Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Abschlussbericht

für ein FuEuI-Vorhaben des im Rahmen der Bekanntmachung des BMFTR

„Innovationsräume Bioökonomie“

geforderten Innovationsraums

„NewFoodSystems – Neue Lebensmittelsysteme“

mit dem Titel

„Nachhaltige und resiliente Kultivierung von Insekten für den innovativen Einsatz in der Futter- und Lebensmittelherstellung (reKultI4Food)“

Zuwendungsempfänger: AGRAVIS Raiffeisen AG

Förderkennzeichen: 031B1206E

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen [031B1206E] gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2022 - 30.10.2024

Teil I – Kurzbericht

Ziel dieses Vorhabens war es ein in Bezug auf die Aminosäurezusammensetzung bedarfsgerechtes Starterfutter für Larven der Schwarzen Soldatenfliege (*Herme ia illucens*) zu formulieren. Das erste Larvenstadium ist das sensibelste Stadium während der Aufzucht von *Herme ia illucens*. Dafür wurden Versuchsansätze von jeweils 10.000 Neonates durch Wiegung aufgeteilt. Um ausschließlich lebende Neonates auszuwählen, fand vor der Wiegung eine Aussiebung abgestorbener Neonates statt. Ziel der Versuche war es durch Limitierung und Supplementierung einzelner Aminosäuren im Vergleich zu einer Kontrolldiät (Junghennenfutter) und einer Positiv-Kontrolle (Basisfutter-Diät, in der alle Aminosäuren auf das Niveau des Junghennenfutters ergänzt wurden) den Aminosäurenbedarf abzuleiten. Ein proteinreduziertes Basisfutter aus einer Getreidemischung (Zentrakorn, 40%), Junghennenfutter (33%), Stroh (gemahlen, 20%) und Zucker (7%) diente als Negativkontrolle. Im Versuch wurden die Aminosäuren Methionin, Lysin, Threonin, Tryptophan, Isoleucin und Arginin untersucht. Die Bewertung fand anhand der folgenden Untersuchungsparameter statt: Mortalität/Überlebensrate, Dynamik der Larvengewichte, Biomassekonversionsrate, sonstige relevante Eigenschaften und Beobachtungen (Feuchtegehalt des Restsubstrats, Schimmelbildung etc.). Es erfolgte eine Futtergabe von 50g je Versuchsansatz pro 10.000 Neonates am Versuchsbeginn sowie eine zweite Futtergabe mit gleicher Menge sobald die erste Ration vollständig gefressen wurde (visuelle Beurteilung). Das Versuchsende erfolgte nach vollständigem Verzehr der zweiten Ration.

Im Versuch zeigten bei der Ernte alle Gruppen ein ähnliches Gewicht, wobei zu beachten ist, dass versuchsbedingt die Ernte zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfolgte, sobald auch die zweite Ration gefressen wurde. Neonates, die das Kontrollfutter (Junghennenfutter) erhielten, erreichten am Ende die höchsten individuellen Larvengewichte, während die Positiv-Kontrolle in den ersten Tagen eine schnellere Gewichtszunahme aufwies. Die Mortalitäten lagen generell bei ca. 10% und damit auf einem sehr niedrigen Niveau, mit Ausnahme der Kontrolle, die deutlich höhere Mortalitäten aufwies, was auch die entsprechend höheren Individualgewichte erklärt. Die Futterverwertung bei den Versuchsgruppen mit unterschiedlichen Aminosäuren-Niveaus war nicht signifikant verändert. Die Kontrolldiät hatte hingegen die beste Futterverwertung, die Negativkontrolle die schlechteste. Insgesamt zeigte die Kontrolle die höchste Gesamt-Biomasseproduktion, das höchste Larvengewicht, aber auch die höchste Mortalität. Zwischen den Versuchsgruppen mit unterschiedlichen Aminosäuren-

Niveaus gab es Unterschiede in der Biomasseproduktion (Lysin) und den Mortalitäten (positiv bei: Isoleucin, Tryptophan, Lysin; negativ bei: Arginin, Threonin).

