

Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) eignet sich für die Fütterung der Weißbeingarnele (*Penaeus vannamei*) unter Praxisbedingungen in einer modernen Kreislaufanlage

Timo Stadtlander, Kristoffer Deininger, Christoph Sandrock, Franziska Schindler, Bert Wecker, Jens Wohlfahrt, Andreas Lemme, Christian Lambertz

Abstract

Die Eignung von Proteinmehl der Larven der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) ist als Fisch- oder Sojamehlersatz in Futtermitteln vieler Nutztierarten, inklusive verschiedenen Speisefischen, aber auch Geflügel und Schweinen, bereits in zahlreichen Untersuchungen gezeigt worden. In Bezug auf die pazifische Weißbeingarnele (*Penaeus vannamei*) wurde dies bisher jedoch noch nicht in großem Umfang erforscht. Ziel dieser Untersuchungen war es daher, unter Praxisbedingungen zu testen, inwieweit sich Proteinmehl der Schwarzen Soldatenfliege als Proteinkomponente für *P. vannamei* eignet.

In vier zeitlich aufeinanderfolgenden Durchgängen wurden ein Versuchsfutter mit zehnpromzentigem Anteil Soldatenfliegenmehl und ein Kontrollfutter unter Praxisbedingungen in einer Kreislaufanlage getestet. Um die Produktionsperformance beider Futter vergleichen zu können, wurden Wachstum, Futterverwertung und Mortalität einander gegenübergestellt. Die Leistung war generell hoch und dennoch wurden verglichen mit der Kontrollgruppe tendenziell oder sogar signifikant positive Effekte des Insektenmeihls für wichtige Parameter gefunden.

Diese Arbeit zeigt, dass das Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege in dem getesteten Anteil von 10 % unter praktischen Bedingungen in Kreislaufanlagen eingesetzt werden kann, ohne Produktionsperformance einzubüßen.

Zitierweise

Stadtlander T, Deininger K, Sandrock C, Schindler F, Wecker B, Wohlfahrt J, Lemme A, Lambertz C: Larval meal of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) is suitable for feeding whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*) under practical conditions in a modern closed-loop system. Ernährungs Umschau 2025; 72(8): AP44–52.

Open access

The English version of this article is available online: DOI: 10.4455/eu.2025.034

Peer-Review-Verfahren

Manuskript (Original) eingereicht: 04.09.2024; Überarbeitung angenommen: 17.02.2025

Dr. Timo Stadtlander¹, Dr. Christoph Sandrock¹, Jens Wohlfahrt¹

Kristoffer Deininger²

Dr. Franziska Schindler³

Dr. Bert Wecker⁴

Dr. Andreas Lemme⁵

Dr. Christian Lambertz⁶

¹ Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Ackerstr. 113, 5070 Frick, Schweiz

² Oceanloop Munich GmbH, Straßacker 6, 85465 Langenpreising, Deutschland

³ Hermetia Baruth GmbH, An der Birkenpfehlheide 10, 15837 Baruth/Mark, Deutschland

⁴ Oceanloop Kiel GmbH & Co. KG, Bülker Huk, 24229 Strande, Deutschland

⁵ Evonik Operations GmbH, Rodenbacher Chaussee 4, 63457 Hanau, Deutschland

⁶ Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Kasseler Str. 1a, 60486 Frankfurt am Main, Deutschland
christian.lambertz@fibl.org

Einleitung

Die Nutztierhaltung steht aufgrund ihres hohen Ressourcenverbrauchs zunehmend in der Kritik. Primär aufgrund des notwendigen Futtermittelanbaus, des großflächigen Einsatzes von Düngemitteln und daraus resultierenden Klimagasemissionen (CO₂, Methan, Lachgas). Bei Monogastriern, insbesondere Schwein und Geflügel, steht der Einsatz von Sojafuttermitteln als Proteinkomponente im Zentrum der Kritik. In der Aquakultur sind es in erster Linie die steigende Nachfrage nach Fischmehl- und Fischölproduktion und die damit zusammenhängenden Umwelteffekte [1].

Insektenmehle, produziert aus den Larvenstadien verschiedener Insektenarten, könnten hier einen Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit in der Tierproduktion leisten [2, 3]. Insektenlarven ernähren sich in der Natur oftmals von verrottem organischen Material und genau dies macht sie zu einem nachhaltigen Futtermittel, unter der Voraussetzung, dass Restströme aus der Lebensmittelproduktion und Lebensmittelabfälle selbst als Substrat für die Insektenlarven genutzt werden. Durch die Nutzung dieser Substrate können die enthaltenen Nährstoffe durch die Insektenlarven zu wertvollen Futtermitteln veredelt werden (*upcycling*) [2, 4]. Global wird rund ein Drittel aller Lebensmittel weggeworfen (*food waste*) oder geht im Laufe der Produktion verloren (*food loss*) [5]. Die Rückführung dieser Nährstoffe in das Lebensmittelsystem kann die Nachhaltigkeit steigern. Aufgrund der unzureichenden Datenlage und des Sicherheitsprinzips erlaubt die EU derzeit lediglich Insektensubstrate, die bereits Futtermittelqualität aufweisen und somit auch direkt in der Nutztierfütterung oder Aquakultur eingesetzt werden können (VO (EU) 2017/893 vom 24. Mai 2017; VO (EU) 2021/1372 vom 17. August 2021). Potenziell problematische Substrate, z. B. Speiseabfälle aus Restaurants oder Großküchen (*post consumer*), die auch Fleisch oder Fisch enthalten können, sind nicht erlaubt. Ebenso dürfen Exkremente aus der Tierhaltung (z. B. von Geflügel, Schweinen oder Rindern) nicht verwendet werden.

