

Wien, am 28.10.2021

## *Bericht zum Projekt*

**Herstellung und Fütterung von Mischfutter mit verarbeiteten oder unverarbeiteten Insektenlarven der schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*)**

Martin Gierus & Kristina Hartinger

# Ergebnisse der Arbeitspakete

1. Futtermittelherstellung für Fische
2. Fütterungsversuche mit Broilern
3. Verdaulichkeitsversuch beim Schwein

## Einleitung

Die Erschließung neuer Eiweißquellen für die Nutztierhaltung ist von maßgeblicher strategischer Bedeutung für die österreichische Landwirtschaft und Aquakultur. Momentan besteht eine erhebliche Abhängigkeit von südamerikanischen Proteinimporten in Form von Soja und Fischmehl. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung des landwirtschaftlichen Sektors müssen auch Proteinquellen in Betracht gezogen werden, die aus verschiedenen Gründen bisher ungenutzt geblieben sind. Die gezielte Zucht von Insektenlarven weist in dieser Hinsicht ein gutes Potential auf und könnte verschiedenen Problemstellungen entgegenwirken.

Das allgemeine Ziel ist die Entwicklung einer Strategie der Larvenzucht für die landwirtschaftliche Nutzung. Die spezifischen Ziele sind folgende:

- Testung des Einsatzes von Larven der *Hermetia illucens* zur Minderung des Einsatzes von importiertem Sojaextraktionsschrot in der Broilerfütterung
- Entwicklung von Verarbeitungsstrategien für die Larven mittels Futtermitteltechnologie zur Herstellung von Fischfutter
- Ermittlung möglicher Schädigung durch die Verarbeitung zu Fischfutter, die den Futterwert der Larven mindern kann
- Bestimmung der Phosphor-Verdaulichkeit von Larvenmehl beim Schwein

Diese Ziele sollen mittels Extrusionsversuche sowie Fütterungsversuchen an Geflügel (Masthähnchen) und Verdaulichkeitsbestimmung beim Mastschwein überprüft werden.

## Arbeitspaket 1: Verarbeitung von unverarbeiteten (nicht-entfetteten) und entfetteten Larven zu Fischfutter

Unverarbeitete, nicht-entfettete Larven und entfettetes Larvenmehl wurden experimentell im Hinblick auf deren futtermitteltechnologische Eigenschaften für Fischfutter untersucht. Solche Untersuchungen legen die Basis für eine zukünftige effiziente Verarbeitung von Larven(-mehl) z.B. mittels Extrusion, welche insbesondere in der Herstellung von Futter für die Aquakultur eingesetzt wird. Neben entfettetem Larvenmehl, kommen als Rohware die unverarbeiteten Larven für die Fütterung von Fischen in Frage, welche nach der „Ernte“ (Trennung von Restsubstrat und Larven) zur Verfügung stehen. Die Larve als Rohware beinhaltet neben einem hohen Protein- und Feuchtegehalt (ca. 60%), einen hohen Fettgehalt (ca. 22%) sowie Chitin (Gehalt abhängig von Entwicklungsstadium der geernteten Larve).

## **Einleitung**

In der Fischzucht ist eine positive Entwicklung der Produktionszahlen zu beobachten, wobei der Einsatz von Fischmehl dabei nur teilweise die Forderung nach einer nachhaltigen und gleichzeitig hochwertigen Futtergrundlage erfüllt. Deshalb ist die Fischfutterindustrie auf der Suche nach günstigen und gleichwertigen Alternativen. Der Versuch Larvenmehl bzw. -protein als alternative Proteinquelle einzusetzen, erweist sich als vielversprechend. Das Ziel des Arbeitspaketes ist die Produktion von Fischfuttermittel unter Nutzung von Larven bzw. Larvenmehlen.

## **Extrusionsverfahren**

Das Verfahren der Extrusion ist eine der am häufigsten eingesetzten Technologien zur Herstellung von Fischfutter. Allgemein werden zur Fischfutterherstellung komplexe Mischungen bestehend aus Protein, Stärke und den benötigten Zusatzstoffen extrudiert. Die physikalischen Eigenschaften der Futterpellets müssen diversen Ansprüchen genügen, einschließlich einer wünschenswerten Sinkgeschwindigkeit im Wasser, der Fähigkeit Fischöl nach dem Extrudieren zu absorbieren sowie der Resistenz gegenüber externen Belastungen wie Verpackung und Transport. Diese Eigenschaften sind stark vom Expansionsprozess abhängig, sodass die Beschaffenheit des Produktes durch sein Expansionsverhalten und die davon beeinflusste Dichte definiert wird. Die Schaumstruktur bzw. Porosität der Pellets stehen in direktem Zusammenhang mit dem Expansionsverhalten und der spezifischen Dichte. Unterschiedliche Prozessparameter wie Gehäusetemperatur, Schneckendrehzahl, Wassergehalt, Produktmassenstrom und Schneckenkonfiguration können während des Extrusionsprozesses variiert werden, um somit die Eigenschaften des Endproduktes zu beeinflussen, darunter auch die Sinkgeschwindigkeit.

Das Expansionsverhalten von Mischungen aus Larven und Larvenmehl wurde in dieser Forschungsarbeit untersucht. Die Herstellung verschiedener Extrudate mit unterschiedlichen Dichten wurde durch die vielfältige Variabilität der Prozessparameter am Extruder ermöglicht. Ziel dabei war es eine Anpassung und Optimierung der Eigenschaften des Futtermittels zu erreichen, um den Anforderungen des Fisches hinsichtlich seiner Nahrungsaufnahme zu genügen (wünschenswerte Rehydratation, Sinkgeschwindigkeit im Wasser und Fettaufnahme, Hitzeschädigung des Proteins mittels Bestimmung der Proteinlöslichkeit durch die Verarbeitung).

## **Versuchsplan**

Hergestellt wurden 3 Mischungen:

- Mischung 1: Fischmehl als Hauptproteinträger
- Mischung 2: entfettetes Larvenmehl als Hauptproteinträger
- Mischung 3: ganze Larven (+ Fischmehl, Notwendigkeit aus nährstofflicher Sicht)

Die Produktion des Fischfutters erfolgte zum einen bei der Firma Amandus Kahl in Hamburg auf einem Einwellenextruder, und zum anderen beim Institut für Lebensmitteltechnologie an der BOKU auf einem Zweiwellenextruder.

Drei Fischfuttermischungen wurden angemischt und davon jeweils 50 kg abgepackt und für die Extrusionsversuche genutzt. Die Mischungen waren neben einer Kontrolle mit ausschließlich Fischmehl (M1), eine Versuchsvariante mit entfettetem Larvenmehl (M2) und eine Versuchsvariante mit getrockneten, vollfetten Larven und Fischmehl (M3). Alle Mischungen wurden ohne „Kleinkomponenten“ (Mineral-, Vitaminpremix, Aminosäuren) gemischt, da angenommen wurde, dass diese auf die Extrusionsfähigkeit keine Auswirkungen haben. Das entfettete Larvenmehl (M2) wurde vermahlen, um somit ein extrudierbares Mehl herzustellen.

Die Zusammensetzung der Fischfuttermischungen sind in den Tabellen 1 und 2 dargestellt.

## Ergebnisse

### Aufbereitung der Rohstoffe

Um eine Expansion des Produktes zu erzeugen, ist mind. 12% Maisstärke als Füllstoff (Matrix) bei M3 eingemischt.

Die Ergebnisse der Laboranalysen der gemischten und extrudierten Mischungen bezüglich deren Nährstoffgehalt, Proteinlöslichkeit, Sinkgeschwindigkeit und der Ölaufnahme sind in den Tabellen 3-6 dargestellt.

Tabelle 1. Zusammensetzung der experimentellen Mischungen für die Extrusionsversuche

	M1	M2	M3
<b>Komponente, %</b>	Kontrolle	100	Larve
Fischmehl	55,5	-	28,0
Mais	25,0	18,5	-
Maisstärke	-	-	12,0 <sup>1)</sup>
Larvenmehl (5% Fett)	-	52,8	
Larve (ganz), getrocknet	-	-	52,4
Fischöl	14,5	24,6	5,3
Salz, Premixe <sup>2)</sup>	-	-	-

<sup>1)</sup>die Stärke unterstützt die Expansion und wurde „on top“ zugelegt

<sup>2)</sup>nicht in der Mischung vorhanden, da keine Fütterung beabsichtigt war

Der **Versuch bei der BOKU** war erfolgreich. Alle Mischungen zeigten Extrudate mit zufriedenstellenden Festigkeitseigenschaften bei verschiedenen Extrusionsbedingungen und niedrigen Prozesstemperaturen (unter 100°C). Die Extrudate wurden mit verringerten

Feuchtigkeitswerten hergestellt, um den Energieaufwand für einen eventuell nachfolgenden Trocknungsprozess zu verringern.

Allerdings konnten keine Extrudate mit geringerer Dichte hergestellt werden. Eine Erhöhung der Masstemperatur auf über 100°C war erforderlich und hatte eine deutlich sichtbare Expansion zur Folge, welche durch der sich bildende Wasserdampf erreicht wurde. Mit der

Tabelle 2a. Einstellungen des Extruders (BOKU) – Doppelwellenextruder (konisch)

		Schnecke Drehzahl U/min	Dosierung Drehzahl U/min	Masse Druck (bar)	Masse Temp. (°C)	Feuchte Extrudate (%)
<b>Mischung 1</b>	<b>A</b>	84	35	20	88.3	22,5
	<b>B</b>	84	35	32	91.9	16,2
	<b>C</b>	84	35	38	95.3	14,2
<b>Mischung 2</b>	<b>A</b>	60	60	26	88	20,0
	<b>B</b>	65	30	15	84.8	28,6
	<b>C</b>	65	40	20	84.8	24,3
<b>Mischung 3</b>	<b>A</b>	84	32	14	93.4	16,5
	<b>B</b>	84	32	11	89.8	22,8
	<b>C</b>	84	32	7	88	30,1

Expansion kann die Sinkgeschwindigkeit gesteuert werden, sodass an der Wasseroberfläche schwimmende Extrudate entstanden.