Insgesamt zeigte sich ein reduziertes Wachstum bei Versuchsgruppen, die reduzierte Gehalte an Lysin erhielten sowie in der Negativ-Kontrolle. Arginin und Lysin wiesen bei Supplementation ein besseres Wachstum auf, wobei bei Supplementation von Arginin die Biomasseproduktion sank, während die Futterverwertung anstieg. Die Supplementation von Tryptophan führte zu einem aktiveren Verhalten (Tryptophan ist eine Vorstufe von Serotonin).

Anhand der Auswertungen wurde Lysin als die erstlimitierende Aminosäure für die Larvenaufzucht identifiziert. Als weitere ko-limitierende Aminosäuren waren Arginin, Isoleucin und Threonin für die unterschiedlichen Wachstumsraten verantwortlich. Die Ergebnisse geben damit wertvolle Hinweise auf die Bedeutung einzelner Aminosäuren in der Larvenaufzucht und können für die praktische Formulierung optimierter Futterrationen für die Schwarze Soldatenfliege genutzt werden.

Teil II - Eingehende Darstellung

1. Projektbeschreibung

Ziel dieses Vorhabens war es ein in Bezug auf die Aminosäurezusammensetzung bedarfsgerechtes Starterfutter für Larven der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) zu formulieren. Das erste Larvenstadium ist das sensibelste Stadium während der Aufzucht von *Hermetia illucens*. Die Mortalität ist unter aktuellen Praxisbedingungen hoch und die Heterogenität der Größe der Larven bei Eintritt in das zweite und dritte Larvenstadium, also vor der eigentlichen Verwertung von Restströmen während der Mast, entsprechend groß. Die Folge sind oft heterogene Entwicklungsstadien zum Erntezeitpunkt, und somit schwerlich vorhersehbare Effekte auf deren Zusammensetzung und damit die Produktqualität. Noch heute wird für die Aufzucht bis zum Beginn des zweiten/dritten Larvenstadiums (ca. 7. Lebenstag) mangels besseren Wissens häufig Geflügelfutter verwendet. Um die ausgeprägte Mortalität und Heterogenität zu reduzieren und dadurch die Insektenproduktion wirtschaftlicher und nachhaltiger zu gestalten, ist eine Anpassung der Futterformulierung an die spezifischen Bedürfnisse zwingend notwendig. Dies bedingt auch eine Verbesserung der Futtereffizienz und Verkürzung der Aufzuchtphase. Zur Vorbereitung der Hauptversuche wurden insgesamt fünf Vorversuche am FiBL-CH durchgeführt und das Versuchsdesign für die anschließenden beiden Hauptversuche unter Beteiligung der AGRAVIS Raiffeisen AG entwickelt. In diesen Vorversuchen wurden unterschiedliche Einflussfaktoren während der Aufzuchtphase frisch geschlüpfter Larven (Neonates) der Schwarzen Soldatenfliege untersucht:

- Test unterschiedlicher Futter- und Wassermengen (Wasserbindevermögen)
- Pellettierung im Vergleich zu unterschiedlichen Vermahlungsgraden
- Berücksichtigung von Strukturgebern (vermahlenes Stroh)
- Einweichen des Futters vor Versuchsbeginn; sukzessive Wassergabe
- Effekt der Larvendichte.

Mangels spezifischer Futtermittel für frisch geschlüpfte Soldatenfliegenlarven wurden die folgenden kommerziellen Futtermittel von der AGRAVIS Raiffeisen AG in Reinform und in Mischungen getestet, um die am besten geeignete Grundlage für die Referenzfuttermischungen (Kontrolle) zu etablieren:

- Kükenaufzuchtfutter
- Junghennenaufzuchtfutter

- Legehennenfutter
- Standardfutter (pelletiertes Legehennenfutter, welches als Referenz in anderen Forschungsprojekten diente)
- Getreidemischung (Zentrakorn).

Die folgenden Untersuchungsparameter wurden erhoben:

- Mortalität/Überlebensrate
- Dynamik der Larvengewichte
- Biomassekonversionsrate
- Sonstige relevante Eigenschaften und Beobachtungen (Feuchtegehalt des Restsubstrats, Schimmelbildung, etc.).