Die in der EU und der Schweiz zugelassenen Insektenarten unterscheiden sich je nach vorgesehenem Verwendungszweck, d. h. Nutzung als Futtermittel oder als Nahrungsmittel. Entsprechend sind Proteinmehle verschiedener Insektenspezies als Futtermittel für die Aquakultur (Fische und Garnelen), Geflügel und Schweine derzeit in der EU zugelassen: von

der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*, engl. *black soldier fly*), der Hausfliege (*Musca domestica*), dem gelben Mehlwurm oder Mehlkäfer (*Tenebrio molitor*), dem Getreideschimmelkäfer (*Alphitobius diaperinus*), dem Heimchen (*Acheta domestica*), der Kurzflügelgrille (*Gryllobius sigillatus*), der Steppengrille (*Gryllus assimilis*), der Wanderheuschrecke (*Locusta migratoria*) und der Seidenraupe (*Bombyx mori*).

International hat sich die Schwarze Soldatenfliege als Futterinsekt als am weitesten und intensivsten produzierte Insektenart durchgesetzt [6]. Dies hat verschiedene Gründe, u. a. wachsen und entwickeln sie sich schneller als viele der anderen Insektenlarven und haben somit deutlich kürzere Produktionszyklen. Zudem können sie ein sehr viel breiteres Spektrum organischer Materialien sehr effizient verwerten als z. B. die Larven des Mehlkäfers.

In der Aquakultur sind die Larven bzw. das Proteinmehl der Schwarzen Soldatenfliege (*black soldier fly larvae*, BSFL) stark etabliert. Hier standen insbesondere die Salmoniden (Lachse und Forellen) im Fokus [7–9]. Andere Fischarten, an denen BSFL-Mehle als Proteinkomponente getestet wurden, schließen Steinbutt [10], Tilapien [11], Europäischer Flussbarsch [12, 13] und Zander [14] ein. In jüngerer Zeit wurden Mehle der Schwarzen Soldatenfliege auch für die Weißbeingarnele unter Laborbedingungen getestet [15–18], jedoch bisher noch nicht unter Praxisbedingungen im Rahmen einer kommerziell betriebenen Shrimpszucht.

Kommerzielle, für die Tierernährung produzierte Insektenmehle sind im Allgemeinen reich an Chitin [19]. Chitin ist ein komplexes Polysaccharid, welches für viele Tiere nur schlecht oder gar nicht verdaulich ist. Insbesondere aquatische Süß- und Meerwassertierarten, die auf ihrer natürlichen Speisekarte entweder Insekten, Insektenlarven oder Zooplankton (insbesondere Kleinkrebse wie Daphnien oder Copepoden) haben, sind besser geeignet, Chitin zu verdauen als z. B. die meisten terrestrischen Nutztiere [20, 21]. Geißelgarnelen, zu denen auch die pazifische Weißbeingarnele (*Penaeus vannamei*) zählt, fressen neben viel Zooplankton v. a. aber auch ihre eigene Exuvie (abgelegte Tierhaut) nach der Häutung. Weißbeingarnelen weisen dementsprechend verstärkte Chitinaseaktivitäten auf, können also Chitin ernährungsphysiologisch besser verwerten als Tierarten ohne großen Insekten- oder Zooplanktonanteil in ihrer Nahrung [21, 22].

Neben dem Chitin bestimmt auch die Aminosäurezusammensetzung der Insektenmehle deren Nährwert. Zum Beispiel zeigt der Vergleich von Fischmehlen mit vergleichbarem Proteingehalt geringere Lysingehalte als BSFL-Mehle. Auch die schwefelhaltigen Aminosäuren fallen geringer aus, während die verzweigtkettigen Aminosäuren Isoleucin, Valin und Leucin höher konzentriert sind [23]. Darüber hinaus können die Proteingehalte und das Aminosäureprofil von BSFL-Mehlen beträchtlich schwanken [24, 25].

Fragestellung

Das Projekt „Nachhaltige und resiliente Kultivierung von Insekten für den innovativen Einsatz in der Futter- und Lebensmittelherstellung“ (reKult4Food) wurde im Rahmen des Innovationsraums NewFoodSystems durchgeführt [26]. In drei Arbeitspaketen wurden für die effiziente Produktion und Nutzung der Schwarzen Soldatenfliege wichtige Fragestellungen hinsichtlich Produktion und Verwertung des BSFL-Mehls adressiert.

In dem hier berichteten Versuch wurde Insektenmehl als Proteinkomponente für die pazifische Weißbeingarnele (*P. vannamei*) unter Praxisbedingungen, d. h. in einer kommerziell betriebenen Kreislaufanlage, in vier zeitlich replizierten Durchgängen von kompletten Produktionszyklen getestet. Während die wissenschaftliche Literatur für die ernährungsphysiologische Eignung von BSFL-Mehl bei verschiedenen Speisefischen, insb. Salmoniden (Lachse und Forellen), Tilapien, Karpfen und Flussbarschen, Geflügel und auch Schweinen sehr umfangreich ist, gibt es bislang nur relativ wenige Studien zu Eignung und empfohlenen Höchstmengen an BSFL-Mehl im Futter für *P. vannamei* und keine für die Garnelenproduktion in Kreislaufanlagen. Die Produktion von *P. vannamei* ist in Europa eine Nischenproduktion, die aber hochwertige und hochpreisige Meeresfrüchte lokal bereitstellen kann und damit lange Transportwege sowie energieintensive Kühlketten vermeidet.

Im folgenden Artikel wird der Fragestellung nachgegangen, wie gut ein kommerziell extrudiertes Versuchsfutter mit 10 % BSFL-Mehl als Proteinkomponente für *P. vannamei* gegenüber einem unter gleichen Bedingungen hergestellten und langfristig eingesetzten Standard- bzw. Kontrollfutter auf Fischmehlbasis abschneidet.

