0,04	0,29 ^a ± 0,02	0,32 ^b ± 0,01		0,351 ^b ± 0,027	0,332 ^{ab} ± 0,013	0,318 ^a ± 0,019	0,349 ^b ± 0,013	0,330 ^{ab} ± 0,012		0,377 ^b ± 0,022	0,320 ^a ± 0,009	0,367 ^b ± 0,015	0,319 ^a ± 0,006	0,414 ^c ± 0,022	
EA (kJ/g)	21,24 ^a ± 1,02	29,09 ^c ± 3,32	31,98 ^c ± 2,81	20,12 ^a ± 1,05	23,05 ^b ± 0,65		23,53 ^b ± 1,84	22,18 ^{ab} ± 0,84	21,47 ^a ± 1,29	23,44 ^b ± 0,88	22,37 ^{ab} ± 0,84		25,30 ^b ± 1,45	22,25 ^a ± 0,61	24,36 ^b ± 0,98	22,29 ^a ± 0,40	27,82 ^c ± 1,50	

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl (SPM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+/SM+ = Futtermischung mit HIM/SPM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-LAS/SM-LAS = Mischung HM+/SM+ mit kalkulatorisch erstlimittierender AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; LM = Lebendmasse; LMZ = Lebendmassezunahme; FI = Futteraufnahme; FA = Futteraufwand; PA = Proteinaufwand; EA = Energieaufwand; *Ausreißer ($p < 0,05$) im Futteraufwand bestimmt mit SPSS boxplot, ^{a-c}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches ($p < 0,05$)

Anhangs-Tabelle 6: Zootechnische- und Aufwandsparameter Wachstumsversuch I-III über die gesamte Wachstumsphase (LT 1-34/35)

	Versuch I 50 % SES-Austausch						Versuch II 75 %/50 % SES-Austausch						Versuch III 100 % SES-Austausch							
	K	HM	SM	HM+	SM+	K	HM+	SM+	HM-LAS	SM-LAS	K	HM+	SM+	HM-LAS	SM-LAS	K	HM+	SM+	HM-LAS	SM-LAS
	12	9	8*	9	9	12	9	9	9	9	12	9	9	9	9	12	9	9	9	9
n	12	9	8*	9	9	12	9	9	9	9	12	9	9	9	12	9	9	9	9	9
LM Beginn (g)	47,5 ± 0,1	47,4 ± 0,1	47,3 ± 0,1	47,3 ± 0,2	47,3 ± 0,2	51,6 ± 0,26	51,9 ± 0,18	51,7 ± 0,38	51,7 ± 0,13	51,8 ± 0,12	2367,9 ^{bc} ± 153,1	2529,7 ^c ± 100,0	2326,8 ^b ± 75,0	2317,1 ^b ± 92,8	1779,6 ^a ± 164,9	2177,3 ^b ± 103,8	2397,2 ^c ± 102,8	2052,8 ^b ± 102,1	2319,5 ^c ± 71,6	1547,6 ^a ± 128,1
LM Ende (g)	2173,7 ^c ± 112,2	1493,6 ^b ± 89,3	1062,5 ^a ± 64,8	2319,9 ^d ± 114,4	2121,8 ^c ± 121,6	2367,9 ^{bc} ± 153,1	2529,7 ^c ± 100,0	2326,8 ^b ± 75,0	2317,1 ^b ± 92,8	1779,6 ^a ± 164,9	2177,3 ^b ± 103,8	2397,2 ^c ± 102,8	2052,8 ^b ± 102,1	2319,5 ^c ± 71,6	1547,6 ^a ± 128,1	2177,3 ^b ± 103,8	2397,2 ^c ± 102,8	2052,8 ^b ± 102,1	2319,5 ^c ± 71,6	1547,6 ^a ± 128,1
LMZ (g/d)	64,54 ^c ± 3,40	43,86 ^b ± 2,71	30,71 ^a ± 1,96	68,85 ^d ± 3,47	62,75 ^c ± 3,68	68,13 ^{bc} ± 4,50	72,88 ^c ± 2,94	66,91 ^b ± 2,20	66,63 ^b ± 2,73	50,82 ^a ± 4,85	64,60 ^b ± 3,15	71,26 ^c ± 3,12	60,83 ^b ± 3,09	68,91 ^c ± 2,17	45,52 ^a ± 3,88	64,60 ^b ± 3,15	71,26 ^c ± 3,12	60,83 ^b ± 3,09	68,91 ^c ± 2,17	45,52 ^a ± 3,88
FI (g/d)	87,27 ^c ± 4,72	75,37 ^b ± 6,17	57,84 ^a ± 1,87	87,09 ^c ± 5,55	86,01 ^c ± 5,83	93,1 ^b ± 5,9	93,7 ^b ± 3,4	87,3 ^b ± 3,9	89,0 ^b ± 4,9	75,6 ^a ± 6,3	93,8 ^c ± 3,7	88,7 ^b ± 3,6	86,2 ^b ± 4,0	86,8 ^b ± 2,3	69,9 ^a ± 6,3	93,8 ^c ± 3,7	88,7 ^b ± 3,6	86,2 ^b ± 4,0	86,8 ^b ± 2,3	69,9 ^a ± 6,3
FA (g/g)	1,35 ^b ± 0,04	1,72 ^c ± 0,17	1,89 ^c ± 0,11	1,26 ^a ± 0,04	1,37 ^b ± 0,03	1,37 ^b ± 0,06	1,29 ^a ± 0,03	1,30 ^{ab} ± 0,05	1,33 ^b ± 0,02	1,49 ^c ± 0,10	1,45 ^b ± 0,06	1,25 ^a ± 0,03	1,42 ^b ± 0,03	1,26 ^a ± 0,02	1,54 ^c ± 0,05	1,45 ^b ± 0,06	1,25 ^a ± 0,03	1,42 ^b ± 0,03	1,26 ^a ± 0,02	1,54 ^c ± 0,05
PA (g/g)	0,31 ^a ± 0,01	0,40 ^b ± 0,04	0,42 ^b ± 0,02	0,30 ^a ± 0,01	0,31 ^a ± 0,01	0,318 ^{ab} ± 0,014	0,315 ^a ± 0,006	0,315 ^{ab} ± 0,011	0,325 ^b ± 0,006	0,355 ^c ± 0,025	0,338 ^b ± 0,013	0,299 ^a ± 0,008	0,342 ^b ± 0,007	0,301 ^a ± 0,005	0,365 ^c ± 0,012	0,338 ^b ± 0,013	0,299 ^a ± 0,008	0,342 ^b ± 0,007	0,301 ^a ± 0,005	0,365 ^c ± 0,012
EA (kJ/g)	19,81 ^a ± 0,55	26,50 ^c ± 2,64	29,31 ^c ± 1,66	19,57 ^a ± 0,59	21,27 ^b ± 0,46	20,19 ^{ab} ± 0,86	19,84 ^a ± 0,39	20,12 ^{ab} ± 0,72	20,58 ^b ± 0,37	23,03 ^c ± 1,59	21,47 ^b ± 0,85	19,55 ^a ± 0,52	21,54 ^b ± 0,48	19,78 ^a ± 0,30	23,37 ^c ± 0,83	21,47 ^b ± 0,85	19,55 ^a ± 0,52	21,54 ^b ± 0,48	19,78 ^a ± 0,30	23,37 ^c ± 0,83

