

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Zuwendungsempfänger:

Oceanloop Munich GmbH

**Innovationsraum: NewFoodSystems – reKultI4Food –
Umsetzungsphase, TP A**

Dr. Fabian Riedel

FKZ: 031B1206G

«Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt unter dem Förderkennzeichen 031B1206G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Autor.»

Nachhaltige und resiliente Kultivierung von Insekten für den innovativen Einsatz in der Futter- und Lebensmittelherstellung (reKulti4Food)

Förderkennzeichen 31B1206G

Teil I – Kurzbericht

Im Projekt reKulti4Food war die Oceanloop Munich GmbH in einem Teilprojekt beteiligt, in dem Insektenmehl der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) als Proteinkomponente für die pazifische Weißbeingarnele (*Penaeus. vannamei*) unter Praxisbedingungen, d. h. in einer kommerziell betriebenen Kreislaufanlage getestet wurde. Ziel war es zu untersuchen, inwieweit der Einsatz von 10% Insektenmehl der Schwarzen Soldatenfliege als Fischmehlersatz und Proteinkomponente für *P. vannamei* gegenüber einem Kontrollfutter auf Fischmehlbasis abschneidet.

Der Einsatz des Insektenmehls wurde in vier zeitlich wiederholten, kompletten Produktionszyklen untersucht. Während die ernährungsphysiologische Eignung von Insektenmehl der Schwarzen Soldatenfliege bei verschiedenen Speisefischen, insbesondere Salmoniden (Lachse und Forellen), Tilapien, Karpfen und Flussbarsche, Geflügel und auch Schweinen bereits umfangreich untersucht wurde, gibt es bislang nur relativ wenige Studien zu Eignung und empfohlenen Höchstmengen an Insektenmehl 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.

Für die Versuche wurden jeweils 12.500 Garnelen in die beiden Versuchsgruppen eingeteilt. Die Mastdauer pro Durchgang betrug im Mittel $97 \pm 8,5$ Tage mit einer Spannbreite von 83–105 Tagen. Der Wachstumsverlauf sowie die Mortalität zwischen den beiden Fütterungsvarianten unterschied sich über die vier Durchgänge nicht. Während sich für die Futterverwertung nur ein Trend zugunsten der Insektenmehl-gefütterten Gruppe ergab, wurde für die spezifische Wachstumsrate pro Tag ein signifikant positiver Effekt festgestellt. Die Erntegewichte der Insektenmehl-gefütterten Garnelen waren signifikant höher als die der

Kontrollgruppe, die Proteingehalte der geernteten Garnelen beider Gruppen unterschieden sich jedoch nicht.

Die Aminosäuregehalte in den Versuchsfuttermischungen waren geringer als im Kontrollfutter. In den Aminosäureprofilen der abgefischten Shrimps zeigte sich, dass die Insektenmehl-gefütterten Tiere höhere Aminosäuregehalte in der Trockensubstanz aufwiesen. Für die Aminosäuren Lysin, Arginin, Leucin und Glycin waren die Gehalte am Ende der Mast bei Insektenmehl-gefütterten Shrimps signifikant höher als bei den Tieren zu Versuchsbeginn und den kontrollgefütterten Tieren.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse dieses Praxisversuchs, dass das hier eingesetzte Insektenmehl der Schwarzen Soldatenfliege einen Teil des Fischmehls in Futtermischungen für die pazifische Weißbeingarnele ohne Leistungseinbußen ersetzen kann.

Lokal oder regional produzierte Insektenmehle könnten somit einen Beitrag zu einer nachhaltigen Produktion tierischer Lebensmittel liefern. Eine mögliche Steigerung der Nachhaltigkeit bei der Produktion von Insektenmehl könnte dadurch erreicht werden, dass weitere Restströme bzw. Lebensmittelabfälle als Futtersubstrat für Insekten erlaubt würden, vorausgesetzt deren Unbedenklichkeit ist nachgewiesen.