Methodik

Fütterungsversuche im laufenden Produktionsbetrieb zu integrieren und mit wissenschaftlich notwendiger Genauigkeit durchzuführen, stellt immer eine gewisse Herausforderung dar. Die Garnelenzucht Oceanloop Munich (zu Beginn des Projektes noch „CrustaNova“) produziert in geschlossenen Kreislaufanlagen pazifische Weißbeingarnelen, die weltweit mengenmäßig am meisten produzierte Garnele [27]. In der Anlage zirkuliert das Haltungswasser kontinuierlich und wird durch die Wasseraufbereitung, bestehend aus Trommelfilter, Abschäumung, Biofilter, Denitrifikationsreaktor und Entgasung, gereinigt, wodurch eine Wasseraustauschrate von nur 1–3 % pro Tag ermöglicht wird. Darüber hinaus existieren weitere Eintragssysteme für technischen Sauerstoff, Pufferlösungen und Wärme, um das Haltungswasser optimal auf die Bedürfnisse der Garnelen einzustellen. Der Sauerstoffgehalt in den Mastbecken beträgt 5–7 mg/L, der pH-Wert 7,4–8,3 und die Temperatur 29–31 °C. Die Fütterung erfolgt stündlich über Futterautomaten und orientiert sich an einem Futtermodell. Die Futtermenge wird täglich nach Bedarf angepasst, sodass Futterreste in den Becken zu jeder Zeit vermieden werden. Kommerzielle Anlagen sind nicht auf möglichst viele Versuchsreplikate und direkt parallele Produktion ausgerichtet. In der Anlage sind aber geeignete Kapazitäten vorhanden, um Kontroll- und Versuchsfutter parallel zu füttern. Daher wurden vier zeitliche Replikate durchgeführt. In den Versuchsfuttermischungen wurden 10 % des Fischmehls durch BSFL-Mehl ersetzt, ohne weitere Anpassungen im Nährstoffprofil vorzunehmen. Die Zusammensetzung der Kontrollfuttermischung ist in • Tabelle 1 dargestellt. Im Versuchsfutter hatte das Fischmehl nach dem teilweisen Austausch mit dem BSFL-Mehl noch einen Anteil von 11 % (110 g/kg). Zudem wurde der Gehalt an Krillmehl erhöht, um die Differenz des Proteingehalts von Fischmehl und BSFL-Mehl zu kompensieren.

Daraus ergab sich, dass zwar die Rohproteingehalte annähernd gleich blieben, die Versuchsfutter aber z. B. 0,10–0,13 %-Punkte niedrigere Methionin- + Cystein-, 0,07–0,08 %-Punkte niedrigere Threonin-, 0,11–0,14 %-Punkte niedrigere Arginin-, 0,05–0,07 %-Punkte niedrigere Valin- + Iso-leucin- und 0,19 %-Punkte niedrigere Leucin-gehalte aufwiesen, während Lysin nur marginal betroffen war. Innerhalb der essenziellen Aminosäuren lagen nur die Tyrosingehalte um 0,07 % höher. Diese Effekte sind hauptsächlich damit zu erklären, dass ein höherer Teil des Rohproteins im BSFL-Futter durch Chitin im Larvenmehl zu erklären ist, während die Aminosäurekonzentration geringer ist. Beide Futter wurden in zwei verschiedenen Pelletgrößen (1,6 und 2,2 mm Durchmesser) extrudiert, um der zunehmenden Größe der Garnelen gerecht zu werden.

Nach ihrer Quarantänezeit wurden je 12500 Garnelen (Postlarven im Alter von 10 Tagen) mit gleicher Größe und gleichem Gewicht (im Schnitt über alle Durchgänge 3,74 mg) in die jeweiligen Abteile eingesetzt. Verfüttert wurden das normal genutzte Standardfutter als Kontrollfutter und das Versuchsfutter mit gleicher ernährungsphysiologischer Zusammensetzung. Die Fütterungsmenge betrug zu Beginn der Versuche 5,9 % der Biomasse und am Ende 3,8 % der Biomasse. Die Fütterungsdauer (Masttage) richtete sich nach der Größe der Garnelen und den betriebswirtschaftlichen Umständen. Am Ende der Mastperiode wurden beide Abteile parallel abgefischt, sodass die Anzahl Masttage identisch war.

Komponente ^a	Kontrollfutter [g/kg]
Weizennachmehl ^b	320
Fischmehl	280
Triticale	50
Rapsschrot	50
Sonnenblumenschrot	50
Krillmehl	50
Weizenkeime	50
Rapssaar	40
Futterkalk	35
Fischöl	25
Lecithin	5

Tab. 1: Zusammensetzung der Kontrollfuttermischungen

^a Vitaminpremix und Spezialkomponenten sind nicht gelistet; BSFL-Versuchsfutter enthielt 110 g/kg Fischmehl und 100 g/kg BSFL-Mehl.

^b Nebenerzeugnis, das bei der Herstellung von Mehl aus gereinigtem Weizen entsteht.

Die Nährwertangaben für die beiden Pelletgrößen 1,6 und 2,2 mm Durchmesser sind in ♦ Tabelle 2 dargestellt. Die Nährwertangaben unterscheiden sich leicht zwischen beiden Pelletgrößen, wobei keine Unterschiede zwischen Kontroll- und Versuchsfutter vorlagen.

Zu Beginn eines jeden Durchgangs wurden ca. 200 g Garnelen als Initialgruppe für die spätere Aminosäurebestimmung gefangen und eingefroren.

Die Mastdauer pro Durchgang betrug im Mittel $97 \pm 8,5$ Tage mit einer Spannweite von 83–105 Tagen. In regelmäßigen Abständen (alle 1–2 Wochen) wurden Stichproben aus jeder Gruppe gewogen und anschließend die Anzahl Tiere ausgezählt, um das Wachstum zu dokumentieren.

Am Ende eines jeden Durchgangs wurden jeweils 1 kg Garnelen aus dem Kontroll- und dem Versuchsbecken gefangen und für die spätere Aminosäurebestimmung eingefroren. Am Ende des Versuchs wurden sämtliche Garnelen aus den Initial-, Kontroll- und Versuchsgruppen gefriergetrocknet und vermahlen. Anschließend wurden die Aminosäurezusammensetzungen aller Kontroll- und Versuchsfutter in beiden Pelletgrößen im Duplikat und aller beprobten Garnelen (Initial-, Kontroll- und Versuchsgruppen) in jeweils vier Replikaten bei Evonik in Essen bestimmt.