Tabelle 2b. Extruderleistung bei Amandus Kahl – Einwellenextruder (kernprogressiv)

	Frequenz, Hz	Hydraulikdruck, bar	Durchsatz, kg/h	Masse Temp., °C	Schüttgewicht, kg/dm <sup>3</sup>	Feuchte Extrudate, %
<b>Mischung A</b>	50	79	180	82	0,47	15,5
<b>Mischung B</b>	50	78	190	78	0,61	20,1
<b>Mischung C</b>	50	78	170	81	0,56	15,5

Bei den Doppelwellenextruder (BOKU) war die Zudosierung von Wasser nicht zwingend erforderlich, somit wurde für die Mischung 3 eine Reduzierung der Dichte erreicht, was zu einer verminderten Sinkgeschwindigkeit geführt hat.

Die Zudosierung der Larven (nicht entfettet, Mischung 2) verringert die Expansion durch den steigenden Fettgehalt der Extrudate.

Über die Mischung 1-3 hinaus wurden an der BOKU Versuche durchgeführt, um zu zeigen, ob unzerkleinerte Larven im aufgetauten, nicht getrockneten Zustand im Extruder zerkleinert und homogen in der Masse verteilt werden können. Bei der Durchführung dieser Versuche zeigte sich für den Extruder der BOKU eine unregelmäßige und nicht zufriedenstellende Förderung der Larven durch die Extruderschnecken im Einlassbereich (Abbildung 1).



Abbildung 1. Ungleichmäßige Extrudate bei Zudosierung von ganzen Larven

Der **Versuch bei A. Kahl** hat gezeigt, dass eine Verarbeitung der Larven der Soldatenfliege mit dem Einwellenextruder OEE 8 möglich ist. Vor der Extrusion wurden die Mischungen per Hammermühle vermahlen. Dabei war auffällig, dass für weitere Versuche eher das entfettete Larvenmehl als die ganzen (vollfetten) Larven verwendet werden sollte, da diese für eine feine Vermahlung in der Hammermühle einen zu hohen Fettgehalt besitzen, welcher zu Verklebungen der Mühle führte. Zudem ist während der Extrusion aufgefallen, dass das Fischfutter auf Fischmehl-Basis (Mischung M1) weiter aufgeschlossen wurde als das Futter auf Insektenbasis (geringerer Schüttgewicht, Proteinlöslichkeit nahezu unverändert).

Um den Einfluss der Extrusion bei den Mischungen auf das Protein festzustellen, wurden die Proteinlöslichkeit analysiert. Eine Reduzierung der Proteinlöslichkeit deutet auf eine zu starke Hitzebehandlung hin. Mit ansteigender Intensität der Einstellungen beim Extruder verringert sich die Proteinlöslichkeit in KOH von den Extrudaten (Tabelle 3-4). Dies war besonders bei den Versuch der BOKU in Mischung 2 und bei den Versuch bei Amandus Kahl in Mischung 2 und 3 auffällig.

Von einer Unter- bzw. Überbehandlung kann für Larvenmehl mangels Literaturangaben noch keine Angaben gemacht werden. Allerdings kann die Proteinlöslichkeit zukünftig zur Vermeidung von Hitzeschädigung bei der Herstellung von Fischfutter herangezogen werden.

Tabelle 3. Rohrnährstoffe und Proteinlöslichkeit der extrudierten Fischfuttermischungen

Einheiten	BOKU									Amandus Kahl								
	M1a	M1b	M1c	M2a	M2b	M2c	M3a	M3b	M3c	M1	M1	M1	M2	M2	M2	M3	M3	M3
TM, %	95,79	96,12	95,89	95,69	96,71	96,34	96,06	x	x	90,87	92,65	91,63	91,37	90,56	91,79	95,25	95,9	95,85
XA, %	19,479	19,575	19,394	6,61	6,729	6,649	13,301			18,511	18,822	18,651	6,995	6,95	6,994	12,573	12,741	12,492
GE, kJ	15720	15838	15771	18782	18883	18722	18312			15032	15156	15054	17911	17779	17782	18314	18315	18470
XP, %	47,29	47,51	47,73	42,10	42,47	42,61	45,67			44,21	44,75	44,68	40,66	40,33	40,84	45,3	45,75	45,68
XL, %	6,48	5,28	5,23	11,8	11,79	11,94	16,31			6,1	5,53	5,85	11,33	11,16	11,48	16,19	16,26	16,13
GXL, %	8,64	8,62	8,62	12,77	13,04	12,97	17,29			8,03	8,08	7,69	12,05	11,51	12,38	16,77	16,78	17,05
ADF, %	1,37	0,39	0,53	4,52	3,75	7,04	3,61			0,99	0,87	1,15	6,52	5,72	7,82	8,81	4,35	2,23
Proteinlös.,	0,56	0,55	0,55	0,4	0,35	0,37	0,47			0,59	0,6	0,65	0,47	0,45	0,46	0,48	0,48	0,49
$\Delta$ Proteinlös.*	-0,03	-0,07	-0,06	-0,18	-0,19	-0,17	-0,12			0,0	-0,02	0,04	-0,11	0-,11	-0,10	-0,11	-0,11	-0,05

\* $\Delta$ Proteinlös.: ist die Differenz der Proteinlöslichkeit im Vergleich zum nicht extrudierten Material in Tabelle 4

Tabelle 4. Rohrnährstoffe und Proteinlöslichkeit der Fischfuttermischungen

	Mischungen (gemahlen) vor Extrusion								
	M1a	M1b	M1c	M2a	M2b	M2c	M3a	M3b	M3c
TM, %	94,09	93,42	93,47	92,7	92,6	92,68	95,03	94,98	94,91
XA, %	19,677	18,971	18,908	6,437	6,412	6,386	12,909	13,012	12,573
GE, kJ	15642	15245	15200	18041	18201	18147	18069	17865	18185
XP, %	50,60	45,08	45,61	40,98	40,99	41,00	45,37	44,82	44,92
XL, %	7,79	7,22	7,2	12,4	12,46	12,1	14,91	15,2	15,61
GXL, %	8,52	8,09	7,83	10,96	10,76	11,15	14,55	14,6	14,7
ADF, %	1,47	2,09	1,48	6,84	6,39	12,72	6,92	4,47	4,39
Proteinlös.	0,59	0,62	0,61	0,58	0,54	0,54	0,59	0,59	0,54

Tabelle 5. Sinkgeschwindigkeiten der Extrudate

Probe	Sinkgeschwindigkeit (sec) (1 L Messzylinder, 34 cm hoch)			Sinkgeschwindigkeit, Mittelwert (m/s)
	1	2	3	
M1 A	-	-	-	-
M1 B	3	3	3	0.114
M1 C	4	3	4	0.094
M2 A	4	4	4	0.085
M2 B	3	5	5	0.083
M2 C	4	5	4	0.079
M3 A	4	4	4	0.085
M3 B	-	-	-	-
M3 C	4	7	7	0.060

Tabelle 6. Ölaufnahme der Extrudate

BOKU		Amandus Kahl	
Probe	Ölaufnahme %	Probe	Ölaufnahme, %
M1 A	5,50		
M1 B	5,41	Misch. 1	19,23
M1 C	5,81		
M2 A	8,09		
M2 B	7,43	Misch. 2	13,34
M2 C	10,56		
M3 A	9,93		
M3 B	10,02	Misch. 3	16,23
M3 C	9,06		

## Arbeitspaket 2: Fütterungsversuche mit Broilern

### 2.1 Substitutionsversuche mit Larvenmehl in der Broilerfütterung (Broiler I)

#### Einleitung

Auch in der Broilermast stellt der Ersatz von importiertem Sojaextraktionsschrot durch heimische Proteinträger eine Herausforderung dar. Larvenmehl muss eine sehr gute Zusammenstellung von essentiellen Aminosäuren aufweisen, um als Ersatz in Frage zu kommen. Der Fütterungsversuch mit Mastbroilern soll die Futterraufnahme, Tageszunahmen, und Futtermittelverwertung sowie die Schlachtleistung im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Larven erfassen.

#### Versuchsdurchführung

Der Fütterungsversuch mit Larvenmehl für Broiler wurde an einer Geflügelversuchsstation in Kärnten durchgeführt. Die Tiere wurden im Geflügelversuchsstall auf Hobelspänen als Einstreu gehalten. Jede Box war mit einem Infrarotwärmestrahler, einem Futtertrog und einer Hängerundtränke ausgestattet. Die Luftzufuhr wurde temperaturabhängig über Ventilatoren gesteuert. Um die Tiere entsprechend ihres altersabhängigen Nährstoffsbedarfs optimal zu versorgen, erfolgte die Fütterung in 3 Phasen: Starterphase (1-14d), Growerphase (15-28d) und der Finisherphase (29-35d).

Die Tierbetreuung erfolgte durchgehend durch Mitarbeiter des TTE. Wiegen wurden bei der Einstellung, zum Ende jeder Fütterungsphase (Zwischenwiegen) und zum Abschluss der Mastperiode an Tag 35 durchgeführt. Die Schlachtung aller Tiere erfolgte am Ende der Mastperiode an Tag 36.

Das Futter für den Versuch wurde von der Firma Amandus Kahl hergestellt und geliefert. Insgesamt gab es 3 Versuchsgruppen. Eine Kontrollgruppe (**LMO**) mit herkömmlichen Sojaextraktionsschrot als Hauptproteinträger und 2 Fütterungsgruppen (**LM15**, **LM30**) in denen das von Soja in der Kontrollgruppe gelieferte Rohprotein stufenweise (0, 15 und 30%) ersetzt wurde. Alle Rationen wurden isokalorisch und isonitrogen geplant. Außerdem wurden die essentiellen Aminosäuren in allen Rationen ausgeglichen (Tabelle 7). Die analysierte Zusammensetzung der Futtermischungen ist in Tabelle 8-10 dargestellt. Im Anschluss an den Versuch wurden die Leistungsdaten der Tiere ausgewertet und die Futtermittel auf ihre Rohnährstoffe im Labor untersucht.