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl (SPM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+/SM+ = Futtermischung mit HIM/SPM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-LAS/SM-LAS = Mischung HM+/SM+ mit kalkulatorisch ermittelnder AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; LM = Lebendmasse; LMZ = Lebendmassezunahme; FI = Futteraufnahme; FA = Futteraufwand; PA = Proteinaufwand; EA = Energieaufwand; * Ausreißer ($p < 0,05$) im Futteraufwand bestimmt mit SPSS boxplot, ^{a-d}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches ($p < 0,05$)

Anhangs-Tabelle 7: Nährstoffzusammensetzung- und ansatz der Ganzkörper am Ende der Wachstumsversuche I-III Masthähnchen

Versuch	Mi- schung	Nährstoffgehalt					Energie			Nährstoffansatz			Energie- ansatz	
		%	g/kg TS	g/kg TS	g/kg TS	g/kg TS	MJ/kg TS	GE	g/d	g/d	g/d	g/d	kJ/d	GE
Eintags- küken		22,54 ± 0,18	687,9 ± 12,1	226,9 ± 11,3	85,2 ± 1,1	25,33 ± 0,17								
Versuch I 50 % SES- Austausch	K	29,91 ^a ± 1,71	570,2 ^b ± 21,0	354,0 ^b ± 24,2	75,8 ^{ab} ± 4,4	27,60 ± 0,48	12	11,05 ^d ± 0,58	6,92 ^c ± 0,36	1,47 ^c ± 0,08	537 ^c ± 28			
	HM	31,14 ^{ab} ± 0,76	522,1 ^{ab} ± 24,1	395,1 ^{ab} ± 26,3	82,8 ^b ± 2,7	28,10 ± 0,48	9	7,16 ^b ± 0,44	5,51 ^b ± 0,33	1,14 ^b ± 0,07	389 ^b ± 24			
	SM	29,90 ^a ± 0,73	536,3 ^{ab} ± 20,2	379,1 ^{ab} ± 22,2	84,5 ^b ± 2,4	27,80 ± 0,41	8*	4,95 ^a ± 0,31	3,58 ^a ± 0,22	0,79 ^a ± 0,05	260 ^a ± 16			
	HM+	31,69 ^{ab} ± 1,36	531,5 ^{ab} ± 27,7	394,8 ^{ab} ± 34,8	73,8 ^{bc} ± 7,4	28,31 ± 0,73	9	11,64 ^d ± 0,58	8,73 ^d ± 0,43	1,62 ^d ± 0,08	623 ^d ± 31			
	SM+	32,92 ^b ± 1,13	493,7 ^a ± 19,5	433,1 ^a ± 20,9	73,2 ^{ac} ± 2,8	28,95 ± 0,38	9	10,23 ^c ± 0,60	9,08 ^d ± 0,53	1,52 ^{cd} ± 0,09	604 ^d ± 35			
Versuch II 75 %/50 % SES- Austausch	K	32,16 ^a ± 0,98	592,3 ^c ± 26,9	329,6 ^a ± 29,8	78,1 ± 3,0	27,16 ^a ± 0,55	12	12,02 ^{bc} ± 0,79	6,74 ^a ± 0,44	1,59 ^b ± 0,10	553 ^b ± 36			
	HM+	34,88 ^b ± 0,57	535,0 ^{ab} ± 20,4	392,7 ^{bc} ± 19,9	72,4 ± 3,3	28,31 ^{bc} ± 0,33	9	12,52 ^c ± 0,50	9,28 ^c ± 0,37	1,70 ^b ± 0,07	666 ^c ± 27			
	SM+	33,19 ^{ab} ± 1,41	557,5 ^{bc} ± 14,6	365,4 ^{ab} ± 17,8	77,2 ± 6,4	27,75 ^{ab} ± 0,40	9	11,44 ^b ± 0,38	7,57 ^b ± 0,25	1,59 ^b ± 0,05	572 ^b ± 19			
	HM-LAS	35,35 ^b ± 1,01	511,1 ^a ± 16,7	417,1 ^c ± 21,1	71,8 ± 4,9	28,71 ^c ± 0,45	9	11,28 ^b ± 0,46	9,31 ^c ± 0,38	1,59 ^b ± 0,06	638 ^c ± 26			
	SM-LAS	34,06 ^{ab} ± 1,67	532,7 ^{ab} ± 18,0	398,2 ^b ± 20,4	69,1 ± 3,1	28,47 ^{bc} ± 0,39	9	8,56 ^a ± 0,81	6,49 ^a ± 0,61	1,11 ^a ± 0,11	461 ^a ± 43			
Versuch III 100 % SES- Austausch	K	32,59 ^a ± 0,60	603,6 ^b ± 19,1	321,0 ^a ± 22,5	75,5 ^{ab} ± 4,6	27,08 ^a ± 0,45	12	11,94 ^{cd} ± 0,58	6,39 ^b ± 0,31	1,49 ^c ± 0,07	537 ^b ± 26			
	HM+	35,25 ^{ab} ± 1,02	535,2 ^a ± 13,4	396,7 ^b ± 16,7	68,2 ^a ± 3,3	28,47 ^b ± 0,35	9	12,64 ^d ± 0,55	9,45 ^d ± 0,41	1,61 ^d ± 0,07	676 ^c ± 29			
	SM+	34,79 ^a ± 2,27	563,3 ^{ab} ± 48,7	365,8 ^{ab} ± 53,7	70,9 ^{ab} ± 6,1	27,91 ^{ab} ± 0,99	9	10,86 ^b ± 0,55	7,11 ^c ± 0,36	1,37 ^b ± 0,07	540 ^b ± 27			
	HM-LAS	35,74 ^b ± 0,53	507,8 ^a ± 9,8	423,0 ^b ± 11,7	69,2 ^{ab} ± 2,2	28,87 ^b ± 0,73	9	11,70 ^c ± 0,37	9,85 ^d ± 0,31	1,60 ^d ± 0,05	669 ^c ± 21			
	SM-LAS	34,8 ^{ab} ± 1,39	543,4 ^a ± 22,7	378,8 ^{ab} ± 26,2	77,8 ^b ± 3,6	27,96 ^{ab} ± 0,50	9	7,82 ^a ± 0,66	5,52 ^a ± 0,46	1,12 ^a ± 0,09	405 ^a ± 34			