Nachhaltige und resiliente Kultivierung von Insekten für den innovativen Einsatz in der Futter- und Lebensmittelherstellung (reKulti4Food)

Förderkennzeichen 31B1206G

Teil II - Eingehende Darstellung

Projektbeschreibung

Zielstellung

Das Teilprojekt 3 des Verbundvorhabens reKulti4food hatte zum Ziel, die Substitution von Fischmehlkomponenten in der Aquakulturfütterung durch proteinreiches Mehl der Larven der Schwarzen Soldatenfliege am Beispiel der pazifischen Weissbeingarnele (*Peneaus vannamei*) zu evaluieren. Damit sollte ein anwendungsorientierter Beitrag zur sozioökonomischen Beurteilung einer besonders nachhaltigen Insektenproteinproduktion basierend auf dem Einsatz von Restströmen aus der Lebensmittelproduktion geleistet werden, indem vorrangigen Fragen der Verwertungseffizienz und der Tiergesundheit im wachsenden Aquakultursektor nachgegangen wird.

Vorversuche

Für die Fütterung der pazifischen Weissbeingarnele wurde zunächst anhand einer Literaturrecherche und in Abstimmung mit dem Futtermittelhersteller der Oceanloop Munich GmbH und bestehender Praxiserfahrungen der Anteil an Fischmehl, bzw. Fischmehlprotein, eruiert, der zur Substitution durch Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege am sinnvollsten erscheint (10% Insektenmehl der Schwarzen Soldatenfliege, teilentfettet, Testfettgehalt < 5%). Anschliessend wurde eine Versuchsfuttermischung mit einem 10%-igen Anteil von Insektenmehl der Schwarzen Soldatenfliege, welches von der Hermetia Baruth GmbH bereitgestellt wurde, in einem Vorversuch bei der Oceanloop Munich GmbH unter realistischen Produktionsbedingungen in einer Kreislaufanlage für die Weissbeingarnele (*Penaeus vannamei*; *Abbildung 1*) getestet. In zwei Vorversuchen wurden Effekte auf das Garnelenwachstum, aber insbesondere auch in Bezug zum Biofilter, dem „Kernstück“ einer jeden Kreislaufanlage, bewertet. Der erste Vorversuch startete am 29. September 2022 mit

dem Besatz der Larven. Ein zweiter Besatz erfolgte am 04. Oktober 2022. Beide Vorversuche wurden über einen Zeitraum von 6 Monaten durchgeführt.

In beiden Vorversuchen wurde festgestellt, dass die Garnelen gut wachsen (siehe Abbildung 1) und keine höheren Mortalitäten im Vergleich zum bisherigen Futter entstehen. Auch ein Effekt auf die Wassertrübung und damit auf den Biofilter der Anlage als ein wesentliches Entscheidungskriterium für die Durchführung der Hauptversuche wurde nicht beobachtet.



Abbildung 1: Fressende Garnele (*P. vannamei*) in Aquarien-Kreislaufanlage an der Universität Hohenheim © T. Stadlander