Tabelle 7. Kalkulierte Inhaltsstoffe der verschiedenen Futtermischungen

	Starter			Grower			Finisher		
	LM0	LM15	LM30	LM0	LM15	LM30	LM0	LM15	LM30
Bestandteile (%)									
Mais	50,80	52,59	54,37	55,30	56,24	57,18	56,52	58,25	59,97
Sojaschrot (48% XP)	40,79	33,78	26,77	35,25	29,70	24,14	33	27,46	21,93
Larvenmehl (10% Fett)	-	5,00	10,00	-	4,34	8,68	-	4,05	8,09
Sojaöl	2,70	2,14	1,58	3,78	3,38	2,99	5,30	4,77	4,24
Bikalziumphosphat	1,44	1,24	1,05	1,30	1,04	0,78	1,00	0,79	0,57
Grasmehl	1,00	1,62	2,25	1,11	1,69	2,27	1,00	1,21	1,43
Futterkalk	1,06	1,18	1,30	1,00	1,21	1,43	1,00	1,11	1,21
Mineral Premix	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Vitamin Premix	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
L-Methionin 99%	0,30	0,30	0,30	0,22	0,22	0,22	0,20	0,21	0,22
BIOLYS 54,6 %	0,30	0,43	0,57	0,35	0,43	0,51	0,15	0,25	0,36
Salz	0,40	0,42	0,43	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
L-Threonin	0,10	0,12	0,15	0,10	0,12	0,14	0,07	0,08	0,09
Cholinchlorid 60%	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
L-Valin	-	0,00	0,01	0,08	0,08	0,08	-	0,00	0,00
Coban 200 (Antib.)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	0,00	0,00
HiPhos GT (Phytase)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Arginin	-	0,06	0,12	-	0,04	0,08	-	0,07	0,14
Titandioxid	-	-	0,00	-	0,00	0,00	0,30	0,30	0,30
Nährstoffe (%)									
Rohprotein	24,08	24,15	24,23	21,85	22,06	22,28	20,56	20,69	20,82
Kalzium	0,96	0,97	0,98	0,89	0,92	0,95	0,81	0,81	0,81
Phosphor	0,48	0,50	0,53	0,47	0,47	0,47	0,41	0,42	0,43
Natrium	0,17	0,18	0,19	0,17	0,17	0,18	0,17	0,17	0,18
Aminosäuren (%)									
Lysin	1,46	1,46	1,45	1,33	1,32	1,31	1,16	1,16	1,16
Methionin	0,64	0,64	0,64	0,53	0,53	0,53	0,50	0,51	0,52
Met+Cis	1,00	0,99	0,97	0,86	0,85	0,84	0,82	0,82	0,82
Theronin	0,99	0,99	0,98	0,90	0,90	0,91	0,83	0,82	0,81
Arginin	1,60	1,53	1,47	1,43	1,37	1,32	1,35	1,32	1,29
Valin	1,11	1,11	1,11	1,08	1,08	1,09	0,95	0,95	0,95
Isoleucin	1,02	0,98	0,94	0,91	0,89	0,86	0,86	0,83	0,80
Leucin	1,94	1,87	1,80	1,78	1,73	1,69	1,71	1,66	1,61
Energie (MJ/kg)									
AME <sub>N</sub>	12,55	12,57	12,60	13,05	13,05	13,06	13,40	13,40	13,40

LM0, konventionelle Futtermischung ohne Larvenmehl; LM15, 15% Larvenmehl; LM30, 30% Larvenmehl jeweils in Substitution zu Sojaextraktionsschrot, auf Rohprotein-Basis;

Tabelle 8. Analysierte Zusammensetzung der Starter-Futtermischungen

<b>Starter</b>	<b>LM0</b>	<b>LM15</b>	<b>LM30</b>
Trockenmasse (g/kg)	892,6	900,5	901,7
Rohasche (g/kg TM)	76,5	78,2	87,7
Rohprotein (g/kg TM)	270,6	272,4	268,5
Gesamtfett (g/kg TM)	65,0	67,7	61,6
Rohfaser (g/kg TM)	26,2	31,5	33,7
Bruttoenergie (MJ/kg TM)	19,6	19,3	19,3
<b>Mineralstoffe</b>			
Phosphor (g/kg TM)	5,0	4,9	4,9
Kalzium (g/kg TM)	10,0	11,2	11,6
Natrium (g/kg TM)	1,5	1,7	1,4

LM0, konventionelle Futtermischung ohne Larvenmehl; LM15, 15% Larvenmehl; LM30, 30% Larvenmehl jeweils in Substitution zu Sojaextraktionsschrot, auf Rohprotein-Basis;

Tabelle 9. Analysierte Zusammensetzung der Grower-Futtermischungen

<b>Grower</b>	<b>LM0</b>	<b>LM15</b>	<b>LM30</b>
Trockenmasse (g/kg)	896,5	901,7	904,9
Rohasche (g/kg TM)	67,8	71,0	73,8
Rohprotein (g/kg TM)	246,2	245,3	248,8
Gesamtfett (g/kg TM)	83,1	79,2	75,5
Rohfaser (g/kg TM)	31,1	21,8	25,3
Bruttoenergie (MJ/kg TM)	19,3	19,5	19,6
<b>Mineralstoffe</b>			
Phosphor (g/kg TM)	4,6	4,9	4,1
Kalzium (g/kg TM)	9,3	11,0	11,1
Natrium (g/kg TM)	1,4	1,9	1,9

LM0, konventionelle Futtermischung ohne Larvenmehl; LM15, 15% Larvenmehl; LM30, 30% Larvenmehl jeweils in Substitution zu Sojaextraktionsschrot, auf Rohprotein-Basis;

Tabelle 10. Analysierte Zusammensetzung der Finisher-Futtermischungen

<b>Finisher</b>	<b>LM0</b>	<b>LM15</b>	<b>LM30</b>
Trockenmasse (g/kg)	898,0	900,1	905,8
Rohasche (g/kg TM)	71,3	69,3	68,8
Rohprotein (g/kg TM)	224,8	238,4	240,0
Gesamtfett (g/kg TM)	99,3	97,3	91,6
Rohfaser (g/kg TM)	32,5	30,4	36,2
Titandioxid (g/kg TM)	3,4	3,4	3,1
Bruttoenergie (MJ/kg TM)	20,0	19,9	19,5
<b>Mineralstoffe</b>			
Phosphor (g/kg TM)	3,8	5,4	3,9
Kalzium (g/kg TM)	8,8	9,0	11,8
Natrium (g/kg TM)	1,5	1,7	1,9

LM0, konventionelle Futtermischung ohne Larvenmehl; LM15, 15% Larvenmehl; LM30, 30% Larvenmehl jeweils in Substitution zu Sojaextraktionsschrot, auf Rohprotein-Basis;

## **Mastleistung**

Für die Auswertung der Mastleistungsparameter wurden das Körpergewicht am Ende der jeweiligen Mastphase (g/Tier), die tägliche Futterraufnahme (g/Tier), die Tageszunahme (g/Tier) und die Futterverwertung (Tier) in Abhängigkeit der jeweiligen Futtergruppe festgehalten bzw. berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 aufgelistet.

In allen Phasen zeigten Tiere der Fütterungsgruppen in denen 15-30% des Rohproteins von Soja ersetzt wurden, was einem Anteil von ca. 4-10% Larvenmehl in der Gesamtration entspricht, in etwa vergleichbare Leistungen bezogen auf das Tiergewicht, die Zunahme und die Futterraufnahme im Vergleich zur Kontrollgruppe. Wurde mehr Larvenmehl gefüttert zeigten sich deutlich schlechtere Leistungen. Interessant war jedoch, dass die Tiere, bei denen 15 bzw. 30% des Soja XP ersetzt wurde, in der Starterphase deutlich mehr Futter zu sich nahmen, was in der Folge jedoch nicht zu einer höheren Zunahme führte. Die Futterverwertung schwankte sehr stark zwischen den Gruppen, was ursächlich allerdings auch an der höheren dosierten Gruppe vermehrt auftretenden Bauchwasseransammlung (Ascites) liegen könnte.

Auffällig ist die verringerte Futterraufnahme in der Grower- und Finisherphase, die sich negativ auf die weiteren Mastleistungsparameter auswirkte. Dies ist deshalb möglich, da beim Geflügel nahezu keine Werte zur praecaecalen Aminosäureverdaulichkeit vorliegen, welche die Basis für die Rationsberechnung ist, und die Bewertung der Futtermittel daher auf die Gehalte an Bruttoaminoaciden erfolgte. Die Hühner könnten versucht haben eine mögliche Unausgewogenheit durch eine erhöhte Futterraufnahme zu regulieren. Da der Nährstoffbedarf jedoch trotz der erhöhten Futterraufnahme in der Starterphase nicht gedeckt werden konnte, wurde in der Grower- und Finisherphase, aufgrund der ausbleibenden Wirkung die Futterraufnahme generell reduziert. Dies wiederum könnte erklären, weshalb die Futterraufnahme in diesen zwei Phasen bei LM30 signifikant niedriger als bei LM0 war. Allgemein ist die verringerte Futterraufnahme in der Wachstumsphase der Tiere ein eindeutiger Hinweis, dass die Larvenmehlgehalte bei LM30 zu hoch waren.