Mittelwert ± SD; n= Stichprobenumfang; K= Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl (SPM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+/SM+ = Futtermischung mit HIM/SPM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-LAS/SM-LAS = Mischung HM+/SM+ mit kalkulatorisch erstlimittierender AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; *Ausreißer (p<0,05) im Futteraufwand bestimmt mit SPSS boxplot; a-c-verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches (p<0,05)

Anhangs-Tabelle 8: Parameter der Protein- und Energieverwertung sowie der Proteinqualität der Wachstumsversuche I-III Masthähnchen

Versuch	Mischung	n	PPW (%)	NPU (%) [*]	Energieverwertung (%)	Proteinqualitätsparameter	
						Model-Parameter b (x10 ⁶) ^{**}	NPU _{std} (%) ^{***}
Versuch I 50 % SES-Austausch	K	12	55,1 ^c ± 1,6	63,0 ^b ± 1,8	42,1 ^c ± 1,2	225 ^c ± 7	62,9 ^c ± 1,3
	HM	9	40,9 ^a ± 3,9	50,0 ^a ± 4,4	33,7 ^b ± 3,2	162 ^a ± 15	49,1 ^a ± 3,7
	SM	8 ¹	38,9 ^a ± 2,1	46,6 ^a ± 2,1	28,9 ^a ± 1,6	151 ^a ± 9	46,7 ^a ± 2,1
	HM+	9	55,6 ^c ± 1,7	63,5 ^b ± 2,0	46,3 ^d ± 1,4	228 ^c ± 7	63,4 ^c ± 1,4
	SM+	9	53,3 ^b ± 1,2	61,4 ^b ± 1,5	45,3 ^d ± 1,0	215 ^b ± 5	60,9 ^b ± 0,9
Versuch II 75 %/50 % SES-Austausch	K	12	55,5 ^c ± 2,4	63,4 ^c ± 2,6	40,3 ^a ± 1,7	230 ^c ± 11	63,7 ^c ± 2,0
	HM+	9	54,6 ^c ± 1,2	62,3 ^c ± 1,2	46,1 ^c ± 0,9	225 ^c ± 5	62,9 ^c ± 1,0
	SM+	9	54,3 ^{bc} ± 2,0	62,3 ^{bc} ± 2,3	42,6 ^b ± 1,6	223 ^c ± 8	62,3 ^c ± 1,6
	HM-LAS	9	52,1 ^b ± 0,9	59,9 ^b ± 1,2	46,5 ^c ± 0,8	213 ^b ± 3	60,4 ^b ± 0,7
	SM-LAS	9	47,7 ^a ± 3,3	55,5 ^a ± 3,7	39,6 ^{ab} ± 2,6	191 ^a ± 14	55,7 ^a ± 3,0
Versuch III 100 % SES-Austausch	K	12	54,7 ^c ± 2,1	62,1 ^c ± 2,3	38,8 ^a ± 1,5	230 ^c ± 10	63,7 ^c ± 1,9
	HM+	9	59,4 ^d ± 1,7	67,5 ^e ± 1,9	48,5 ^c ± 1,3	249 ^d ± 8	67,3 ^d ± 1,4
	SM+	9	52,2 ^b ± 1,1	59,6 ^b ± 1,2	41,3 ^b ± 0,9	215 ^b ± 5	60,9 ^b ± 1,0
	HM-LAS	9	56,5 ^c ± 0,9	64,5 ^d ± 1,0	49,1 ^c ± 0,8	233 ^c ± 4	64,3 ^c ± 0,8
	SM-LAS	9	47,1 ^a ± 1,6	54,9 ^a ± 1,9	38,1 ^a ± 1,4	189 ^a ± 7	55,3 ^a ± 1,4

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl (SPM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+/SM+ = Futtermischung mit HIM/SPM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-LAS/SM-LAS = Mischung HM+/SM+ mit kalkulatorisch erstlimittierter AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; PPW = produktiver Proteinwert; NPU = physiologischer Proteinwert; NPU_{std} = standardisierter physiologischer Proteinwert; *NMR = 240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; **angewandt für die NPU Standardisierung, basierend auf: NMR = 240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d und NR_{max}T = 3840 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; ***standardisierte N-Aufnahme = 3000 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; Ausreißer (p<0,05) im Futteraufwand bestimmt mit SPSS boxplot, a-d-verschiedene Hochbuchstaben in einer Spalte kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches (p<0,05)

Anhangs-Tabelle 9: Scheinbare precaecale Rohprotein- und Aminosäureverdaulichkeit (%) am Versuchsende der Wachstumversuche I-III