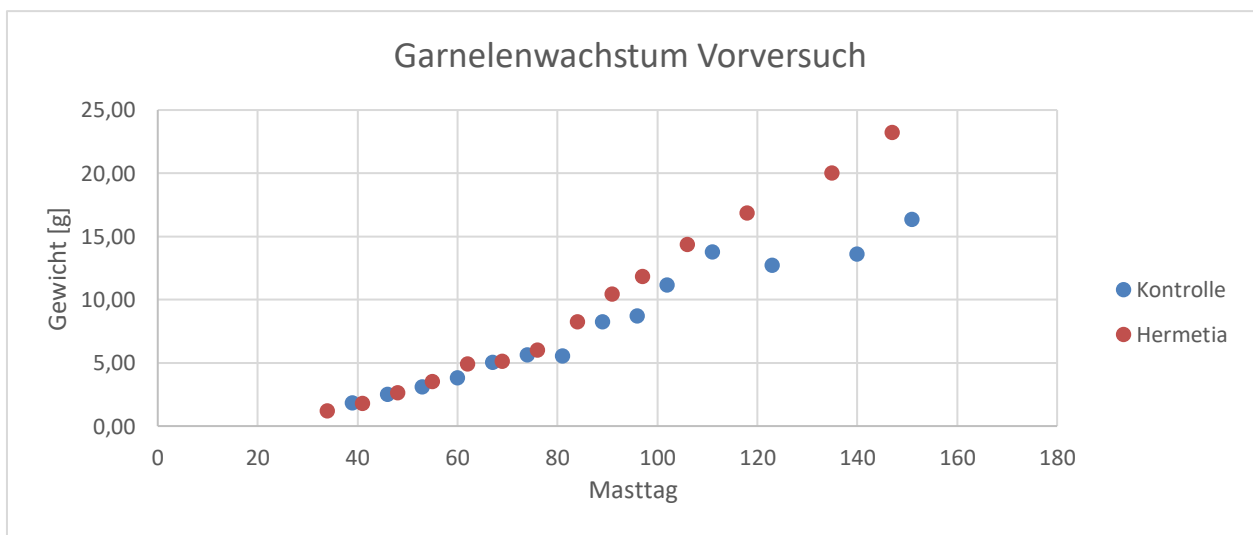


Abbildung 1: Wachstum der Weißbeingarnelen (*Penaeus vannamei*) in den beiden Vorversuchen

Nach den erfolgreichen Ergebnissen der Vorversuche wurden die Hauptversuche gestartet, wobei keine Anpassungen in der Futterformulierung im Vergleich zu den Vorversuchen notwendig war.

Hauptversuche

Fütterungsversuche im laufenden Produktionsbetrieb zu integrieren und mit wissenschaftlich notwendiger Genauigkeit durchzuführen, stellt immer eine gewisse Herausforderung dar. Die Garnelenzucht Oceanloop Munich produziert in geschlossenen Kreislaufanlagen pazifische Weißbeingarnelen (*P. vannamei*), die weltweit mengenmäßig am meisten produzierte Garnele. 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 Eintragungssysteme 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 Insektenmehl der Schwarzen Soldatenfliege 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 Insektenmehl noch einen Anteil von 11 % (110 g/kg). Zudem wurde der Gehalt an Krillmehl erhöht, um die Differenz des Proteingehalts von Fischmehl und Insektenmehl zu kompensieren.

Daraus ergab sich, dass zwar die Rohproteingehalte annähernd gleichblieben, 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- + Isoleucin- und 0,19 %-Punkte niedrigere Leucingehalte 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 Insektenmehl-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 12.500 Garnelen (Postlarven im Alter von 10 Tagen) mit gleicher Größe und gleichem Gewicht (im Schnitt über alle vier 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.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Kontrollfuttermischungen

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

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.

Tabelle 2: Nährstoffzusammensetzung für das Kontroll- und Versuchsfutter in den beiden Pelletgrößen 1,6 mm und 2,2 mm

Nährstoff	Pelletgröße	
	1,6 mm	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

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 Spannbreite 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 durch Evonik 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 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, wird für den Vergleich des Wachstums die spezifische Wachstumsrate (SWR, %/Tag) und der durchschnittliche Zuwachs (g/Tag) genutzt und die Wiegedaten beider Fütterungsgruppen in einem gemischten statistischen Modell verglichen.

SWR:

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

Futtermittelnutzung

Die Futtermittelnutzung (*feed conversion ratio*) wurde für jede Behandlung (Kontrolle und BSFL) über die vier Durchgänge gemittelt. Sie wurde berechnet über den gesamten Futtermittelverbrauch (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 eingesetztem 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 bezog, welches die Interaktion zwischen der Fütterungsgruppe und einer nicht-linearen Funktion zur Modellierung des Gewichts über die Zeit als fixe Effekte beinhaltete 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 anschließendem post-hoc-Vergleich untersucht.