Die erhobenen Daten (Wachstum, Futtermittelverwertung und Mortalität) wurden genutzt, um Produktivitätskennzahlen und somit die Performance der beiden Futter zu berechnen. Diese beinhalteten u. a. die folgenden Kennzahlen:

Wachstum

In regelmäßigen, allerdings in den vier Durchgängen nicht zu den gleichen Zeitpunkten durchgeführten, Wägungen wurden zwischen 3 und 126 Tiere (im Mittel 23 Tiere) pro Wägung gewogen. Bei kleineren Tieren war die Anzahl entsprechend größer als bei größeren Tieren. Es gab mindestens 3, maximal 6 Wägungen pro Durchgang. Die Tiere wurden als Gruppe gefangen und gewogen. Bevor sie zurück in ihre jeweiligen Becken gebracht wurden, fand eine Zählung statt, um das durchschnittliche individuelle Körpergewicht der Garnelen errechnen zu können.

Da die Garnelen aller vier Durchgänge nicht nur an unterschiedlichen Tagen gewogen wurden, sondern auch die Mastdauer unterschiedlich lang war, werden für den Vergleich des Wachstums die spezifische Wachstumsrate (SWR, %/Tag) und der durchschnittliche

	Durchmesser: 1,6 mm	Durchmesser: 2,2 mm
Rohprotein (g/kg)	400	360
Rohfett (g/kg)	100	95
Rohasche (g/kg)	103	100
Rohfaser (g/kg)	25	30
Bruttoenergie (MJ/kg)	19,3	18,0

Tab. 2: Nährwertangaben für die beiden Futtergrößen (1,6 und 2,2 mm) des Kontroll- und Versuchsfutters

Zuwachs (g/Tag) genutzt und die Wiegedaten beider Fütterungsgruppen in einem gemischten statistischen Modell verglichen.

SWR:

$$\frac{\ln \text{Endgewicht (g)} - \ln \text{Startgewicht (g)}}{\text{Anzahl Masttage}} \times 100$$

Futtermittelverwertung

Die Futtermittelverwertung (*feed conversion ratio*) wurde für jede Behandlung (Kontrolle und BSFL) über die vier Durchgänge gemittelt. Sie wurde berechnet über den gesamten Futterverbrauch (in g) und den gesamten Biomassezuwachs bzw. die finale Ernte der kontrollgefütterten Garnelen und der BSFL-gefütterten Garnelen.

Mortalität

Für die Berechnung der Mortalität wurde die Anzahl der eingesetzten (ermittelt über durchschnittliche Gewichte von Stichprobenzählungen und gesamt eingesetztes Gewicht der Besatztiere bzw. PLs) und abgefischten bzw. geernteten Garnelen (ermittelt über gesamte abgefischte Biomasse und Stichprobenwägungen zur Ermittlung des durchschnittlichen Individualgewichts) bzw. die Reduktion der Tierzahl von Anfang bis Ende genutzt (Anzahl Tiere Ende/Anzahl Tiere Anfang * 100).

Statistik

Der Wachstumsverlauf der beiden Fütterungsgruppen über die Zeit wurde mithilfe sukzessiver Modellvereinfachungen untersucht, die sich auf ein lineares gemischtes Modell bezogen, welche die Interaktion zwischen der Fütterungsgruppe und einer nicht-linearen Funktion zur Modellierung des Gewichts über die Zeit (*natural splines*) als fixe Effekte beinhalteten sowie die aufeinanderfolgenden Versuchswiederholungen als Zufallsfaktor. Inwiefern das komplexe oder die vereinfachten Modelle die Daten besser erklären, wurde vergleichend analysiert. Für die Zielvariablen Erntegewicht, Futtermittelverwertung, spezifische Wachstumsrate, Mortalität und Proteingehalt der Garnelen wurden statistische Vergleiche basierend auf gemischten Modellen angewendet, wobei die Fütterungsgruppe als fixer Effekt und die Versuchswiederholungen als zufälliger Faktor berücksichtigt wurden. Sämtliche Modelldiagnostiken wurden visuell überprüft. Die Anteile der einzelnen Aminosäuren am Proteingehalt wurden sowohl zwischen den Fütterungsgruppen als auch in Bezug auf die Zusammensetzung der anfangs eingesetzten Garnelen mittels einfaktorieller Varianzanalyse und anschließend post-hoc-Vergleich untersucht.

Ergebnisse

Die vergleichende Modellanalyse zum Wachstumsverlauf ergab, dass der Effekt der Fütterungsgruppe (Kontrolle vs. BSFL) vernachlässigbar war (sowohl interaktiv als auch additiv) und die zeitliche Funktion allein die Daten hinreichend und signifikant gegenüber einem Null-Modell erklärt (♦ Abbildung 1). Über die vier Durchgänge wurde kein Effekt der Fütterung auf die Mortalität gefunden ($p = 0,229$). Während sich für die Futterverwertung nur ein Trend zugunsten der BSFL-gefütterten Gruppe ergab ($p = 0,109$), wurde für die spezifische Wachstumsrate pro Tag ein signifikant positiver Effekt ($p = 0,036$) festgestellt. Die Erntegewichte der BSFL-gefütterten Garnelen waren signifikant höher als die der Kontrollgruppe ($p = 0,003$), die Proteingehalte der geernteten Garnelen beider Gruppen unterschieden sich jedoch nicht ($p = 0,153$). Die entsprechenden Daten sind in ♦ Tabelle 3 dargestellt. Die gesamte Mastdauer betrug zwischen 83 und 105 Tage und im Mittel

Parameter	Kontrolle	BSFL
individuelles Endgewicht (g)	22,4 ± 4,4	24,0 ± 4,2
Mortalität (%)	53 ± 20	51 ± 19
Futterverwertung (g Futter/g Zuwachs)	1,56 ± 0,15	1,52 ± 0,18
SWR (%/Tag)	9,16 ± 0,25	9,24 ± 0,25
Gewichtszunahme (g/Tag)	0,23 ± 0,029	0,25 ± 0,026