	Versuch I 50 % SES-Austausch				Versuch II 75 %/50 % SES-Austausch				Versuch III 100 % SES-Austausch				
	K	HM	SM		K	HM-LAS	SM-LAS		K	HM+	K	HM+	SM+
	3 ¹	4	4		3 ²	3 ²	3 ²		3 ³	3 ³	3 ³	3 ³	3 ³
spcV, XP	75,2 ^b ± 3,9	67,9 ^{ab} ± 3,2	60,9 ^a ± 6,2		76,8 ^b ± 1,3	76,5 ^b ± 1,9	71,3 ^a ± 0,8		75,8 ^a ± 0,9	78,5 ^b ± 1,1		78,5 ^b ± 1,1	74,6 ^a ± 1,2
spcV, Lys	82,3 ^b ± 6,6	70,8 ^{ab} ± 3,0	63,0 ^a ± 9,9		79,3 ± 1,2	81,8 ± 1,8	80,4 ± 0,2		76,9 ± 3,5	83,5 ± 1,6		83,5 ± 1,6	79,6 ± 3,4
spcV, Met	90,2 ± 3,7	85,0 ± 2,2	83,3 ± 4,0		88,7 ^b ± 0,9	87,8 ^{ab} ± 1,1	85,4 ^a ± 1,3		83,1 ^a ± 2,4	88,9 ^b ± 1,2		88,9 ^b ± 1,2	84,2 ^a ± 1,7
spcV, Met+Cys	82,6 ^b ± 4,3	75,3 ^{ab} ± 2,6	73,2 ^a ± 4,9		82,0 ^b ± 1,2	77,3 ^a ± 2,2	77,2 ^a ± 2,0		74,1 ^a ± 1,0	81,8 ^b ± 1,3		81,8 ^b ± 1,3	78,3 ^b ± 2,2
spcV, Thr	73,2 ^b ± 7,5	63,2 ^{ab} ± 5,0	56,1 ^a ± 9,0		70,5 ± 1,4	72,2 ± 2,8	68,6 ± 1,6		62,6 ^a ± 1,4	74,4 ^c ± 1,6		74,4 ^c ± 1,6	67,5 ^b ± 1,6
spcV, Arg	85,1 ^b ± 4,6	79,1 ^{ab} ± 2,9	69,5 ^a ± 5,6		81,4 ^b ± 1,6	86,3 ^c ± 1,6	75,7 ^a ± 0,4		79,2 ^b ± 0,4	86,7 ^c ± 7,7		86,7 ^c ± 7,7	50,5 ^a ± 2,2
spcV, His	82,9 ^b ± 5,3	75,5 ^{ab} ± 2,2	70,4 ^a ± 6,3		79,4 ± 1,6	80,7 ± 1,7	77,3 ± 0,6		77,3 ± 0,2	80,0 ± 1,6		80,0 ± 1,6	78,1 ± 3,1
spcV, Ile	81,0 ^b ± 6,1	74,0 ^{ab} ± 2,6	65,0 ^a ± 6,6		77,1 ^b ± 1,5	81,2 ^b ± 2,4	72,9 ^a ± 0,3		73,5 ^b ± 0,8	83,7 ^c ± 1,5		83,7 ^c ± 1,5	70,5 ^a ± 1,0
spcV, Leu	81,4 ^b ± 5,6	75,8 ^{ab} ± 2,3	68,2 ^a ± 5,8		77,6 ^a ± 1,9	82,4 ^b ± 1,8	74,7 ^a ± 0,5		74,1 ^a ± 0,8	82,7 ^b ± 1,7		82,7 ^b ± 1,7	73,0 ^a ± 1,4
spcV, Val	78,4 ^b ± 6,7	72,4 ^{ab} ± 2,6	60,3 ^a ± 7,1		77,1 ^a ± 1,5	80,5 ^b ± 2,2	70,6 ^a ± 0,4		68,9 ^b ± 1,1	76,1 ^c ± 1,7		76,1 ^c ± 1,7	60,3 ^a ± 0,5

Mittelwert ± SD; spcV = scheinbare precaecale Verdaulichkeit; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl (SPM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+/SM+ = Futtermischung mit HIM/SPM mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-LAS/SM-LAS = Mischung HM+/SM+ mit kalkulatorisch erst limitierender AS herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; Ausreißer wurden nach DIXON und MASSEY (1969) bestimmt: ¹für K $\alpha = 0,2$; ²für K, HM-LAS und SM-LAS jeweils ein Ausreißer bei der Indikatorbestimmung im Chymus; ³für K und HM+ $\alpha = 0,05$; für SM+ mit $\alpha = 0,1$; ^{a-b}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches (p<0,05)

Anhangs-Tabellen

Anhangs-Tabelle 10: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen in der Starter- und Grower-Phase des N-Bilanzversuches I

	K	HM	SM	HM+	SM+
Starter-Phase (LT 10 bis 20)					
n	14	14	14	14	14
Mittlere Lebendmasse (g)	407 ^c ± 124	201 ^b ± 53	138 ^a ± 44	417 ^c ± 134	340 ^c ± 105
Mittlere Futtermittelaufnahme (g/d)	49,1 ^b ± 13,1	21,9 ^a ± 8,8	14,3 ^a ± 10,1	52,0 ^b ± 13,6	45,2 ^b ± 10,6
N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	3572 ^c ± 277	2461 ^b ± 610	1740 ^a ± 784	3884 ^c ± 277	3406 ^c ± 328
N-Ausscheidung (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1108 ^{ab} ± 146	1099 ^{ab} ± 350	844 ^a ± 440	1333 ^b ± 186	1203 ^b ± 156
N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	2463 ^{cd} ± 163	1361 ^b ± 308	896 ^a ± 375	2550 ^d ± 140	2203 ^c ± 225
N-Retention (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)*	2703 ^{cd} ± 163	1601 ^b ± 308	1136 ^a ± 375	2790 ^d ± 140	2243 ^c ± 225
Grower-Phase (LT 25 bis 35)					
n	14	14	14	14	14
Mittlere Lebendmasse (g)	952 ^b ± 228	762 ^b ± 150	564 ^a ± 83	895 ^b ± 173	924 ^b ± 202
Mittlere Futtermittelaufnahme (g/d)	93,7 ^c ± 19,7	66,6 ^b ± 16,3	41,8 ^a ± 8,4	81,3 ^{bc} ± 15,6	98,8 ^c ± 18,5
N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	3473 ^c ± 245	2869 ^b ± 366	1937 ^a ± 240	3310 ^c ± 273	3442 ^c ± 288
N-Ausscheidung (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1220 ^b ± 110	1299 ^b ± 189	979 ^a ± 175	1298 ^b ± 120	1274 ^b ± 142
N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	2252 ^d ± 166	1569 ^b ± 212	957 ^a ± 89	2012 ^c ± 207	2168 ^{cd} ± 187
N-Retention (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)*	2492 ^d ± 166	1809 ^b ± 212	1197 ^a ± 89	2252 ^c ± 207	2408 ^{cd} ± 187