Ergebnisse

Die vergleichende Modellanalyse zum Wachstumsverlauf ergab, dass der Effekt der Fütterungsgruppe (Kontrolle vs. Insektenmehl) vernachlässigbar war (sowohl interaktiv als auch additiv) und die zeitliche Funktion allein die Daten hinreichend und signifikant gegenüber einem Null-Modell erklärt (siehe Abbildung 3). Über die vier Durchgänge wurde kein Effekt der Fütterung auf die Mortalität gefunden ($p = 0,229$). Während sich für die Futtermittelverwertung 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 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.

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

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

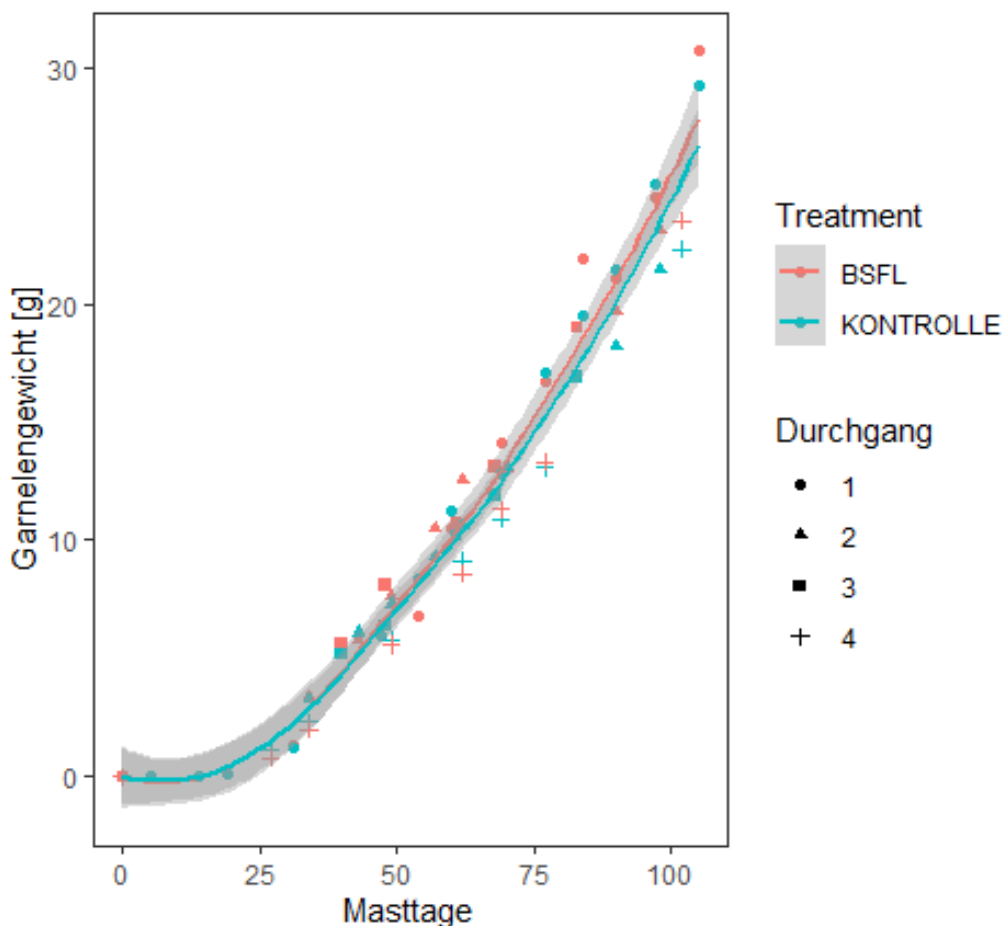


Abbildung 3: Darstellung des Wachstumsverlaufs der Insektenmehl-gefütterten (BSFL, rot) gegenüber den kontrolle-gefütterten (grün) Garnelen über die Zeit in den vier einzelnen Durchgängen (Symbole)

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 (siehe Tabelle 5).