Tab. 3: **Übersicht über die wichtigsten produktionsrelevanten Parameter**
Im individuellen Endgewicht sind nur die Bereiche angegeben und es wurde wegen der verschiedenen Mastdauern und damit uneinheitlichen Abfischzeitpunkte kein Mittelwert gebildet. Bei Mortalität, Futterverwertung, SWR und Gewichtszunahme handelt es sich um Mittelwerte ± Standardabweichung (N = 4).
SWR: spezifische Wachstumsrate

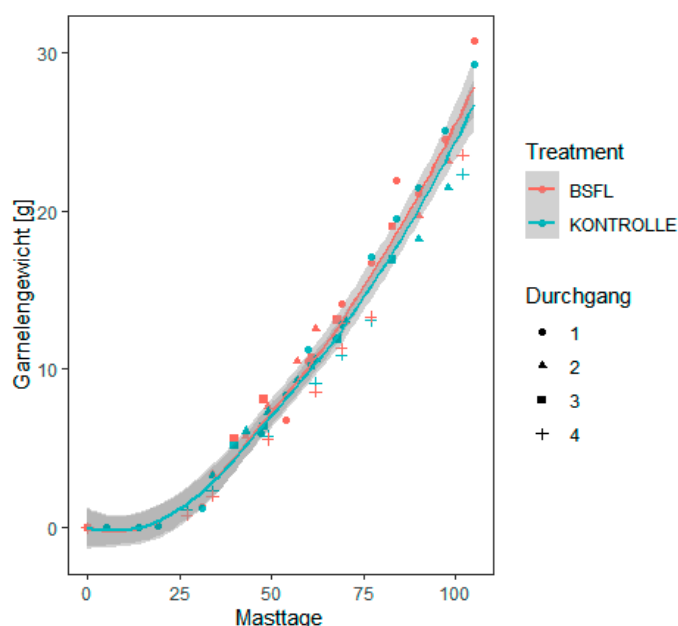


Abb. 1: **Darstellung des Wachstumsverlaufs der BSFL-gefütterten (rot) gegenüber den kontrollgefütterten (grün) Garnelen über die Zeit in den vier einzelnen Durchgängen (Symbole) (eigene Darstellung)**
BSFL: *black soldier fly larvae*

97,8 Tage. Das Anfangsgewicht ist bei beiden Gruppen identisch, da sie am gleichen Tag in die Becken eingesetzt wurden und entsprechend gleich schwer waren. Die Mastdauer ist ebenfalls identisch für beide Gruppen, da sie am gleichen Tag abgefischt wurden.

Die Aminosäuregehalte in den Versuchsfuttermischungen waren geringer als im Kontrollfutter (♦ Tabelle 4). In den Aminosäureprofilen der abgefischten Shrimps zeigte sich, dass viele BSFL-gefütterte Tiere höhere Aminosäuregehalte in der Trockensubstanz aufwiesen. Bei Lysin, Arginin, Leucin und Glycin waren die Gehalte am Ende der Mast bei BSFL-gefütterten Shrimps signifikant ($p < 0,05$) höher als bei den Anfangstieren und den kontrollgefütterten Tieren. Bei Tyrosin wiesen sowohl die Kontroll- als auch die BSFL-gefütterten Tiere einen signifikant höheren Wert auf als die Anfangstiere (♦ Tabelle 5).

Diskussion

Die allgemeine Produktionsleistung unterschied sich nicht zwischen den beiden Gruppen (Mortalität, Futterverwertung) bzw. war in der BSFL-Gruppe verbessert (Wachstum). Im Vergleich zu bislang publizierten Ergebnissen zur Fütterung von *P. vannamei* aus kontrollierten Laborversuchen [15–18] schneiden die Ergebnisse dieses Praxisversuchs ähnlich ab. Die Mortalität war in beiden Gruppen sehr ähnlich, im Mittel aber eher im oberen Bereich der von publizierten Studien berichteten Mortalitäten. Überlebensraten ($100\% - \text{Überlebensrate} = \text{Mortalität}$) von 86,7–95,6 % wurden von Cummins et al. [15] berichtet während Chen et al. [16] sogar noch höhere Überlebensraten von über 95 % beobachtete. Nur He und Kollegen [18] berichteten über ähnliche Mortalitäten (26,7–62,7 %), wie sie in dieser Studie beobachtet wurden. Dort waren die Überlebensraten in der Kontrolle und in einer Gruppe mit geringem Anteil an BSFL im Futter (25 %) deutlich besser im Vergleich zu 100-prozentigem Fischmehlersatz durch BSFL, bei dem nur 26,7 % der Garnelen überlebten [18]. Wichtig zu bedenken ist hier jedoch noch die Mastdauer. Keine der oben genannten Studien hat den kompletten Mastzyklus von Besatzgarnelen bis zum Abfischen der vermarktungsfähigen Garnelen umfasst, sondern sie dauerten nur zwischen 4 [17] und 9 Wochen [15]. Betrachtet man die Mortalität

	Kontrolle (1,6 mm)	Kontrolle (2,2 mm)	BSFL-Futter (1,6 mm)	BSFL-Futter (2,2 mm)
Rohprotein	39,7	39,2	38,9	38,3
Methionin	1,05	1,04	1,01	0,97
Cystein	0,54	0,54	0,49	0,48
Methionin + Cystein	1,59	1,58	1,49	1,45
Lysin	2,26	2,26	2,29	2,23
Threonin	1,51	1,50	1,45	1,42
Tryptophan	0,45	0,45	0,46	0,46
Arginin	2,22	2,26	2,13	2,11
Isoleucin	1,51	1,51	1,47	1,44
Leucin	2,70	2,67	2,52	2,47
Valin	1,92	1,90	1,88	1,84
Histidin	1,05	1,05	1,02	0,99
Phenylalanin	1,56	1,56	1,47	1,46
Tyrosin	1,14	1,16	1,21	1,22
Glycin	2,28	2,23	2,14	2,07
Serin	1,65	1,64	1,52	1,51
Prolin	2,01	1,98	1,93	1,93
Alanin	2,10	2,06	2,07	2,02
Asparagin	3,13	3,19	3,04	3,02
Glutamin	5,57	5,67	5,37	5,36