Mittelwert ± SD; n= Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl (SPM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+/SM+ = Futtermischung mit HIM/SPM mit erweiterter AS-Supplementierung; *NMR= 240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; ^{a-c}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede der Parameter ($p < 0,05$)

Anhangs-Tabellen

Anhangs-Tabelle 11: Abgeleitete N-Verwertungskennzahlen der Starter- und Grower-Phase für N-Bilanzversuch I

	K	HM	SM	HM+	SM+
Starter-Phase (LT 10 bis 20)					
n	14	14	14	14	14
PPW (%)	69,1 ^c ± 2,2	55,7 ^a ± 5,7	51,9 ^a ± 7,1	65,8 ^b ± 2,9	64,7 ^b ± 2,8
NPU (%)*	75,8 ^c ± 2,5	65,9 ^a ± 6,4	67,6 ^a ± 8,5	72,0 ^b ± 3,3	71,8 ^b ± 2,9
b-Wert (x10 ⁶)**	285 ^c ± 14	196 ^a ± 21	186 ^a ± 21	278 ^c ± 16	253 ^b ± 19
NPU_{std} (%)***	81,2^c ± 2,5	62,6^a ± 4,6	60,2^a ± 5,1	79,8^c ± 2,8	75,2^b ± 3,7
Grower-Phase (LT 25 bis 35)					
n	14	14	14	14	14
PPW (%)	64,9 ^d ± 1,8	54,7 ^b ± 2,7	49,8 ^a ± 4,2	60,7 ^c ± 2,7	63,0 ^{cd} ± 2,2
NPU (%)*	71,8 ^c ± 1,9	63,2 ^a ± 2,9	62,4 ^a ± 5,8	68,0 ^b ± 2,6	70,0 ^{bc} ± 2,4
b-Wert (x10 ⁶)**	374 ^d ± 28	262 ^b ± 20	223 ^a ± 19	324 ^c ± 31	352 ^d ± 30
NPU_{std} (%)***	77,2^d ± 3,1	62,3^b ± 3,0	55,8^a ± 3,3	71,1^c ± 4,1	74,7^{cd} ± 3,5

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K= Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl (SPM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+/SM+ = Futtermischung mit HIM/SPM mit erweiterter AS-Supplementierung; PPW = produktiver Proteinwert; NPU = physiologischer Proteinnutzwert; NPU_{std} = standardisierter physiologischer Proteinnutzwert; *NMR = 240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; **verwendete Modellparameter: NMR = 240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; NR_{max}T Starter = 4240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d, NR_{max}T Grower = 3440 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; *** standardisierte N-Aufnahme = 3000 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; a-c-verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede der Parameter (p<0,05)

Anhangs-Tabellen

Anhangs-Tabelle 12: Abgeleitete N-Verwertungskennzahlen der Starter- und Grower-Phase für N-Bilanzversuch II

	K	HM+	HM -Met+Cys	HM -Arg	HM -Lys
Starter-Phase (LT 10 bis 20)					
n	7 ¹	8	6 ²	8	8
PPW (%)	68,4 ^a ± 1,2	69,0 ^a ± 1,4	69,7 ^a ± 1,3	67,8 ^a ± 2,4	61,6 ^a ± 7,2
NPU (%) [*]	74,7 ^a ± 1,4	75,1 ^a ± 1,8	75,8 ^a ± 1,4	74,1 ^a ± 2,2	69,3 ^a ± 6,9
b-Wert (x10 ⁶) ^{**}	294 ^b ± 5	301 ^b ± 9	310 ^b ± 11	290 ^b ± 24	232 ^a ± 38
NPU_{std} (%)^{***}	82,8^b ± 0,7	84,1^b ± 1,6	85,5^b ± 1,9	81,9^b ± 4,3	70,5^a ± 8,0
Grower-Phase (LT 25 bis 35)					
n	8	7 ³	8	8	8
PPW (%)	64,4 ^{ab} ± 3,7	66,9 ^b ± 1,4	62,4 ^{ab} ± 5,3	58,8 ^a ± 4,3	59,1 ^a ± 3,6
NPU (%) [*]	71,8 ^{bc} ± 3,1	74,9 ^c ± 1,9	70,8 ^{abc} ± 4,1	66,5 ^a ± 4,2	68,7 ^{ab} ± 3,6
b-Wert (x10 ⁶) ^{**}	359 ^{bc} ± 56	362 ^c ± 34,2	324 ^{abc} ± 52	299 ^{ab} ± 35	278 ^a ± 22
NPU_{std} (%)^{***}	75,1^{bc} ± 6,6	75,7^c ± 3,9	70,8^{abc} ± 7,1	67,7^{ab} ± 5,0	64,8^a ± 3,3