Tabelle 11. Zusammenfassung der Mastleistung in der Starter-, Grower- und Finisherphase und über die ganze Versuchsdauer

<b>Futtergruppe</b>	<b>LM0</b>	<b>LM15</b>	<b>LM30</b>	<b>SE</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Starter</b>					
Eintagsküken (g/Tier)	40,2	40,4	40,2	0,19	0,735
KG Tag 14 (g/Tier)	501,9 <sup>a</sup>	490,5 <sup>a</sup>	467,3 <sup>b</sup>	4,18	<0,0001
TFA (g/Tier)	31,5 <sup>b</sup>	37,7 <sup>a</sup>	37,9 <sup>a</sup>	1,32	0,006
TGZ (g/Tier)	32,9 <sup>a</sup>	32,1 <sup>a</sup>	30,5 <sup>b</sup>	0,30	0,001
FV (Tier)	0,9 <sup>b</sup>	1,2 <sup>a</sup>	1,2 <sup>a</sup>	0,04	0,0003
<b>Grower</b>					
KG Tag 28 (g)	1638,4 <sup>a</sup>	1633,7 <sup>a</sup>	1465,2 <sup>b</sup>	25,58	<0,0001
TFA (g/Tier)	109,6 <sup>a</sup>	106,5 <sup>ab</sup>	99,2 <sup>b</sup>	2,36	0,029
TGZ (g/Tier)	81,2 <sup>a</sup>	81,7 <sup>a</sup>	71,2 <sup>b</sup>	1,71	<0,0001
FV (Tier)	1,3	1,3	1,3	0,03	0,316
<b>Finisher</b>					
KG Tag 35 (g)	2431,6 <sup>a</sup>	2434,9 <sup>a</sup>	2243,5 <sup>b</sup>	45,46	0,001
TFA (g/Tier)	174,1 <sup>a</sup>	172,4 <sup>ab</sup>	159,1 <sup>b</sup>	4,44	0,025
TGZ (g/Tier)	113,3	114,5	111,1	3,26	0,586
FV (Tier)	1,5 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	1,2 <sup>b</sup>	0,06	0,008
<b>Ganze Versuchsdauer</b>					
TFA (g/Tier)	91,3 <sup>(a)</sup>	92,2 <sup>(a)</sup>	86,7 <sup>(b)</sup>	1,79	0,093
TGZ (g/Tier)	68,3 <sup>a</sup>	68,4 <sup>a</sup>	62,9 <sup>b</sup>	1,29	0,001
FV (Tier)	1,3	1,3	1,3	0,03	0,166

LM0, konventionelle Futtermischung ohne Larvenmehl; LM15, 15% Larvenmehl; LM30, 30% Larvenmehl jeweils in Substitution zu Sojaextraktionsschrot, auf Rohprotein-Basis; KG, Körpergewicht; TFA, tägliche Futterraufnahme; TGZ, tägliche Gewichtszunahme; FV, Futtermittelnutzung; SE, Standardfehler;

<sup>a, b</sup> Unterschied zwischen LM0, LM15 und LM30 ( $p \leq 0,05$ );

<sup>(a), (b)</sup> Unterschied zwischen LM0, LM15 und LM30 ( $p \leq 0,1$ )

## Verdaulichkeit

Die scheinbare Gesamttrakt-Verdaulichkeit der verschiedenen Nährstoffe und Mineralstoffe sind Tabelle 12 zu entnehmen. Die Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Masse, des Gesamtfettes und der Bruttoenergie ist jeweils bei LM30 signifikant höher als bei LM0 und LM15. Somit wurde die Verdaulichkeit all dieser Parameter jeweils durch einen höheren Anteil an Larvenmehl gesteigert. Die hohe Verdaulichkeit kann aber teilweise durch die geringe Futterraufnahme bei LM30 erklärt werden.

Tabelle 12. Scheinbare Gesamttrakt-Verdaulichkeit (%) verschiedener Parameter, AME<sub>N</sub> und N-Retention (%)

	LM0	LM15	LM30	SE	p-Wert
<b>Nährstoffe (%)</b>					
Trockenmasse	66,8 <sup>b</sup>	67,3 <sup>b</sup>	70,8 <sup>a</sup>	0,52	0,0006
Organische Masse	72,8 <sup>b</sup>	73,0 <sup>b</sup>	76,0 <sup>a</sup>	0,40	0,0002
Gesamtfett	90,2 <sup>b</sup>	91,0 <sup>b</sup>	92,4 <sup>a</sup>	0,28	0,0003
Bruttoenergie	75,4 <sup>b</sup>	75,4 <sup>b</sup>	78,0 <sup>a</sup>	0,48	0,0004
Rohasche	21,4 <sup>(ab)</sup>	20,4 <sup>(b)</sup>	24,3 <sup>(a)</sup>	1,19	0,0820
N-Retention	58,7 <sup>b</sup>	60,4 <sup>b</sup>	65,1 <sup>a</sup>	1,11	0,0039
<b>Mineralstoffe (%)</b>					
Phosphor	40,1 <sup>b</sup>	64,3 <sup>a</sup>	49,9 <sup>c</sup>	3,50	0,0001
Kalzium	79,6	77,4	83,6	3,02	0,3677
Natrium	26,6	26,1	39,1	8,79	0,4439
<b>Energie (MJ/kg TM)</b>					
AME <sub>N</sub>	12,565 <sup>b</sup>	12,570 <sup>ab</sup>	12,575 <sup>a</sup>	0,02	0,010

LM0, konventionelle Futtermischung ohne Larvenmehl; LM15, 15% Larvenmehl; LM30, 30% Larvenmehl jeweils in Substitution zu Sojaextraktionsschrot, auf Rohprotein-Basis; N, Stickstoff; SE, Standardfehler;

<sup>a, b</sup> Unterschied zwischen LM0, LM15 und LM30 ( $p \leq 0,05$ );

<sup>(a), (b)</sup> Unterschied zwischen LM0, LM15 und LM30 ( $p \leq 0,05$ )

So wurde bei der Auswertung der scheinbaren Verdaulichkeit der ilealen Aminosäuren (Tabelle 13) in vorliegendem Versuch bei LM30 durchwegs niedrigere Werte erzielt als bei LM0 und LM15. Vor allem die Verdaulichkeit von Histidin, Isoleucin und Leucin waren bei LM30 signifikant niedriger als bei LM0 und teilweise auch niedriger als bei LM15. Die geringe Verdaulichkeit kann in weiterer Folge ein Grund für die schlechtere Futteraufnahme gewesen sein. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass zusätzlich die Intensität der Verarbeitung der Larven zu Larvenmehl auch Hitzeschädigungen hervorgerufen hat, was auch die geringe Verdaulichkeit der Aminosäuren erklärt.

Die Hitzeschädigung in Folge der Verarbeitung von Larvenmehl lässt sich durch den Anstieg an gebundenem Stickstoff bei der Bestimmung von Säure-Detergenzienfaser nachvollziehen (Tabelle x), auch als ADIN (acid detergent insoluble N) genannt. Dieser Wert stieg mit dem Anteil an Larvenmehl in der Ration.

Tabelle 13. Scheinbare ileale Verdaulichkeit von Aminosäuren bei Einsatzmengen von Larvenmehl (Substitution durch Sojaextraktionsschrot auf XP-Basis)

	<b>LM0</b>	<b>LM15</b>	<b>LM30</b>	<b>P-Wert</b>	<b>SE</b>
<b>N-Retention</b>	80 <sup>a</sup>	76 <sup>ab</sup>	74 <sup>b</sup>	0,0002	1,15
<b>Met</b>	88	86	87	0,13	1,01
<b>Lys</b>	83	79	80	0,15	1,28
<b>Ile</b>	78 <sup>a</sup>	76 <sup>a</sup>	70 <sup>b</sup>	<0,0001	1,75
<b>Leu</b>	82 <sup>a</sup>	77 <sup>b</sup>	76 <sup>b</sup>	<0,0001	1,23
<b>Val</b>	79	77	77	0,16	1,35
<b>His</b>	83 <sup>a</sup>	80 <sup>ab</sup>	79 <sup>b</sup>	0,0005	1,10
<b>Phe</b>	84	81	80	0,14	1,16
<b>Thr</b>	75	72	72	0,14	1,34
<b>Arg</b>	88	86	85	0,12	1,00

LM0, konventionelle Futtermischung ohne Larvenmehl; LM15, 15% Larvenmehl; LM30, 30% Larvenmehl jeweils in Substitution zu Sojaextraktionsschrot, auf Rohprotein-Basis;

<sup>a, b</sup> Unterschied zwischen LM0, LM15 und LM30 ( $p \leq 0,05$ )

## Schlachtleistung

Die Auswertung der Schlachtleistungsparameter kann aus Tabelle 14 entnommen werden. Ein Großteil der Parameter waren jeweils bei LM30 schlechter als bei LM0 und LM15. Zwischen LM0 und LM15 konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Bei dem Gewicht von Herz und Leber und bei der Ausschachtung konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Futtergruppen festgestellt werden.

In Tabelle 15 ist die Auswertung der wertvollen Teilstücke dargestellt. Keine signifikanten Unterschiede konnten bei den Gewichten von Ständer, Flügel und Restkörper festgestellt werden. Kopf und Hals waren bei den Larvenmehl-Gruppen leichter als bei der Kontrollgruppe. Die Schenkel waren bei LM30 leichter als bei LM0 und die Brust war bei LM15 schwerer als bei LM0.

## Fazit

Durch den Einsatz von Larvenmehl konnten bei LM15 keine negativen Auswirkungen auf die Mast- und Schlachtleistung im Vergleich zu LM0 festgestellt werden. Bei LM30 wurden jedoch schlechtere Mast- und Schlachtleistungen als bei LM0 und LM15 ermittelt. Die Gesamttrakt-Verdaulichkeit der Nährstoffe wies zwischen LM0 und LM15 keine Unterschiede auf. Bei LM30 war die Verdaulichkeit besser als bei LM0 und LM15. Zudem zeigten sich in den Gruppen mit höherer Larvenmehleinmischung verstärkt Diarrhoen.

Auf Basis der Ergebnisse des oben beschriebenen Fütterungsversuches mit Larvenmehl, wird eine Substitution von Sojaextraktionsschrot von max. 15% Rohproteinersatz empfohlen.