Tab. 4: **Rohproteingehalt und Aminosäureprofile der Kontroll- und BSFL-Versuchsfuttermischungen**
jeweils für die beiden Pelletgrößen 1,6 mm und 2,2 mm (Angaben in %)
BSFL: *black soldier fly larvae*

ten der hier vorliegenden Studie unter Praxisbedingungen, können sie als gut eingeschätzt werden, auch wenn in einem der Durchgänge eine erhöhte Sterberate festgestellt wurde. Zwischen der Kontrolle und dem BSFL-Futter wurde kein Unterschied festgestellt.

Die spezifische Wachstumsrate (SWR, %/Tag) ist über das gesamte Experiment, unabhängig von der Gruppe oder einzelnen Durchgängen gemittelt, sehr hoch (Kontrolle: $9,16 \pm 0,25$ %/Tag; BSFL: $9,24 \pm 0,25$ %/Tag). Sie befindet sich im Vergleich zu anderen Studien deutlich oberhalb der jeweilig publizierten Bereiche (3,06–4,07 %/Tag [14]; 4,15–4,34 %/Tag [16]; 6,01–7,53 %/Tag [17]) und kann somit, besonders betrachtet über den gesamten Produktionszeitraum, als sehr gut bewertet werden. Dies kann v. a. mit der verwendeten Genetik begründet werden, die sich durch ein sehr hohes Wachstumspotenzial auszeichnet. Die SWR nahm bei Richardson et al. [18] mit zunehmendem Anteil an BSFL-Mehl sogar signifikant zu und es wurde kein Plateau mit wieder abnehmenden Werten im Wachstum beobachtet, wie bei den übrigen Studien, welche klare negative Effekte zeigten, wenn der Anteil an BSFL-Mehl im Futter zu hoch war oder gar zu 100 % BSF-Larven verfüttert wur-

den [18]. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass die Larven frisch und nicht wie im vorliegenden Versuch in extrudierter Form verfüttert wurden.

Ähnlich verhält es sich mit den in diesem Experiment beobachteten Futterverwertungen. Beide Gruppen zeigten sehr nahe beieinander liegende Futterverwertungen mit 1,56 g Futter pro g Zuwachs in der Kontrolle und 1,52 g Futter pro g Zuwachs in der BSFL-Versuchsgruppe. Dies liegt etwas unterhalb der für 2020 prognostizierten globalen Futterverwertung für Garnelen von 1,6 [28]. Im Vergleich zu Studien mit BSFL-Mehl im Futter von *P. vannamei* ist die Futterverwertung aber deutlich niedriger als die von Cummins et al. [15] berichteten Futterverwertungen von 2,01 (7 % BSFL-Mehl) bis hin zu 4,51 (36 % BSFL-Mehl). Ähnliche, aber doch leicht höhere Futterverwertungen im Vergleich zu unserer Studie wurden von Chen et al. [16] erreicht und schwankten zwischen 1,55 bei 20 % Fischmehlproteinersatz durch BSFL-Protein und 1,7 bei 30 % Fischmehlproteinersatz durch BSFL-Protein. Etwas niedrigere Futterverwertungen werden von Richardson et al. [17] berichtet. Diese sanken mit zunehmendem BSFL-Anteil im Futter von 1,42 auf 1,23 und lagen damit signifikant unter der Kontrolle (1,70) [17].

Eine niedrige Futterverwertung hat einen sehr direkten Einfluss auf die Nachhaltigkeit, sowohl auf die finanzielle als auch die ökologische Nachhaltigkeit. Die Futterverwertung von 1,6 auf 1,2 zu senken bedeutet direkt eine Reduzierung der Futterkosten um 25 % bei identischem Futterpreis und auch eine direkte Reduktion von Nährstoffemissionen (z. B. Stickstoff und Phosphor), die jedoch zusätzlich von der Verdaulichkeit des Futters und der Nähr-

	Initial	Kontrolle	BSFL
Rohprotein	71,9 ± 0,91	75,7 ± 2,63	77,55 ± 2,32
Methionin	1,58 ± 0,04	1,53 ± 0,04	1,68 ± 0,10
Cystein	0,79 ± 0,02	0,76 ± 0,02	0,83 ± 0,05
Methionin + Cystein	2,36 ± 0,06	2,30 ± 0,06	2,51 ± 0,15
Lysin	4,72 ± 0,09 ^a	4,78 ± 0,09 ^a	5,10 ± 0,19 ^b
Threonin	2,56 ± 0,05	2,50 ± 0,05	2,67 ± 0,16
Tryptophan	0,75 ± 0,02	0,76 ± 0,01	0,78 ± 0,01
Arginin	5,38 ± 0,17 ^a	5,62 ± 0,08 ^a	6,13 ± 0,32 ^b
Isoleucin	2,69 ± 0,06	2,64 ± 0,05	2,85 ± 0,16
Leucin	4,65 ± 0,09 ^a	4,68 ± 0,07 ^a	4,97 ± 0,21 ^b
Valin	3,10 ± 0,06	3,03 ± 0,06	3,22 ± 0,19
Histidin	1,60 ± 0,05	1,52 ± 0,03	1,59 ± 0,09
Phenylalanin	2,89 ± 0,07	2,82 ± 0,06	2,99 ± 0,17
Tyrosin	2,32 ± 0,06 ^a	2,64 ± 0,06 ^b	2,63 ± 0,08 ^b
Glycin	4,37 ± 0,17 ^a	4,83 ± 0,27 ^a	5,53 ± 0,25 ^b
Serin	2,65 ± 0,05	2,62 ± 0,04	2,77 ± 0,16
Prolin	4,38 ± 0,21	4,66 ± 0,24	4,66 ± 0,36
Alanin	4,24 ± 0,16 ^{a, b}	4,13 ± 0,13 ^a	4,52 ± 0,14 ^b
Asparagin	6,59 ± 0,13	6,49 ± 0,13	6,98 ± 0,39
Glutamin	9,83 ± 0,16	9,49 ± 0,21	10,3 ± 0,58