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM+ = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl mit erweiterter AS-Supplementierung; HM-Met+Cys = Futtermischung HM+ mit Met+Cys herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; HM-Arg = Futtermischung HM+ mit Arg herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; HM-Lys = Futtermischung HM+ mit Lys herabgesetzt auf 80 % der Versorgungsempfehlung; PPW = produktiver Proteinwert; NPU = physiologischer Proteinnutzwert; NPU_{std} = standardisierter physiologischer Proteinnutzwert; *NMR = 240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; **verwendete Modellparameter: NMR = 240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; NR_{max}T Starter = 4240 mg/LM_{kg}^{0,67}/d, NR_{max}T Grower = 3440 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; ***standardisierte N-Aufnahme = 3000 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; Ausreißer wurden nach DIXON und MASSEY (1969) bestimmt: ¹für K: α = 0,005; ²für HM-Met+Cys: α = 0,2 und 0,002; ³für HM+ (Grower): α = 0,2; ^{a-c}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede der Parameter (p<0,05)

Anhangs-Tabelle 13: Zootechnische- und Aufwandsparameter Wachstumsversuche I und II Ferkel

	Versuch I 50 % SES-Austausch					Versuch II 75 % SES-Austausch				
	K	HM	SM	HM+	SM+	K	HM	SM	HM+	SM+
n	8	8	8	7 ¹	8	8	7 ¹	7 ¹	8	8
Lebendmasse Beginn (kg)	8,8 ± 0,7	8,7 ± 1,2	9,0 ± 0,9	9,2 ± 1,2	8,9 ± 1,2	8,6 ± 1,0	8,3 ± 1,0	8,7 ± 0,8	8,7 ± 0,6	8,6 ± 1,0
Lebendmasse Ende (kg)	21,9 ± 1,5	19,7 ± 2,0	19,3 ± 2,2	21,9 ± 1,9	20,0 ± 2,1	17,9 ± 1,5	17,1 ± 1,3	16,2 ± 0,9	18,0 ± 1,3	16,9 ± 1,7
Lebendmasse- zunahme (g/d)	521,0 ^c ± 36,1	439,0 ^{ab} ± 54,3	411,0 ^b ± 59,9	508,6 ^{bc} ± 32,0	442,0 ^{ab} ± 48,3	444,0 ^b ± 43,8	419,0 ^b ± 41,5	355,1 ^a ± 27,9	444,0 ^b ± 44,4	398,9 ^{ab} ± 49,5
Futterauf- nahme (g/d)	732,6 ± 49,6	646,1 ± 85,1	653,3 ± 74,0	704,4 ± 36,8	670,9 ± 57,6	651,9 ± 22,5	632,6 ± 40,7	626,9 ± 27,9	641,2 ± 28,7	617,2 ± 42,7
Futteraufwand (g/g)	1,40 ^a ± 0,10	1,47 ^{ab} ± 0,10	1,60 ^b ± 0,13	1,39 ^a ± 0,05	1,53 ^{ab} ± 0,15	1,48 ^a ± 0,17	1,52 ^a ± 0,15	1,77 ^b ± 0,09	1,45 ^a ± 0,12	1,56 ^a ± 0,12
Proteinaufwand (g/g)	0,31 ± 0,02	0,32 ± 0,02	0,33 ± 0,03	0,30 ± 0,01	0,32 ± 0,03	0,32 ^a ± 0,04	0,33 ^a ± 0,03	0,38 ^a ± 0,02	0,32 ^a ± 0,03	0,35 ^{ab} ± 0,03
Energieauf- wand (kJ/g)	21,42 ^a ± 1,52	23,87 ^{abc} ± 1,55	25,61 ^c ± 2,13	22,46 ^{ab} ± 0,86	24,44 ^{bc} ± 2,40	22,53 ^a ± 2,59	25,23 ^{ab} ± 2,56	29,21 ^c ± 1,42	24,13 ^{ab} ± 2,04	25,72 ^b ± 1,91

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl (SPM) mit Basis-AS-Supplementierung; HM+/SM+ = Futtermischung mit HIM/SPM mit erweiterter AS-Supplementierung; ¹Ausreißer in der Lebendmasse, bestimmt mit SPSS Boxplot ($p < 0,05$); ^{a,b}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches ($p < 0,05$)

Anhangs-Tabelle 14: Scheinbare precaecale Protein- und AS-Verdaulichkeit der Ferkel (25 kg LM) bestimmt am Ende von Wachstumsversuch I und II

	Versuch I 50 % SES-Austausch				Versuch II 75 % SES-Austausch			
	K	HM	SM		K	HM	SM	
n	3 ¹	4	2 ²		2 ³	3 ⁴	3 ⁴	3 ⁴
spcV, XP (%)	69,9 ± 10,9	79,3 ± 1,8	76,2 ± 1,2		69,3 ^a ± 1,1	77,2 ^b ± 2,8	68,3 ^a ± 2,7	
spcV, Lys (%)	80,2 ± 6,0	89,4 ± 2,4	84,6 ± 0,3		78,7 ± 1,8	83,8 ± 1,6	80,1 ± 3,2	
spcV, Met (%)	79,7 ± 9,2	89,5 ± 1,6	86,8 ± 0,8		82,1 ^a ± 3,1	87,9 ^b ± 1,5	82,4 ^a ± 1,1	
spcV, Met+Cys (%)	73,2 ± 7,1	84,7 ± 3,1	80,1 ± 1,0		72,1 ^a ± 0,9	82,8 ^b ± 2,5	78,1 ^{ab} ± 2,5	
spcV, Thr (%)	70,7 ^a ± 7,2	84,6 ^b ± 4,1	76,0 ^{ab} ± 0,0		63,9 ^a ± 5,8	80,3 ^b ± 2,9	70,5 ^{ab} ± 3,3	
spcV, Arg (%)	79,4 ± 9,6	87,4 ± 1,9	83,4 ± 1,1		79,9 ^b ± 1,3	85,3 ^b ± 1,4	71,2 ^a ± 2,8	
spcV, His (%)	75,1 ^{ab} ± 9,7	87,4 ^b ± 1,9	82,8 ^a ± 0,7		76,3 ± 0,6	82,2 ± 1,6	76,0 ± 3,7	
spcV, Ile (%)	74,4 ± 8,9	86,3 ± 2,7	79,8 ± 2,1		73,5 ^a ± 0,3	82,6 ^b ± 2,0	66,2 ^a ± 3,7	
spcV, Leu (%)	73,3 ± 9,8	85,5 ± 2,7	80,8 ± 0,8		73,9 ^a ± 0,3	83,3 ^b ± 1,9	69,9 ^a ± 3,4	
spcV, Val (%)	69,5 ± 10,8	85,3 ± 2,7	76,6 ± 2,1		71,6 ^a ± 1,9	82,7 ^b ± 1,6	66,2 ^a ± 3,9	