Tabelle 14. Ergebnisse der allgemeinen Schlachtleistungsparameter

	LM0	LM15	LM30	SE	p-Wert
Tiere (n)	69	70	57		
LM nüchtern Tag 36 (g)	2528,5 <sup>a</sup>	2544,7 <sup>a</sup>	2310,9 <sup>b</sup>	42,2	0,0007
ODW <sub>w</sub> (g)	2019,8 <sup>a</sup>	2043,7 <sup>a</sup>	1829,0 <sup>b</sup>	35,4	0,0003
Abdominalfett (g)	23,4 <sup>a</sup>	21,4 <sup>a</sup>	15,5 <sup>b</sup>	1,2	0,0031
Herz (g)	13,8	13,2	12,1	0,6	0,4246
Leber (g)	51,9	55,7	50,9	2,1	0,1999
Magen (g)	27,1 <sup>a</sup>	24,4 <sup>a</sup>	19,2 <sup>b</sup>	0,8	<0,0001
ODW <sub>k</sub> (g)	1974,9 <sup>a</sup>	1996,8 <sup>a</sup>	1755,4 <sup>b</sup>	40,8	0,0014
grillfertige Ware (g)	1787,5 <sup>a</sup>	1815,6 <sup>a</sup>	1612,9 <sup>b</sup>	31,7	0,0002
Ausschlachtung (%)	78,1	77,2	76,8	0,8	0,4431

LM0, konventionelle Futtermischung ohne Larvenmehl; LM15, 15% Larvenmehl; LM30, 30% Larvenmehl jeweils in Substitution zu Sojaextraktionsschrot, auf Rohprotein-Basis;

SE, Standardfehler;

<sup>a, b</sup> Unterschied zwischen LM0, LM15 und LM30 ( $p \leq 0,05$ )

Tabelle 15. Ergebnisse der wertvollen Teilstücke

	LM0	LM15	LM30	SE	p-Wert
Tiere (n)	12	12	12		
Kopf und Hals (g)	117,0 <sup>a</sup>	104,7 <sup>b</sup>	102,3 <sup>b</sup>	2,7	0,0002
Ständer (g)	77,8	77,8	76,0	2,7	0,8413
Brust (g)	532,4 <sup>b</sup>	576,9 <sup>a</sup>	551,6 <sup>ab</sup>	12,9	0,0235
Schenkel (g)	513,4 <sup>a</sup>	488,9 <sup>ab</sup>	444,6 <sup>b</sup>	11,7	0,0061
Flügel (g)	214,8	204,5	195,7	5,4	0,0892
Restkörper (g)	579,0	577,6	517,1	18,2	0,0545

LM0, konventionelle Futtermischung ohne Larvenmehl; LM15, 15% Larvenmehl; LM30, 30% Larvenmehl jeweils in Substitution zu Sojaextraktionsschrot, auf Rohprotein-Basis

<sup>a, b</sup> Unterschied zwischen LM0, LM15 und LM30 ( $p \leq 0,05$ ); SE, Standardfehler

## 2.2 Substitutionsversuche mit Larvenprotein und -fett in der Broilerfütterung (Broiler II)

### Einleitung

Nach Auswertung der Ergebnisse des ersten Fütterungsversuches mit Larvenmehl, wurde der ursprünglich mit ganzen Larven geplante zweite Fütterungsversuch umgestellt. Ziel des zweiten Fütterungsversuchs war es daher, die Eignung der separierten Komponenten Larvenprotein und Larvenfett der *Hermetia illucens* für die Broilerfütterung zu untersuchen. Mittels Entfettung der Larven kann der ohnehin hohe Proteingehalt erhöht werden, um ein Proteinmehl als Futtermittel zu erzeugen. Darüber hinaus ermöglicht die Trennung von Protein und Fett eine ausgewogenere und präzisere Futterformulierung.

### Versuchsdurchführung

Insgesamt wurden für diesen Versuch Masthähnchen nach dem Zufallsprinzip einer von sechs Futtergruppen zugewiesen. Der Versuch wurde als 2 × 3 faktorielles Design angelegt. Es wurden also die folgenden Futtergruppen (siehe auch Tabelle 16) gebildet: 1) Kontrollration auf Basis von Sojaextraktionsschrot (SBM) und Sojaöl (S+S), 2) Ration bestehend aus SBM und Aufteilung des zugesetzten Fettes auf 50 % Sojaöl und 50 % HI-Larvenfett (S+50L), 3) Ration mit SBM und 100 % HI-Larvenfett (S+100L), 4) Ration, bei der 15 % des SBM-Rohproteins durch HI-Larvenmehl ersetzt wurde und nur Sojaöl eingesetzt wurde (L+S), 5) Ration mit HI-Larvenmehl und 50 % Sojaöl und 50 % HI-Larvenfett (L+50L) und 6) Ration mit HI-Larvenmehl und 100 % HI-Larvenfett (L+100L). Die Mast erfolgte in einem dreistufigen Fütterungsregime: Starter (1-14 d), Grower (15-28 d), Finisher (29-35 d). Erfasst wurden die zootecnische Leistungsparameter: Körpergewicht (BW), durchschnittliche Tageszunahme (TZ), durchschnittliche tägliche Futteraufnahme (ADFI) und die Futterverwertung (FCR). Dafür wurden die Tiere bzw. das Futter boxenweise an den Tagen 1, 14 und 28 sowie individuell an Tag 35 gewogen. Alle Rationen wurden isokalorisch und isonitrogen kalkuliert.

Analysierte Nährstoffgehalte der Versuchsrationen sind in Tabelle 18 dargestellt. Außerdem wurden die essentiellen Aminosäuren in allen Rationen ausgeglichen.

Die Daten zur Leistung der Tiere in Abhängigkeit vom Einsatz des Larvenmehls wurden ausgewertet und die Futtermittel auf ihre Rohnährstoffe im Labor untersucht.

Tabelle 16. Versuchsaufbau und Fütterungsgruppen

FG	Proteinquelle	Fettquelle
1	Sojaextraktionsschrot	100% Sojaöl
2		50% Soja- / 50% Larvenfett
3		100% Larvenfett
4	Larvenmehl	100% Sojaöl
5		50% Soja- / 50% Larvenfett
6		100% Larvenfett

## Ergebnisse

Die Tabellen 8 und 9 zeigen die analysierten Nährstoffgehalte des verwendeten Larvenmehls und der verfütterten Futtermischungen.

Tabelle 17. Analysierte Nährstoffgehalte des Larvenmehls und des Sojaextraktionsschrotes

(g/kg Trockenmasse)	Larvenmehl 1. Versuch	Larvenmehl 2. Versuch	Sojaschrot
Rohprotein	637	676	475
Acid-detergent insoluble nitrogen (ADIN*, g/kg XP)	75	-	29
Rohasche	119	88	64
Rohfett	63	95	24
Rohfaser	87	-	48
ADF (Säure-Detergenzien Faser)	95	179	78
Phosphor	12,2	10,1	5,9
Calcium	23,4	9,54	2,8
Natrium	1,2	1,2	1,0
Kalium	17,0	-	20,2

\*Der ADIN-Gehalt korreliert positiv mit dem Larvenmehleinsatz

Tabelle 18. Futterzusammensetzung (%) und berechnete Nährstoffzusammensetzung (g/kg TM) der Futtermittel

Inhaltsstoffe	Starter (Tag 1-14)						Grower (Tag 15-28)						Finisher (Tag 29-35)					
	S+S	S+50L	S+100L	L+S	L+50L	L+100L	S+S	S+50L	S+100L	L+S	L+50L	L+100L	S+S	S+50L	S+100L	L+S	L+50L	L+100L
Mais	55,85	55,85	55,85	56,43	56,43	56,43	58,30	58,30	58,30	59,95	59,95	59,95	59,50	59,50	59,50	60,31	60,31	60,31
SES 48% XP	38,50	38,50	38,50	33,20	33,20	33,20	35,00	35,00	35,00	30,00	30,00	30,00	31,85	31,85	31,85	27,00	27,00	27,00
Larvenmehl	0	0	0	5,20	5,20	5,20	0	0	0	4,64	4,64	4,64	0	0	0	4,00	4,00	4,00
Sojaöl	1,5	0,75	0	1,28	0,64	0	3,14	1,57	0	2,00	1,00	0	5,10	2,55	0	5,00	2,50	0
Larvenöl	0	0,75	1,50	0	0,64	1,28	0	1,57	3,14	0	1,00	2,00	0	2,55	5,10	0	2,50	5,00
Bicalcium-phosphat	1,55	1,55	1,55	1,60	1,60	1,60	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,20	1,20	1,20	1,30	1,30	1,30
Futterkalk	1,20	1,20	1,20	0,90	0,90	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Mineral Premix	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Vitamin Premix	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
L-Methionin 99%	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,35	0,35	0,35	0,24	0,24	0,24	0,30	0,30	0,30	0,32	0,32	0,32
HCl-Lysin 78%	0,26	0,26	0,26	0,23	0,23	0,23	0,19	0,19	0,19	0,17	0,17	0,17	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15
Viehsalz	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
L-Threonin	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03
Cholin Chlorid 60%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07
L-Valin	0,03	0,03	0,03	0	0	0	0,03	0,03	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coban 200	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0	0	0	0	0	0
HiPhos GT (Phytase)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Arginin	0	0	0	0,05	0,05	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Titandioxid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Summe	100,01	100,01	100,01	100,01	100,01	100,01	100,01	100,01	100,01	100,00	100,00	100,00	100,01	100,01	100,01	100,00	100,00	100,00
Berechnete Nährstoffzusammensetzung der Futtermittel (Angaben sind Mittelwerte in g/kg TM bzw. wie angegeben)																		
XP	233,0	233,0	233,0	240,8	240,8	240,8	217,0	217,0	217,0	222,0	222,0	222,0	201,3	201,3	201,3	203,3	203,3	203,3
Calcium	0,9	10,9	10,9	10,3	10,3	10,3	9,3	9,3	9,3	9,7	9,7	9,7	9,0	9,0	9,0	9,5	9,5	9,5
Phosphor	5,0	5,0	5,0	5,1	5,1	5,1	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,7	4,5	4,5	4,5	4,7	4,7	4,7
Natrium	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8
AMEN (MJ/kg)	12,60	12,60	12,60	12,77	12,77	12,77	13,12	13,12	13,12	13,02	13,02	13,02	13,58	13,58	13,58	13,64	13,64	13,64

S+S, Sojaschrot+Sojaöl; S+50L, Sojaschrot+ 50% Larvenöl; S+100L, Sojaschrot+100% Larvenöl; L+S, Larvenmehl+Sojaöl; L+50L, Larvenmehl+50% Larvenöl; L+100L, Larvenmehl+100% Larvenöl