Auf Basis der Ergebnisse dieser Vorversuche wurde das Versuchsdesign für den Hauptversuch mit folgenden Kennzahlen definiert, um eine bestmögliche Replikation zu gewährleisten:

- Durchführung mit 3 Replikaten à 10.000 frisch geschlüpfte Larven der Schwarzen Soldatenfliege (Neonates) je Futtermischung
- Zwingende Auswahl ausschließlich lebender Neonates mittels „Selbst-Siebung“ vor dem Versuchsansatz
- Bestimmung des konkreten (aber recht variablen) Durchschnittsgewichts der Neonates vor während und nach dem Versuch zur Eruierung systematischer Fehler bei der Portionierung, inklusive entsprechender Berücksichtigung bei der Befüllungsreihenfolge der Einzelreplikate über alle Versuchsgruppen
- Randomisierte Aufstellung im Klimaschrank bei 27°C und 70% relativer Luftfeuchte, sowie tägliche Neupositionierung (Etage und Position), um Positionseffekte zu minimieren
- Alle Futterkomponenten wurden auf 1 mm Partikelgröße vermahlen, um eine ausreichende Homogenisierung sicherzustellen
- Junghennenfutter der Firma AGRAVIS Raiffeisen AG dient als Referenzfuttermischung (Kontrolle, Junghennenfutter)
- Ein im Vergleich zum Junghennenfutter proteinreduziertes Basisfutter aus einer Getreidemischung (Zentrakorn, 40%), Junghennenfutter (30%) und Stroh (gemahlen, 20%) dient

als Negativkontrolle (Differenz zur totalen Trockensubstanz: Vitaminmix, zu supplementierende Aminosäuren, sowie Zucker zur iso-energetischen Anpassung)

- Eine Basisfuttermischung, in welcher alle Einzel-Aminosäuren auf das Niveau des Junghennenfutters (iso-nitrogen) ergänzt wurden, dient als Positiv-Kontrolle (C-simuliert)
- Folgende Gruppen zur Limitierung (-) bzw. Supplementierung (+) von sechs einzelnen essentiellen Aminosäuren (Arginin (Arg), Methionin (Met), Isoleucin (Ile), Lysin (Lys), Threonin (Thr), Tryptophan (Trp)) werden definiert: Arg-, Arg+, Met-, Met+, Ile-, Ile+, Lys-, Lys+, Thr-, Thr+, Trp-, und Trp+; wobei eine Limitierung der jeweiligen Differenz zwischen der Negativ- und Positiv-Kontrolle entspricht (variables Delta zwischen 31.3 und 46.2%) und alle Supplementierungen einer 150% Stufe im Vergleich zur jeweiligen Aminosäurekonzentration der Positivkontrolle entsprechen
- Vergleich von 15 Versuchsgruppen (iso-energetische und iso-nitrogene Diäten im Vergleich zur Positiv-Kontrolle und zur Referenz)
- Es erfolgt eine Futtergabe zu 50g/10'000 Neonates am Tag 0, sowie eine zweite mit gleicher Menge sobald die erste Ration vollständig gefressen wurde (visuelle Beurteilung)
- Das Versuchsende erfolgt nach vollständigem Verzehr der zweiten Ration und kann, je nach Diät, variieren (Teil der Erfolgsbeurteilung)
- Messung aller biologisch relevanten Parameter wie Wachstumsdynamik, Endgewicht, Zeitraum bis zum Erreichen der Mastgröße, Mortalität

Das Versuchsdesign des Hauptversuches ist in Abbildung 1 grafisch dargestellt. Die Reduktions- bzw. Supplementationsraten unterschieden sich zwischen den Einzelaminosäuren und wurden auf das Niveau des Junghennenfutters als Kontrolle bezogen. Die entsprechenden Reduktions- bzw. Supplementationsraten waren 41%, 46%, 42%, 31%, 46% und 40% für die Aminosäuren Met, Lys, Thr, Trp, Arg und Ile.