Mittelwert ± SD; spcV = scheinbare precaecale Verdaulichkeit; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl mit Basis-AS-Supplementierung; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl (SPM) mit Basis-AS-Supplementierung¹Ausreißer bei der Indikatorbestimmung im Chymus; ²ein Ausreißer bei der Indikatorbestimmung im Chymus und eine Probe weniger, wegen zu geringem Probenmaterial; ³zwei Proben mussten aufgrund zu geringer Analysenmenge verworfen werden; ⁴ Ausreißer bei der Indikatorbestimmung im Chymus; ^{a-b}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches (p<0,05)

Anhangs-Tabelle 15: Zootechnische- und Aufwandparameter Wachstumsversuche I und II Mastschweine (25-75 kg LM)

	Versuch I 50 % SES-Austausch			Versuch II 75 % SES-Austausch		
	K	HM+	SM+	K	HM+	SM+
n	8	7 ¹	8	8	8	7 ¹
Lebendmasse Beginn (kg)	22,6 ± 2,3	22,9 ± 2,0	22,6 ± 1,7	22,4 ± 1,5	22,3 ± 1,2	22,2 ± 1,6
Lebendmasse Ende (kg)	76,8 ± 3,9	78,9 ± 3,3	74,9 ± 2,4	70,6 ± 2,2	70,9 ± 2,6	70,6 ± 1,0
Lebendmassezunahme (g/d)	966,5 ^{ab} ± 55,5	999,5 ^b ± 38,4	933,0 ^a ± 31,2	982,1 ± 17,9	933,6 ± 45,3	988,3 ± 25,3
Futteraufnahme (g/d)	1762,6 ± 39,1	1775,0 ± 27,6	1761,5 ± 44,8	1746,8 ± 14,7	1767,8 ± 89,5	1807,2 ± 32,4
Futteraufwand (g/g)	1,83 ^{ab} ± 0,08	1,78 ^a ± 0,07	1,89 ^b ± 0,04	1,78 ± 0,03	1,78 ± 0,08	1,83 ± 0,06
Proteinaufwand (g/g)	0,35 ^{ab} ± 0,01	0,34 ^a ± 0,01	0,36 ^b ± 0,01	0,34 ^a ± 0,01	0,34 ^{ab} ± 0,01	0,35 ^b ± 0,01
Energieaufwand (kJ/g)	27,87 ^a ± 1,16	28,36 ^a ± 1,12	30,13 ^b ± 0,68	27,1 ^a ± 0,5	28,9 ^b ± 1,2	29,6 ^b ± 0,9

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; K = Kontrolle; HM+ = Futtermischung mit Hermetia illucens Mehl mit erweiterter AS-Supplementierung; SM+ = Futtermischung mit Spirulina platensis Mehl mit erweiterter AS-Supplementierung; ¹Ausreißer in der Lebendmasse, bestimmt mit SPSS Boxplot (p<0,05); Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede innerhalb des jeweiligen Versuches (p<0,05)

Anhangs-Tabelle 16: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen und N-Verwertungskennzahlen mit Ferkeln (25 kg LM) in N-Bilanzversuch I

		Ferkel (25 kg LM)			
		HIM	SM	HM+	SM+
n		7 ¹	8	8	8
Mittlere Lebendmasse (g)		25,7 ± 2,5	25,5 ± 3,1	26,5 ± 2,2	25,1 ± 2,0
Mittlere Futteraufnahme (g/d)		944 ± 103	928 ± 87	935 ± 86	832 ± 168
N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)		3675 ± 179	3666 ± 274	3645 ± 226	3361 ± 579
N-Ausscheidung Kot (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)		717 ^{ab} ± 60	841 ^b ± 132	620 ^a ± 94	745 ^{ab} ± 123
N-Ausscheidung Harn (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)		1087 ^b ± 118	958 ^{ab} ± 121	843 ^a ± 155	839 ^a ± 172
N-Ausscheidung Gesamt (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)		1805 ^b ± 108	1799 ^b ± 157	1463 ^a ± 146	1584 ^{ab} ± 289
N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)		1870 ± 121	1867 ± 199	2182 ± 325	1777 ± 420
N-Retention (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)*		2303 ± 121	2300 ± 199	2615 ± 325	2210 ± 420
Scheinbare N-Verdaulichkeit (%)		80,5 ^{ab} ± 1,8	77,1 ^a ± 2,7	82,9 ^b ± 3,2	77,7 ^a ± 2,7
NPU (%)*		62,7 ^a ± 1,9	62,8 ^a ± 3,2	71,5 ^b ± 5,3	65,9 ^{ab} ± 6,4
b-Wert (x10 ⁶)**		184 ^a ± 8	184 ^a ± 14	225 ^b ± 30	191 ^{ab} ± 27
NPU_{std} (%)***		63,6 ^a ± 2,1	63,7 ^a ± 3,4	72,8 ^b ± 6,7	65,2 ^{ab} ± 6,6

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; HIM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HIM) mit Basis-AS-Supplementierung; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl (SPM) mit Basis-AS-Supplementierung HM+/SM+ = Futtermischung mit HIM/SPM mit erweiterter AS-Supplementierung; NPU = physiologischer Proteinnutzwert; NPU_{std} = standardisierter physiologischer Proteinnutzwert; *NMR Ferkel = 433 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; **,verwendete Modellparameter: Ferkel: NMR = 433 mg/LM_{kg}^{0,67}/d, NR_{max}T = 4697 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; ***standardisierte N-Aufnahme Ferkel = 3500 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; ¹Ausreißer (α = 0,05) nach DIXON und MASSEY (1969); ^{a-b}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede (p<0,05)

Anhangs-Tabelle 17: Ergebnisse der N-Bilanzmessungen mit Mastschweinen (60 kg LM) in N-Bilanzversuch I