Tabelle 19. Analysierte Nährstoffgehalte der Versuchsrationen

	Starter (1-14d)						Grower (15-28d)						Finisher (29-35d)					
	S+S	S+50 L	S+10 OL	L+S	L+50 L	L+100 L	S+S	S+50 L	S+10 OL	L+S	L+50 L	L+100 L	S+S	S+50 L	S+10 OL	L+S	L+50 L	L+100 L
Tr.-Masse	900,4	898,5	896,5	901,6	898,2	902,3	893,0	894,3	890,1	895,2	893,8	895,5	893,6	892,9	890,1	899,7	895,7	896,6
Rohasche	70,0	67,0	71,2	68,6	65,9	67,7	63,4	64,9	65,0	63,0	62,5	62,3	63,2	58,7	59,8	60,5	60,2	63,7
Rohprotein	268,9	266,9	265,0	281,0	279,1	273,3	260,9	252,5	254,0	256,2	257,0	252,4	229,2	228,3	238,4	230,5	229,9	246,6
Rohfett	59,1	56,7	59,0	58,4	58,3	59,4	80,9	79,6	76,0	67,3	69,3	67,6	97,1	94,1	92,4	96,2	91,0	95,6
Stärke	440,4	456,0	441,1	452,6	453,7	438,9	439,8	448,3	436,3	462,5	465,1	460,0	457,2	460,1	465,8	467,5	473,3	457,6
Zucker	49,4	49,0	49,6	42,3	42,2	43,2	46,7	45,7	45,7	39,1	41,4	39,9	42,1	42,2	42,8	31,3	37,4	38,1
Bruttoenerg. (MJ/kg)	17,03	16,86	16,83	17,03	17,03	17,09	17,72	17,67	17,57	17,53	17,53	17,48	17,94	17,89	17,78	17,91	17,91	18,06
AMEN (MJ/kg)	14,60	14,75	14,56	14,88	14,88	14,57	15,19	15,13	14,85	14,92	15,08	14,83	15,43	15,36	15,59	15,43	15,44	15,62
Natrium	2,30	2,19	2,01	1,97	1,89	1,96	1,96	1,95	1,81	1,91	1,76	1,61	1,93	1,73	1,74	1,73	1,62	1,94
Calcium	11,58	9,17	9,76	8,45	8,56	9,16	7,92	8,41	9,14	9,11	8,57	8,47	8,62	7,58	8,05	8,01	7,79	8,79
Phosphor	7,17	7,09	7,29	7,63	7,66	7,66	6,30	6,76	6,85	6,82	6,79	6,59	5,46	6,06	6,29	6,46	6,08	6,52

Tabelle 20 zeigt die zootecnische Leistung der Tiere nach Fütterungsphasen und über die gesamte Versuchsdauer hinweg. In der Starterphase hatte die Proteinquelle einen signifikanten Einfluss auf das Gewicht und die TZ mit einem durchschnittlich 11 g höheren Gewicht für die Larvenmehlgruppen im Vergleich zu den SBM gefütterten Gruppen. Darüber hinaus wurde eine Interaktion von Protein und Fett für das Gewicht beobachtet, wobei hier das Gewicht der Gruppe S+100L niedriger war als bei der Gruppe L+100L. Ebenso war die TZ bei S+100L niedriger als bei L+100L. In der Grower-Phase beeinflusste die Proteinquelle die Futteraufnahme, mit einer höheren Futteraufnahme in den Larvenmehl gefütterten Gruppen. In der Finisher-Phase erhöhte das Larvenmehl als Proteinquelle die Futteraufnahme um 9 g, was jedoch nicht zu einem höheren Gewicht führte.

Der vorliegende Versuch zeigt, dass der teilweise Ersatz von SBM durch Larvenmehl und der vollständige Ersatz von Sojaöl durch Larvenfett keinen negativen Einfluss auf die zootecnische Tierleistung hatte. Tatsächlich verbesserte die Verwendung von Larvenmehl als Proteinquelle sogar die Wachstumsleistung der Tiere während der Starterphase.

Tabelle 20. Zootechnische Leistungen der Broiler in Starter-, Grower-, Finisher-Phase und Leistung über gesamten Versuchszeitraum (Hartinger et al., 2021 (eingereicht))

Futtergruppe	Protein		SE	p-Wert	Protein × Fett						SE	p-Wert	
	S	L			S+0L	S+50L	S+100L	L+0L	L+50L	L+100L		Fett	Protein × Fett
<b>Starter Phase, 1-14 d</b>													
Gewicht, g	550	561	4,2	0,008	559 <sup>Z</sup>	552 <sup>YZ</sup>	539 <sup>BY</sup>	564	553	564 <sup>A</sup>	5,6	0,076	0,028
ADFI, g/Tier	39	39	0,35	0,693	40	40	39	40	39	40	0,47	0,379	0,004 <sup>1</sup>
TZ, g	36	37	0,30	0,009	37	36	35 <sup>B</sup>	37	36	37 <sup>A</sup>	0,41	0,091	0,030
FCR, g/g	1,093	1,074	0,005	<0,001	1,079 <sup>Y</sup>	1,106 <sup>AZ</sup>	1,094 <sup>YZ</sup>	1,077	1,067 <sup>B</sup>	1,076	0,007	0,298	0,011
<b>Grower Phase, 15-28 d</b>													
Gewicht, g	2031	2037	15,28	0,756	2047	2059	1987	2047	2024	2041	24,6	0,345	0,188
ADFI, g/Tier	132	135	0,85	0,041	133	133	130	135	134	136	1,46	0,759	0,146
TZ, g	106	105	0,93	0,794	106	108	103	106	105	105	1,6	0,442	0,361
FCR, g/g	1,251	1,278	0,007	0,015	1,254	1,243	1,256	1,274	1,272	1,289	0,01	0,503	0,884
<b>Finisher Phase, 29-35 d</b>													
Gewicht, g	2924	2985	39,81	0,103	2975	2908	2888	3039	2934	2982	53,8	0,136	0,744
ADFI, g/Tier	175	183	3,32	0,001	175	178	174	183	184	183	3,88	0,649	0,774
TZ, g	128	135	6,32	0,072	133	121	129	141	130	134	7,6	0,103	0,938
FCR, g/g	1,396	1,387	0,06	0,894	1,319	1,503	1,364	1,293	1,492	1,377	0,09	0,052	0,968
<b>alle Phasen, 1-35 d</b>													
TZ, g	82	84	1,13	0,102	84	82	81	86	83	84	1,5	0,137	0,741
ADFI, g	104	107	0,841	0,005	104	105	102	106	107	107	1,23	0,460	0,168
FCR, g/g	1,263	1,272	0,01	0,572	1,244	1,289	1,256	1,242	1,296	1,278	0,02	0,052	0,815

S+0L, SBM+0 % Larvenfett; S+50L, SBM+50 % Larvenfett; S+100L, SBM+ 100% Larvenfett; L+0L, Larvenmehl+0 % Larvenfett; L+50L, Larvenmehl+50 % Larvenfett; L+100L, Larvenmehl+ 100% Larvenfett; FA, durchschnittliche tägliche Futtermittelaufnahme; TZ, Tageszunahme; FCR, Futterverwertung

<sup>A,B</sup> Proteinquellen bei gleichem Larvenfettanteil unterscheiden sich bei unterschiedlicher Hochbuchstaben ( $P < 0,05$ ).

<sup>Y,Z</sup> Larvenfettanteil in der Sojaschrot-Gruppe unterscheiden sich bei unterschiedlicher Hochbuchstaben ( $P < 0,05$ ).

<sup>1</sup> post hoc test Tukey  $P > 0,10$

SE, Standardfehler

## **Ileale Verdaulichkeit**

Im Weiteren wurde auch der bei der Schlachtung entnommene Darminhalt untersucht. Um die Verdaulichkeit des Futters berechnen zu können, wurden sowohl Futter-, Darminhalt- als auch Exkrementproben auf ihren Nährstoffgehalt untersucht. Die Daten zur ilealen Verdaulichkeit sind in Tabelle 21 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Proteinquelle (SBM oder Larvenmehl, 15% Rohprotein Ersatz des SBM) einen Einfluss auf die Verdaulichkeit der Trockenmasse, organischen Masse und des Rohfetts ( $p < 0.05$ ) hatte. Dabei schnitten die Futtergruppen besser ab, welche auch Larvenmehl erhielten, als jene die nur Sojaextraktionsschrot erhielten. Die Fütterung unterschiedlicher Fette hatte keinen Einfluss auf die ileale Verdaulichkeit ( $p > 0.05$ ).

## **Mikrobielle Metaboliten der Digesta des Caecums und Colons**

Um sich in Bezug dazu auch die Fermentationsmuster in unterschiedlichen Darmabschnitten anzusehen (Caecum und Colon), wurde der Darminhalt dieser Abschnitte auf den Gehalt an biogenen Aminen (Caecum und Colon), Ammoniak und flüchtige Fettsäuren (Caecum) untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Tabellen 22-24 dargestellt.

Während für die biogenen Amine Agmatin, Spermine und für den Ammoniak in der caecalen Digesta jeweils geringere Gehalte ( $p < 0.05$ ) in den Futtergruppen gefunden wurden, welche Larvenmehl erhielten (Tabelle 22), war der Gehalt des biogenen Amins Ethanolamin höher für diese Gruppen ( $p < 0.05$ ) im Vergleich zu den SBM Gruppen. Die Fettquelle zeigte keinen Einfluss auf die Gehalt an biogenen Aminen oder Ammoniak im Caecum.

Tabelle 23 zeigt den Gehalt an flüchtigen Fettsäuren im Darminhalt des Caecums. Die Auswertung zeigt einen Einfluss der Interaktion von Protein- und Fettquelle auf den Gehalt an Essigsäure, sowie der Proteinquelle auf den Gehalt an Buttersäure. Dabei zeigt die Tabelle 23, dass bei rein SBM gefütterten Gruppen die caecale Digesta einen höheren Buttersäuregehalt erhielt als bei den Tieren, welche nur einen Teil mit Larvenmehl gefüttert wurden. Bei den im Coloninhalt gemessenen biogenen Aminen gab es einen Einfluss der Fettquelle auf den Gehalt an Agmatin ( $p < 0.05$ ) (Tabelle 24).