Tab. 5: **Rohproteingehalt und Aminosäureprofile der Shrimps** jeweils vor Fütterungsbeginn (Initial) und am Ende nach Fütterung und Abfischen der Kontroll- und BSFL-gefütterten Tiere (N = 4; Angaben in %)
 BSFL: *black soldier fly larvae*
 ^{a, b} signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %)

stoffretention im Tier beeinflusst wird. Generell gelten Tiere niedrigerer trophischer Stufe (also z. B. herbivore Tiere) als finanziell und ökologisch nachhaltiger und stabiler produzierbar, aber nicht unbedingt profitbringender gegenüber Tieren höherer trophischer Stufen (z. B. karnivore Tiere) [29]. Die pazifischen Weißbeingarnelen sind mit einer relativ niedrigen trophischen Stufe von 2,5



Abb. 2: **Fressende Garnele (*P. vannamei*) in Aquarien-Kreislaufanlage an der Universität Hohenheim**

[29] eher nachhaltig in der Produktion. Andererseits sind die Futtermittelverwertungen aufgrund der Art und Weise der Futteraufnahme bei Garnelen höher als bei Fischen. Fische schlucken Pellets meist als Ganzes herunter und eine eventuelle mechanische Zerkleinerung findet im Schlund oder oft auch gar nicht statt. Garnelen hingegen „knabbern“ an den Futterpellets, weswegen es bei ihnen zu einem sogenannten „sloppy feeding“ kommt, wobei es, je nach Pelletstabilität und Vermahlungsgrad der Futterkomponenten (je feiner, desto stabiler das Pellet), zu Partikelbildung und entsprechendem Abrieb kommt (♦ Abbildung 2). Schlechte mechanische Pelleteigenschaften erhöhen somit nicht nur die Futterkosten durch weniger Futteraufnahme bzw. mehr Abrieb, sondern steigern auch die Notwendigkeit, das Wasser in der Kreislaufanlage mit Trommel- und Biofilter aufzubereiten. Im Versuch wurden die Pelleteigenschaften nicht untersucht; Beobachtungen an den Becken legen aber nahe, dass es zwischen den beiden Futtervarianten keine grundlegenden Unterschiede gab.

Schlussfolgerung

Insgesamt betrachtet sind die Ergebnisse dieses Praxisversuchs sehr vielversprechend, denn sie zeigen, dass das hier eingesetzte BSFL-Mehl einen Teil des Fischmehls ohne Leistungseinbußen ersetzen kann. Allerdings sind die Kosten für Insektenmehle derzeit noch höher als diejenigen anderer Proteinkomponenten wie Fisch-, Krill und Sojamehl.

Andererseits sind in den „traditionellen“ Proteinmehlen die externen Kosten (Umweltschäden der Herstellung) nicht in den Preis integriert.

Globale Fischmehlpreise liegen zwar mit rund 1700 US-\$ je metrischer Tonne (unterschiedlich je nach Qualität und Herkunft, Stand 2. Juli 2024) ebenfalls unter denen von Insektenmehl, jedoch gibt es viel Kritik an der Nutzung von Fischmehl als Tierfutter. Ein Großteil (90 %) des global direkt für die Herstellung von Fischmehl gefangenen Fisches besitzt Lebensmittel- oder erstklassige Lebensmittelqualität [30] und trägt dadurch ebenfalls zu der Konkurrenz zwischen Futter- und Lebensmitteln bei.

Lokal oder regional produzierte Insektenmehle könnten also einen Beitrag zu einer nachhaltigen Produktion tierischer Lebensmittel liefern. Derzeit ist die Datenlage zur Nachhaltigkeit

aber noch unklar, obwohl eine neuere Übersichtsstudie über Insektenmehle als Fischfuttermittelkomponente auf Nachteile hinsichtlich der Nachhaltigkeit hindeutet [31]. Eine mögliche Steigerung der Nachhaltigkeit könnte dadurch erreicht werden, dass weitere Restströme bzw. Lebensmittelabfälle als Futtersubstrat für Insekten erlaubt würden, vorausgesetzt deren Unbedenklichkeit ist nachgewiesen.

Förderung

Beitrag im Rahmen der Publikationsreihe des Innovationsraums NewFoodSystems – Fördermaßnahme „Innovationsräume Bioökonomie“ im Rahmen der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR).



Danksagung

Die Autor*innen danken dem Innovationsraum NewFoodSystems für die Förderung des Vorhabens reKult4Food (FKZ: 031B1206A). Mehr Informationen unter www.newfoodsystems.de

Angaben zu Interessenkonflikten und zum Einsatz von KI
Franziska Schindler ist bei der Hermetia Baruth GmbH beschäftigt, die Insektenproteine herstellt und vertreibt. Das Unternehmen ist Partner des Forschungsprojekts, finanziert diesen Artikel aber nicht. Die weiteren Autor*innen erklären, dass kein Interessenkonflikt besteht und für die Erstellung des Manuskripts keine KI eingesetzt wurde.