	Mastschweine (60 kg LM)					
	HM	SM	HM+	SM ¹ +	SM ² +	SM ³
n	8	8	8	4	4	3 ³
Mittlere Lebendmasse (g)	60,5 ± 4,8	58,4 ± 3,8	61,8 ± 3,2	56,3 ± 3,8	60,6 ± 4,5	
Mittlere Futtermittelaufnahme (g/d)	2064 ^{ab} ± 186	2106 ^b ± 172	2109 ^b ± 188	1864 ^a ± 23	2229 ^b ± 79	
N-Aufnahme (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	3769 ^{ab} ± 252	3957 ^{ab} ± 255	3850 ^{ab} ± 238	3642 ^a ± 151	4179 ^b ± 56	
N-Ausscheidung Kot (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	604 ^a ± 79	810 ^b ± 49	586 ^a ± 69	756 ^b ± 96	801 ^b ± 51	
N-Ausscheidung Harn (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1447 ^b ± 199	1301 ^b ± 144	1210 ^{ab} ± 231	971 ^a ± 111	967 ^a ± 50	
N-Ausscheidung Gesamt (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	2052 ^{ab} ± 241	2110 ^b ± 176	1796 ^{ab} ± 239	1726 ^a ± 189	1767 ^{ab} ± 1,5	
N-Bilanz (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)	1718 ^a ± 241	1847 ^a ± 135	2054 ^{ab} ± 272	1915 ^a ± 126	2411 ^b ± 55	
N-Retention (mg/LM _{kg} ^{0,67} /d)*	2106 ^a ± 241	2235 ^a ± 135	2442 ^a ± 272	2303 ^a ± 126	2840 ^b ± 93	
Scheinbare N-Verdaulichkeit (%)	84,0 ^b ± 1,5	79,1 ^a ± 1,2	84,8 ^b ± 1,5	79,3 ^a ± 1,9	80,8 ^a ± 1,0	
NPU (%)*	55,9 ^a ± 5,5	56,5 ^a ± 2,6	63,4 ^{ab} ± 5,8	63,3 ^{ab} ± 4,1	67,8 ^b ± 1,72	
b-Wert (x10 ⁶)**	307 ^a ± 55	324 ^a ± 27	424 ^a ± 116	375 ^a ± 44	558 ^b ± 36	
NPU _{std} (%)***	55,7 ^a ± 5,6	57,7 ^a ± 2,5	64,1 ^{ab} ± 6,6	61,8 ^a ± 3,4	71,8 ^b ± 1,3	

Mittelwert ± SD; n = Stichprobenumfang; HM = Futtermischung mit *Hermetia illucens* Mehl (HM) mit Basis-AS-Supplementierung; SM = Futtermischung mit *Spirulina platensis* Mehl (SPM) mit Basis-AS-Supplementierung HM+/SM+ = Futtermischung mit HM/SPM mit erweiterter AS-Supplementierung; NPU = physiologischer Proteinutzwert; NPU_{std} = standardisierter physiologischer Proteinutzwert; *NMR Mastschweine = 388 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; **verwendete Modellparameter: Mastschweine: NMR = 388 mg/LM_{kg}^{0,67}/d, NR_{max}T = 3104 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; ***standardisierte N-Aufnahme Mastschweine = 3800 mg/LM_{kg}^{0,67}/d; ¹ohne zusätzliche His Supplementierung ; ²mit zusätzlicher His Supplementierung; ³Ausreißer (α = 0,2) nach DIXON und MASSEY (1969); ^{a-b}verschiedene Hochbuchstaben in einer Reihe kennzeichnen die signifikanten Unterschiede (p<0,05)

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Liebert danke ich für die Überlassung des äußerst spannenden Themas und die damit verbundene Möglichkeit der Promotion, sowie den jederzeit gewährten fachlichen Rat.

Herrn Prof. Dr. Dr. Dänicke und Herrn Prof. Dr. Mörlein danke ich für die freundliche Übernahme des Zweit- und Drittgutachtens und die Geduld bei der Planung meiner mündlichen Prüfung.

Darüber hinaus danke ich allen Mitarbeitern des Instituts für Tierernährungsphysiologie für die Unterstützung im Versuchsstall, die fachliche Beratung in der Planung sowie die Durchführung der Analysen, die maßgeblich zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben.

Ganz besonderer Dank gilt den Doktorandinnen des Instituts für die von jedem jederzeit gewährte Hilfe, die von Freundschaft geprägte Atmosphäre und das sehr gute Arbeitsklima. Der Dank geht besonders an euch Carmen und Anne.

Den studentischen Hilfskräften Anna, Anne-Cathrin, Deike, Juliana, Alexander, Lukas und Johannes danke ich für die tatkräftige Unterstützung im Versuchsstall und bei der Dateneingabe.

Brianne danke ich für das kompetente Lektorat meiner englischsprachigen Publikationen. Ein dickes Dankeschön ebenfalls an Johanna, Anne und Tine für die kritischen Korrekturvorschläge der Dissertation.

Ein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Südekum, der mich von meiner Kompetenz zur erfolgreichen Promotion überzeugt, mich bei der Wahl des Themas unterstützt und zudem immer ein offenes Ohr für mich hat.

Meiner lieben und besten Freundin Tine danke ich, dass sie in vielen schwierigen Phasen der Promotionszeit für mich da war, mir Mut gemacht hat und einfach immer an mich glaubt.

Timo, dir bin ich für dein Verständnis, dein Vertrauen, deine unglaubliche Unterstützung und Geduld insbesondere während der letzten Monate der Doppelbelastung unendlich dankbar. Danke, dass du mir immer wieder Mut gemacht hast, mich abgelenkt und aufgebaut hast.

Mein ganz großer Dank geht an meine Familie für ihre liebevolle Unterstützung und ihren unerschütterlichen Glauben an mich und meine Ziele. Danke, dass ihr immer für mich da seid und mir diesen Ausbildungsweg ermöglicht habt.

Schließlich bedanke ich mich für die Förderung des Projektes aus den Mitteln des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur, ohne dessen Finanzierung dieses Projekt nicht hätte realisiert werden können.