Die Analyse der histomorphometrischen Parameter ist in Tabelle 25 dargestellt und zeigt eine Interaktion der Protein- und Fettquelle für die Zottenfläche im Jejunum. Und zwar hatte die Gruppe L+100L eine größere Zottenfläche als die Gruppe S+100L. Außerdem hatte die Proteinquelle einen Effekt auf die Zottenfläche mit einer größeren Fläche für HI Larvenmehl Gruppen verglichen mit den SBM Gruppen. Auch die Fettquelle beeinflusste die Zottenfläche mit einer höheren Fläche in den 50L Gruppen ( $0.21 \text{ mm}^2$ ) verglichen mit den 0L Gruppen ( $0.17 \text{ mm}^2$ ). Die Proteinquelle beeinflusste außerdem die Zottenbreite mit einer größeren Breite in HI Larvenmehl Gruppen im Vergleich zu SBM Gruppen.

Tabelle 21. Scheinbare ileale Verdaulichkeit verschiedener Nährstoffe (Hartinger et al., 2021 (eingereicht))

	Protein				Protein × Fett							p-Wert	
	S	L	SE	p-Wert	S+0L	S+50L	S+100L	L+0L	L+50L	L+100L	SE	Fett	Protein × Fett
<b>%</b>													
Trockenmasse	63,6	66,7	0,57	<0,001	63,5	63,9	63,6	66,4	67,8	66,0	1,63	0,347	0,611
Organische Masse	68,1	70,7	0,63	<0,001	67,9	68,3	68,1	70,3	71,8	70,1	1,01	0,285	0,543
Rohprotein	73,4	72,8	0,67	0,488	73,1	73,2	73,8	71,4	72,4	74,8	1,18	0,081	0,350
Fett	87,7	90,6	1,48	0,022	88,7	85,7 <sup>y</sup>	88,7	88,7	92,1 <sup>z</sup>	91,0	2,26	0,712	0,084

S+0L, SBM+0 % Larvenfett; S+50L, SBM+50 % Larvenfett; S+100L, SBM+ 100% Larvenfett; L+0L, Larvenmehl+0 % Larvenfett; L+50L, Larvenmehl+50 % Larvenfett; L+100L, Larvenmehl+ 100% Larvenfett

<sup>y,z</sup> Proteinquelle im gleichen Larvenfettgehalt (50%, 100%) unterscheidet (0,05 ≤ p ≤ 0,10)

SE, Standardfehler

Tabelle 22. Biogene Amine und Ammoniakgehalt in der caecalen Digesta (Hartinger et al., 2021 (eingereicht))

	Protein				Protein × Fett							p-Wert	
	S	L	SE	p-Wert	S+0L	S+50L	S+100L	L+0L	L+50L	L+100L	SE	Fett	Protein × Fett
<b>Biogene Amine (mg/kg Frischmasse)</b>													
Agmatin	270	216	22,51	<0,001	244	293	274	222	214	213	26,18	0,460	0,237
Ethanolamin	6,81	10,1	1,114	0,017	6,00	9,93	4,51	10,1	9,50	10,7	1,715	0,387	0,121
Methylamin	7,34	6,12	0,522	0,065	7,51	7,45	7,06	6,51	6,43	5,41	0,821	0,550	0,895
Putrescin	1,46	0,72	0,282	0,056	1,40	1,30	1,68	1,13	0,31	0,73	0,463	0,539	0,670
Cadaverin	4,56	4,04	0,590	0,343	4,17	5,69	3,82	4,86	3,57	3,70	0,796	0,365	0,107
Histamin	1,14	1,09	0,038	0,357	1,16	1,19	1,05	1,14	1,06	1,07	0,063	0,345	0,476
Tyramin	1,77	1,71	0,763	0,958	1,12	1,09	3,11	1,10	1,83	2,21	1,321	0,479	0,825
Spermidin	231	183	11,83	<0,001	220	238	234	185	187	179	15,11	0,689	0,674
Spermin	12,1	9,51	0,448	<0,001	13,7	11,6	11,0	9,53	10,5	8,53	0,777	0,067	0,166
<b>Ammoniak (mmol/kg Frischmasse)</b>													
Ammoniak	23,3	20,2	0,853	<0,001	23,2	24,0	22,6	20,2	21,3	19,1	1,140	0,181	0,916

S+0L, SBM+0 % Larvenfett; S+50L, SBM+50 % Larvenfett; S+100L, SBM+ 100% Larvenfett; L+0L, Larvenmehl+0 % Larvenfett; L+50L, Larvenmehl+50 % Larvenfett; L+100L, Larvenmehl+ 100% Larvenfett; SE, Standardfehler

Tabelle 23. Gehalt an flüchtige Fettsäuren (FFS) in der caecalen Digesta (Hartinger et al., 2021 (eingereicht))

	Protein			p-Wert	Protein × Fett						p-Wert		
	S	L	SE		S+0L	S+50L	S+100L	L+0L	L+50L	L+100L	SE	Fett	Protein × Fett
<b>FFS (mM/kg Frischmasse)</b>													
Acetat	107	104	6,888	0,425	102	99,1	120	113	97,0	101	8,168	0,070	0,035 <sup>1</sup>
Propionat	13,2	13,7	1,633	0,682	14,0	12,3	13,4	15,1	13,7	12,5	2,036	0,483	0,695
Butyrat	20,2	17,3	1,119	0,031	17,5	19,9	23,1	18,3	16,4	17,3	1,667	0,262	0,113
Valerat	2,02	2,01	0,239	0,579	2,02	2,22	2,12	1,91	2,30	1,82	0,314	0,406	0,756
Isobutytrat	1,88	1,68	0,516	0,501	1,82	1,76	2,07	1,64	2,03	1,37	0,596	0,862	0,429
Isovalerat	0,30	0,21	0,165	0,274	0,29	0,31	0,30	0,16	0,32	0,15	0,181	0,527	0,657

S+0L, SBM+0 % Larvenfett; S+50L, SBM+50 % Larvenfett; S+100L, SBM+ 100% Larvenfett; L+0L, Larvenmehl+0 % Larvenfett; L+50L, Larvenmehl+50 % Larvenfett; L+100L, Larvenmehl+ 100% Larvenfett

<sup>1</sup>post hoc test Tukey P>0,10

SE, Standardfehler

Tabelle 24. Gehalt an biogene Amine in der Digesta des Colons (Hartinger et al., 2021 (eingereicht))

	Protein			p-Wert	Protein × Fett						p-Wert		
	S	L	SE		S+0L	S+50L	S+100L	L+0L	L+50L	L+100L	SE	Fett	Protein × Fett
<b>Biogene Amine (mg/kg Frischmasse)</b>													
Agmatin	460	582	79,07	0,165	463	518	397	347	866	531	116,3	0,027	0,106
Ethanolamin	23,7	30,7	3,458	0,155	21,9	22,9	26,2	22,4	40,7	29,1	5,919	0,281	0,300
Methylamin	4,26	4,29	0,991	0,978	3,52	4,63	4,63	4,86	3,63	4,37	1,420	0,949	0,636
Putrescin	2,88	2,56	1,194	0,817	2,69	2,45	3,48	1,05	2,51	4,13	1,796	0,495	0,770
Cadaverin	12,1	11,0	2,515	0,663	8,58	12,3	15,3	15,1	9,77	8,14	3,462	0,959	0,076
Spermidin	59,8	69,4	7,90	0,278	59,5	57,9	61,8	67,3	58,1	82,9	11,76	0,410	0,616
Spermin	55,5	52,2	3,00	0,369	56,6	56,1	53,8	48,4	58,8	49,4	4,698	0,382	0,473

S+0L, SBM+0 % Larvenfett; S+50L, SBM+50 % Larvenfett; S+100L, SBM+ 100% Larvenfett; L+0L, Larvenmehl+0 % Larvenfett; L+50L, Larvenmehl+50 % Larvenfett; L+100L, Larvenmehl+ 100% Larvenfett; SE, Standardfehler

Tabelle 25. Histomorphometrische Ergebnisse (Hartinger et al., 2021 (eingereicht))

	Protein			p-Wert	Protein × Fett						p-Wert		
	S	L	SE		S+0L	S+50L	S+100L	L+0L	L+50L	L+100L	SE	Fett	Protein × Fett
<b>Jejunum</b>													
Zottenlänge, µm	1100	1122	45,78	0,678	1114	1179	1008	994	1214	1157	71,06	0,065	0,114
Zottenbreite, µm	184	207	9,149	0,033	188	193	172	197	222	204	14,43	0,288	0,641
Zottenfläche, mm <sup>2</sup>	0,18	0,21	0,001	0,018	0,19	0,19	0,15 <sup>B</sup>	0,16 <sup>Y</sup>	0,24 <sup>Z</sup>	0,22 <sup>A,YZ</sup>	0,015	0,035	0,015
Kryptentiefe, µm	132	130	4,795	0,701	135	125	137	120	133	137	7,952	0,388	0,314
Verhältnis Zottenlänge:Kryptentiefe	8,70	8,88	0,495	0,769	8,57	9,85	7,68	8,53	9,56	8,54	0,808	0,093	0,721
Becherzellen Zotten, n/200µm	16,8	15,6	0,808	0,238	19,1	15,8	15,5	16,0	15,6	15,3	1,319	0,184	0,393
Mucosa, µm	1331	1345	47,52	0,832	1356	1395	1243	1220	1471	1345	84,68	0,139	0,292
Submucosa, µm	33,9	33,0	1,929	0,537	33,9	33,0	34,8	29,8	34,4	34,7	1,956	0,294	0,302
Tunica muscularis circular layer, µm	137	135	6,150	0,787	136	136	138	137	134	134	9,637	0,984	0,971
<b>Ileum</b>													
Zottenlänge, µm	524	548	20,91	0,369	523	556	492	566	513	564	33,64	0,877	0,189
Zottenbreite, µm	157	157	4,869	0,947	155	153	165	174 <sup>Y</sup>	157	140 <sup>Z</sup>	8,434	0,351	0,034
Zottenfläche, mm <sup>2</sup>	0,07	0,08	0,003	0,363	0,07	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,006	0,541	0,379
Kryptentiefe, µm	132	140	4,125	0,159	119	143	134	144	134	143	7,144	0,562	0,072
Verhältnis Zottenlänge:Kryptentiefe	4,05	3,94	0,156	0,567	4,56	3,89	3,72	3,97	3,90	3,97	0,245	0,148	0,184
Becherzellen Zotten, n/200µm	28	28	2,893	0,760	30	28	26	27	30	28	3,511	0,675	0,442
Mucosa, µm	677	699	23,64	0,475	676	725	629	722	671	704	39,17	0,635	0,215
Submucosa, µm	44,0	44,2	1,902	0,923	44,7	48,3	38,8	41,5	47,6	43,4	3,115	0,072	0,423
Tunica muscularis circular layer, µm	262	256	14,97	0,770	277	270	239	227	278	264	24,08	0,541	0,238

S+0L, SBM+0 % Larvenfett; S+50L, SBM+50 % Larvenfett; S+100L, SBM+ 100% Larvenfett; L+0L, Larvenmehl+0 % Larvenfett; L+50L, Larvenmehl+50 % Larvenfett; L+100L, Larvenmehl+ 100% Larvenfett

<sup>A,B</sup> Proteinquellen bei gleicher Larvenfettquelle unterscheiden ( $P < 0,05$ ).