Literatur

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): The state of world fisheries and aquaculture 2022. Towards blue transformation. Rome: FAO 2022. DOI: 10.4060/cc0461en.
2. Heuel M, Sandrock C, Leiber F, et al.: Black soldier fly larvae meal and fat as a replacement for soybeans in organic broiler diets: effects on performance, body N retention, carcass and meat quality. *Br Poult Sci* 2022; 63(5): 650–61.
3. Gasco L, Renna M, Odon SB, Far AR, El Deen SN, Veldkamp T: Insect meals in a circular economy and applications in monogastric diets. *Anim Front* 2023; 13(4): 81–90. DOI: 10.1093/af/vfad016.
4. Newton GL, Booram CV, Barker RW, Hale OM: Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. *J Anim Sci* 1977; 44: 395–400.
5. Gustavsson J, Cederberg C, Sonesson U: Global food losses and food waste — extent, causes and prevention. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) 2011.
6. Kaya C, Generalovic TN, Ståhl G, et al.: Global population genetic structure and demographic trajectories of the black soldier fly, *Hermetia illucens*. *BMC Biology* 2021; 19(1): 94. DOI: 10.1186/s12915-021-01029-w.
7. St.-Hilaire S, Sheppard C, Tomberlin JK, et al.: Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J World Aquac Soc* 2007; 38: 59–67.
8. Lock EJ, Arsiwalla T, Waagbø R: Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquac Nutr* 2015; 22: 1202–13. DOI: 10.1111/anu.12343.
9. Stadlander T, Stamer A, Buser A, Wohlfahrt J, Leiber F, Sandrock C: *Hermetia illucens* meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm. *J Insects Food Feed* 2017; 3: 165–75. DOI: 10.3920/JIFF2016.0056.
10. Kroeckel S, Harjes A-GE, Roth I, et al.: When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae-meal of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) as fishmeal substitute – growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 2012; 364–5: 345–52. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.08.041.
11. Devic E, Leschen W, Murray F, Little D: Growth performance, feed utilization and body composition of advanced nursing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal. *Aquac Nutr* 2016; 24(1), 416–23.
12. Stejskal V, Tran HQ, Prokešová M, et al.: Partially defatted *Hermetia illucens* larva meal in diet of Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) juveniles. *Animals* 2020; 10: 1876. DOI: 10.3390/ani10101876.
13. Tran HQ, Nguyen TT, Prokešová MD, et al.: Insight into bioavailability of various insect meals for European perch (*Perca fluviatilis*): a nutritional and stable isotopic evaluation. *Aquaculture* 2023; 563: 738912. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.738912.
14. Tran HQ, Prokešová M, Zare M, et al.: How does pikeperch *Sander lucioperca* respond to dietary insect meal *Hermetia illucens*? Investigation on gut microbiota, histomorphology, and antioxidant biomarkers. *Front Mar Sci* 2021; 8: 680942. DOI: 10.3389/fmars.2021.680942.
15. Cummins VC Jr, Rawles SD, Thompson KR, et al.: Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture* 2017; 473: 337–44. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.02.022.
16. Chen Y, Chi S, Zhang S, et al.: Evaluation of the dietary black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) on growth performance, intestinal health, and disease resistance to *Vibrio parahaemolyticus* of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Front Mar Sci* 2021; 8: 706463. DOI: 10.3389/fmars.2021.706463.
17. Richardson A, Dantas-Lima J, Lefranc M, Walraven M: Effect of a black soldier fly ingredient on the growth performance and disease resistance of juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Animals* 2021; 11: 1450. DOI: 10.3390/ani11051450.
18. He Y, Liu X, Zhang N, et al.: Replacement of commercial feed with fresh black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Nutrition* 2022. DOI: 10.1155/2022/9130400.
19. Soetemans L, Uytendaele M, Bastiaens L: Characteristics of chitin extracted from black soldier fly in different life stages. *Int J Biol Macromol* 2020; 165: 3206–14. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.11.041.
20. Eggink KM, Pedersen PB, Lund I, Dalsgaard J: Chitin digestibility and intestinal exochitinase activity in Nile tilapia and rainbow trout fed different black soldier fly larvae meal size fractions. *Aquac Res* 2022; 53: 5536–46. DOI: 10.1111/are.16035.



21. Clark DJ, Lawrence AL, Swakon DHD: Apparent chitin digestibility in penaeid shrimp. *Aquaculture* 1993; 109: 51–7.
22. Ikeda M, Kakizaki H, Matsumiya M: Biochemistry of fish stomach chitinase. *Int J Biol Macromol* 2017; 104: 1672–81.
23. Evonik Operations GmbH: AMINODat 6.3 – Feed Ingredient Nutrient Compendium 2024.
24. Sandrock C, Leupi S, Wohlfahrt J, et al.: Genotype-by-diet interactions for larval performance and body composition traits in the black soldier fly, *Hermetia illucens*. *Insects* 13 (2022): 424.
25. Lemme A, Channarayapatna G, Jayaraman B: Protein quality of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). In: *Proceedings of the Insects to Feed the World*. Singapore, 19–22 June 2024.
26. Fink L, Bunzel D, Horn J, Eitzbach L, Daniel H, Schweiggert-Weisz U, Kulling SE: Der Innovationsraum NewFoodSystems und die Transformation unserer Ernährungs- und Lebensmittelsysteme. *Ernährungs Umschau* 2024; 71(9): M521–9. DOI: 10.4455/eu.2024.032.
27. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): *The state of world fisheries and aquaculture 2024. Blue Transformation in action*. Rome: FAO 2024. DOI: 10.4060/cd0683en.
28. Tacon AGJ, Metian M: Feed matters: satisfying the feed demand of aquaculture. *Rev Fish Sci Aquac* 2015; 23: 1–10. DOI: 10.1080/23308249.2014.987209.
29. Neori A, Nobre AM: Relationship between trophic level and economics in aquaculture. *Aquacult Econ Manag* 2012; 16: 40–67. DOI: 10.1080/13657305.2012.649046.
30. Cashion T, Le Manach F, Zeller D, Pauly D: Most fish destined for fishmeal production are food-grade fish. *Fish* 2017; 18: 837–44. DOI: 10.1111/faf.12209.
31. Tran HQ, Doan HV, Stejskal V: Environmental consequences of using insect meal as an ingredient in aquafeeds: a system review. *Rev Aquac* 2021; 14(1), 237–51. DOI: 10.1111/raq.12595.