Tabelle 4: Rohproteingehalt und Aminosäureprofile der Kontroll- und Insektenmehl-Versuchsfuttermischungen, jeweils für die beiden Pelletgrößen 1,6 mm und 2,2 mm (Angaben in %)

Nährstoff / Aminosäure	Kontrolle		Insektenmehl-Futter	
	Pelletgröße 1,6 mm	Pelletgröße 2,2 mm	Pelletgröße 1,6 mm	Pelletgröße 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

Tabelle 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 %)

	Initial	Kontrolle	Insektenmehl
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

^{a, b} Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Irrtumswahrscheinlichkeit 5%)

Ergebniseinordnung

Die allgemeine Produktionsleistung unterschied sich nicht zwischen den beiden Gruppen (Mortalität, Futtermittelverwertung) bzw. war in der Insektenmehl-Gruppe verbessert (Wachstum). Im Vergleich zu bislang publizierten Ergebnissen zur Fütterung von *P. vannamei* aus

kontrollierten Laborversuchen¹²³⁴ 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 % – Überlebensrate = Mortalität) von 86,7–95,6 % wurden von Cummins et al.¹ berichtet während Chen et al.² sogar noch höhere Überlebensraten von über 95 % beobachtete. Nur He und Kollegen⁴ 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 %igem Fischmehlersatz durch BSFL, wo nur 26,7 % der Garnelen überlebt haben⁴. 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 4³ und 9 Wochen¹. Betrachtet man die Mortalitäten 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 Insektenmehl-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 ± 0,25 %/Tag; BSFL: 9,24 ± 0,25 %/Tag). Sie befindet sich im Vergleich zu anderen Studien

¹ 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.

² 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.

³ 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.

⁴ 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.

deutlich oberhalb der jeweilig publizierten Bereiche (3,06–4,07 %/Tag²; 4,15–4,34 %/Tag²; 6,01–7,53 %/Tag³) 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.⁴ mit zunehmendem Anteil an Insektenmehl 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 Insektenmehl im Futter zu hoch war oder gar zu 100 % Black Soldier Fly-Larven verfüttert wurden⁴. 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 Insektenmehl-Versuchsgruppe. Dies liegt etwas unterhalb des für 2020 prognostiziertem globalen Futterverwertung für Garnelen von 1,6⁵. Im Vergleich zu Studien mit Insektenmehl im Futter von *P. vannamei* ist die Futterverwertung aber deutlich niedriger als die von Cummins et al.¹ berichteten Futterverwertungen von 2,01 (7 % Insektenmehl) bis hin zu 4,51 (36 % Insektenmehl). Ähnliche aber doch leicht höhere Futterverwertungen im Vergleich zu unserer Studie wurden von Chen et al.² 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.³ berichtet. Diese sanken mit zunehmendem BSFL-Anteil im Futter von 1,42 auf 1,23 und lagen damit signifikant unter der Kontrolle (1,70)³.

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

⁵ 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.

Nährstoffretention 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) ⁶. Die pazifischen Weißbeingarnelen sind mit einer relativ niedrigen trophischen Stufe von 2,5 ⁶ eher nachhaltig in der Produktion. Andererseits sind die Futterverwertungen aufgrund der Art und Weise der Futteraufnahme bei Garnelen höher als bei Fischen. Fische schlucken Pellets meist als Ganzes runter 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. 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 Biofilterfilter 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.

⁶ 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.