<sup>Y,Z</sup> Larvenfettquellen innerhalb gleicher Proteinquellen unterscheiden ( $P < 0,05$ ).

<sup>Y,Z</sup> Larvenfettquellen innerhalb gleicher Proteinquellen unterscheiden als Trend ( $0,05 \leq p \leq 0,10$ ).

SE, Standardfehler

Tabelle 26. Physikalisch-chemische Qualität des Brustfleisches

% FM	Futtergruppe						SE	p-Wert		
	S+0L	S+50L	S+100L	L+0L	L+50L	L+100L		Prot.	Fett	Protein*Fett
<b>Trockenmasse</b>	24,98	25,78	23,79	25,18	25,62	25,15	0,675	0,40	0,20	0,50
<b>Rohasche</b>	1,19	1,13	1,12	1,12	1,08	1,06	0,037	0,078	0,13	0,99
<b>Rohfett</b>	4,01	4,60	4,80	5,37	3,32	4,97	0,541	0,84	0,20	0,0576
<b>Kochverlust (%)</b>	25,82	25,66	27,7	26,34	28,04	26,27	1,257	0,60	0,70	0,26
<b>WHK (%)</b>	68,95	69,08	70,06	69,41	69,37	70,37	0,649	0,49	0,18	0,99
<b>Helligkeit (L*)</b>	52,93	54,76	53,38	51,63	56,01	54,95	0,929	0,44	0,0001	0,14
<b>Rotton (a*)</b>	1,53	0,76	0,67	1,10	1,07	0,83	0,402	0,96	0,25	0,54
<b>Gelbton (b*)</b>	12,17	11,99	11,50	11,24	12,53	13,06	0,561	0,37	0,48	0,0702

WHK: Wasserhaltungskapazität

Tabelle 26 zeigt die physikalisch-chemische Zusammensetzung der Brustfleischproben. Die Auswertung ergab keine Unterschiede im Gehalt der Rohnährstoffe im Brustfleisch zwischen den Futtergruppen. In Bezug auf die Farbmessung zeigte sich ein Effekt der Fettquelle auf die Helligkeit. Im Vergleich zur nur mit Sojaöl gefütterten Gruppe, zeigte die ausschließlich mit Larvenfett als Fettquelle gefütterte Gruppe ein helleres Fleisch.

Für die Fleischqualität lässt sich festhalten, dass es keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen gab.

### **Fazit**

Die Fütterung mit geringen Mengen Larvenmehl und bis zu 100% Larvenfett hatte keine negative Auswirkung auf die intermediären Stoffwechsellumsetzungen oder die Darmhistologie bei den Broilern. Es zeigte sich sogar eine verbesserte Nährstoffverdaulichkeit bei der Fütterung mit Larvenmehl, und ein in Teilen günstigeres Fermentationsprofil, mit weniger potentiell schädlichen Gärprodukten.

Der Einsatz von Larvenmehl (bis zu 15% auf Basis XP) und Larvenöl (bis zu 100%) der *Hermetia illucens* als Protein- und Fettquelle in der Broilerproduktion ohne Leistungseinbußen möglich.

## Arbeitspaket 3: Verdaulichkeitsuntersuchungen beim wachsenden Schwein

### Einleitung

Die Verdaulichkeitsbestimmung mit wachsenden Schweinen soll die Erfassung der Daten zur Phosphor-Verfügbarkeit im verarbeiteten Larven (Larvenmehl) und unverarbeiteten Larven ermöglichen. Als Versuchstiere werden männliche, kastrierte Mastschweine eingesetzt, welche mit einem Gewicht von ca. 35-40 kg möglichst gleichmäßig nach Lebendmasse und Herkunft in 9 Verdauungskäfige aufgeteilt wurden.

### Versuchsdurchführung

Das Versuchsfutter stellt eine nach der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) 1994 bzw. 2005 empfohlene Grundmischung dar, deren Zusammensetzung in Tabelle 27 dargestellt ist und welcher Larvenmehl als Testfutter zugelegt wurde.

Sobald regulatorisch bedingte Ausscheidungen über Kot auftreten, was bei Phosphor der Fall ist, ist die Verdaulichkeit von der Phosphor-Zufuhr im Futter abhängig. Es können daher höhere Phosphor-Ausscheidungen auftreten, welche als Folge von erhöhten endogenen Phosphor-Ausscheidungen und/oder reduzierte Absorptionsrate entstehen (GfE, 1994). Daher ist eine suboptimale Phosphor-Versorgung der Tiere zu gewährleisten.

Prinzip des Differenzversuches: es werden die Grundmischung und die Testmischung gefüttert. Die Testmischung wird einer Phosphor-armen Grundmischung zugelegt, deren Phosphor-Verdaulichkeit bekannt ist, bzw. untersucht wird.

Tabelle 27. Zusammensetzung der Grundmischung

(g/kg TM)	
Kartoffelquellstärke	514.4
Trockenschnitzel	118.4
Kartoffeleiweiß	68.0
Sprüheiweiß	52.0
Cellulose	17.6
Sojaöl	13.6
Premix	9.6
CaCO <sub>3</sub> – Calciumcarbonat	6.4

Die tägliche Futtermenge entsprach dem 2,5-fachen Erhaltungsbedarf ( $2,5 \times 0,44 \text{ MJ ME/kg LM}^{0,75}$ ) der Tiere, aufgeteilt auf 2 Mahlzeiten. Die Berechnung der Futtermenge erfolgte jeweils nach der bei der Wiegung zuvor ermittelten mittleren Lebendmasse (LM) der Tiere. Futterreste wurden zurückgewogen, um die genaue Futterraufnahme je Tier zu ermitteln.

Während der Sammelphase (Beginn bis Ende der Hauptphase) wurde zweimal pro Tag eine vollständige quantitative Kotprobe gesammelt. Die Sammelkotproben wurden in einer Gefrierzelle bei  $-20 \text{ °C}$  aufbewahrt. Die gesammelten Kotproben wurden auf die Inhaltsstoffe zur Bestimmung der Verdaulichkeit analysiert. Es wurde die scheinbare Gesamtraktverdaulichkeit des Phosphors untersucht.

## Ergebnisse

Der Verdaulichkeitsversuch beim Mastschwein hat gezeigt, dass die Phosphor-Verdaulichkeit des entfetteten Larvenmehls mit 79% bedeutend höher ist als die von Phosphor aus pflanzlichen Quellen (Tabelle 28), welcher (ohne Phytasezulage) zwischen 24% (Rapsextraktionsschrot) und 66% (Weizen/Triticale) variieren kann (Tabelle 29). Gleichzeitig ist der Phosphorgehalt des entfetteten Larvenmehls mit 10,9-12,2 g/kg TM allgemein höher als der Phosphorgehalt von z.B. Sojaschrot mit 6,9-7,2 g/kg TM (Tabelle 17).

Die Nutzung des generierten Werte des verdaulichen Phosphors bei der Formulierung der Ration hat den Vorteil, dass die stark unterschiedliche Verdaulichkeit zwischen den unterschiedlichen Futtermitteln berücksichtigt wird. Die Unterschiede werden durch den variablen Phosphor-Gehalt sowie die Anwesenheit nativer Phytase verursacht. Somit kann der Zusatz von mineralischem Phosphor in Schweinerationen genauer abgestimmt werden, was wiederum eine Minimierung der Ausscheidung von unverdaulichem und ggf. auch überschüssigen Phosphor zur Folge hat. Das kommt der Umwelt zugute und schont die natürlichen Ressourcen.

Der Verdaulichkeitsversuch mit Schweinen liefert bisher fehlende Daten, die notwendig für die Berechnung bedarfsgerechter und ressourcenschonender Futterrationen mit Larvenmehl sind. Die Ergebnisse zeigen uns außerdem, dass die Verfütterung von Larvenmehl an Schweine aufgrund der – im Vergleich zur Verdaulichkeit des Phosphors aus pflanzlichen Quellen – hohen Phosphorverdaulichkeit sehr interessant für die Branche ist. Der hohe Gehalt und die Verdaulichkeit des Phosphors befürwortet eine verstärkte Nutzung des entfetteten Larvenmehls, welches nicht nur eine Alternative zu importiertem Sojaschrot darstellt, sondern auch als hochverdauliche Phosphorquelle angesehen werden kann.

Der hohe Phosphorgehalt und dessen hohe Verdaulichkeit spricht für eine verstärkte Nutzung des entfetteten Larvenmehls.

Tabelle 28. Gehalt und Phosphor-Verdaulichkeit von entfettetem Larvenmehl

	Mittelwert	min.	max.	St. Abw.
Gesamt-P in Larvenmehl, g/kg TS	4,17	3,90	4,44	0,38
Verdaulicher P des Larvenmehls, %	79	75	88	5,7

Tabelle 29. Verdaulichkeit des Phosphors beim Schwein

Futtermittel	P-Verdaulichkeit (%)
Mono-Calcium-Phosphat	96
Di-Calcium-Phosphat	87
Fischmehl	88
Fleischknochenmehl	80
Sojaextraktionsschrot	35
Weizen	68
Gerste	45
Körnermais	18
Entfettetes Larvenmehl (vorliegende Untersuchung)	79

(Quelle: Kirchgessner, 2014)