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Rahmen des Projekts stellen die Positionen Personal- und Materialkosten die zentralen Bestandteile des zahlenmäßigen Nachweises dar. Personalkosten umfassen insbesondere den zeitlichen Aufwand für die Planung und Durchführung der praktischen Fütterungsversuche bei der Oceanloop Munich GmbH sowie die Teilnahme an den regelmäßigen Projekttreffen. Diese Leistungen bilden die Grundlage für die inhaltliche Projektkoordination und den fachlichen Austausch innerhalb des Konsortiums. Für eine optimale Durchführung der beiden Vorversuche sowie der vier Haupt-Fütterungsversuche und zur Erzeugung verlässlicher Daten waren diverse tägliche, wöchentliche, monatliche oder einmalige Arbeiten notwendig. Die von Akademikern durchgeführten Arbeiten umfassten die Bestellung der Post-Larven sowie die Organisation des Versands und der Logistik, das Futtermanagement, das Management der Wasserqualität, das Monitoring der Versuchsbatches sowie durchgeführter Arbeitsschritte vom Besatz bis zur Ernte der Garnelen, die Datenerfassung, Dokumentation und Analyse, die Probenahme von Futter und Garnelen sowie die allgemeine Versuchsplanung und Organisation. Die von Technikern/Assistenten durchgeführten Arbeiten umfassten diverse tägliche, wöchentliche, monatliche oder einmalige Arbeiten, wie beispielsweise den Besatz der Garnelen, die Fütterung der Garnelen, Gewichtsmessungen der Garnelen, die Ernte der Garnelen, das Messen von Wasserparametern, die Reinigung der Mastbecken sowie die Reinigung und Wartung der Wasseraufbereitungseinheiten. Zudem fielen Arbeitsstunden für Versuchsauswertungen, Veröffentlichungen sowie administrative Arbeiten an. Insgesamt wurden 95 Arbeitsstunden für einen Akademiker und 289 Arbeitsstunden für Techniker/Assistenten benötigt. Bei den Materialkosten sind Kosten für die Beschaffung und den Transport von Garnelenlarven, die Versuchs-Futtermischungen in unterschiedlichen Pelletgrößen sowie den Betrieb der Kreislaufanlage angefallen. Es sind keine Reisekosten angefallen, da die Abstimmung zur Durchführung der Versuche in Teilprojekt 3 online stattfanden und eine Projektbesprechung mit dem FiBL (Teilnehmer: Dr. Christian Lambertz, Dr. Timo Stadlander) am Standort der Oceanloop Munich GmbH stattfand.

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die im Projekt durchgeführten Arbeiten waren sowohl inhaltlich notwendig als auch im Hinblick auf Umfang und Aufwand angemessen. Sie orientierten sich an den im Antrag definierten Zielen und Maßnahmen und waren entscheidend für die planmäßige Umsetzung der Projektbausteine.

Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

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 auch 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 Lebensmittelqualität⁷ 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 Fischfutterkomponente auf Nachteile hinsichtlich der Nachhaltigkeit hindeutet⁸. Eine mögliche Steigerung der Nachhaltigkeit könnte dadurch erreicht werden, dass weitere

⁷ 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.

⁸ 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.

Restströme bzw. Lebensmittelabfälle als Futtersubstrat für Insekten erlaubt würden, vorausgesetzt deren Unbedenklichkeit ist nachgewiesen.

Insgesamt haben die Ergebnisse und Erfahrungen aus dem Projekt dazu beigetragen den Einsatz von Insektenmehl der Schwarzen Soldatenfliege im Futter für die pazifische Weißbeingarnele bei der Oceanloop Munich GmbH standardmäßig fortzuführen.

Der während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind während des Projektverlaufs keine relevanten Ergebnisse von dritter Seite bekanntgeworden.

Die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF/NABF

T. Stadtlander, K. Deininger, C. Sandrock, F. Schindler, B. Wecker, J. Wohlfahrt, A. Lemme, C. Lambertz (2025) Larven-Mehl der schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) eignet sich für die Fütterung der Weißbeingarnele (*Penaeus vannamei*) unter Praxisbedingungen in einer modernen Kreislaufanlage. Ernährungs Umschau, 2025, 72(8): AP44-52.