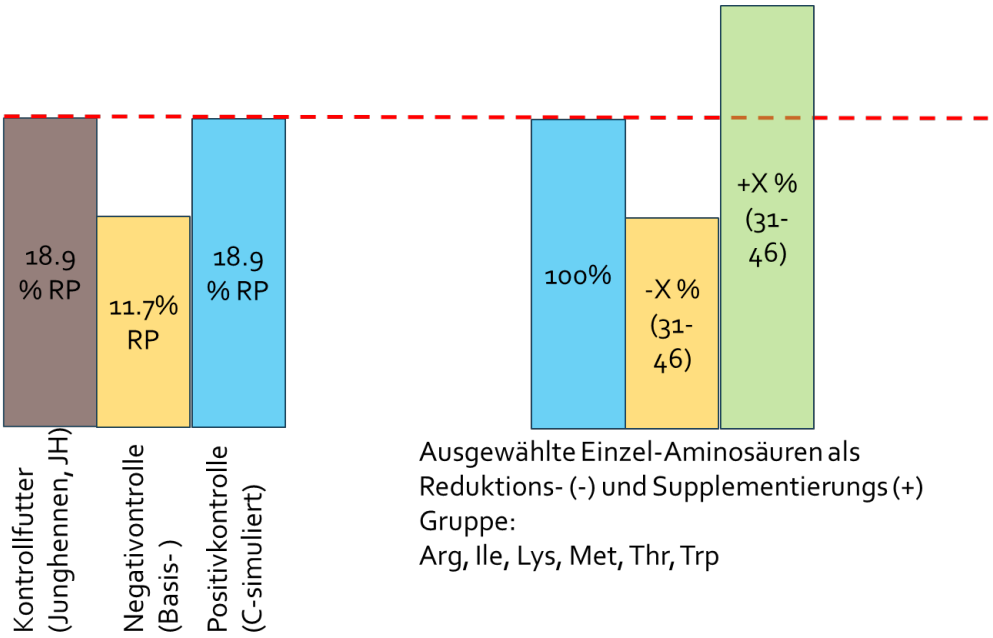

Abbildung 1: Versuchsdesign im Hauptversuch mit insgesamt 15 Versuchsfuttermischungen (Kontrollfutter (Junghennen, JH), Negativkontrolle (Basis-), Positivkontrolle (Negativkontrolle mit allen ergänzten Einzel-Aminosäuren, C-simuliert), 12 Futtermischungen mit jeweils reduzierten (-) bzw. supplementierten (+) Gehalten der Einzel-Aminosäuren Arg, Ile, Lys, Met, Thr, Trp)

2. Ergebnisse

Im Hauptversuch zeigten bei der Ernte alle Gruppen ein ähnliches Gewicht, wobei zu beachten ist, dass versuchsbedingt die Ernte zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfolgte, sobald auch die zweite Ration vollständig gefressen wurde. Die Mortalitäten lagen generell bei ca. 10% und damit auf einem sehr niedrigen Niveau, mit Ausnahme der Kontrolle, die deutlich höhere Mortalitäten aufwies (siehe Abbildung 2). Neonates, die das Kontrollfutter (Junghennenfutter) erhielten, erreichten am Ende die höchsten individuellen Larvengewichte, während die Positivkontrolle in den ersten Tagen eine schnellere Gewichtszunahme aufwies. Die höheren Individualgewichte der Kontrollfuttermischung können mit der höheren Mortalität erklärt werden. Die Futterverwertung bei den Versuchsgruppen mit unterschiedlichen Aminosäuren-Niveaus war nicht signifikant verändert. Die Kontrollfuttermischung hatte dahingegen die beste Futterverwertung, die Negativkontrolle die schlechteste. Insgesamt zeigte die Kontrolle die höchste Gesamt-Biomasseproduktion, das höchste Larvengewicht, aber auch die höchste Mortalität. Zwischen den Versuchsgruppen mit unterschiedlichen Aminosäuren-Niveaus gab es Unterschiede in der

Biomasseproduktion. Die Gewichtsdynamiken im Verlauf der Larvenaufzucht sind in den Abbildungen 3 bis 5 detailliert dargestellt. Für die vergleichenden Darstellungen sind in den folgenden Abbildungen aufgrund der erhöhten Mortalitätsrate in den Junghennen-Gruppe nur die Positiv- und Negativkontrolle dargestellt. Wie aus Abbildung 3 ersichtlich war die Wachstumsrate bei der Negativkontrolle (Bas-) und der Reduktion von Lysin (Lys-) beeinträchtigt. Die Reduktion von Met, Trp und Thr führte hingegen im Vergleich mit der Positivkontrolle (C-sim) zu keiner Änderung. Bei der Supplementierung mit Met, Thr, Trp und Ile kam es im Vergleich mit der Positivkontrolle (C-sim) nicht zu einer Verbesserung der Wachstumsrate (Abbildung 4). Bei Supplementierung mit Lys und Arg stieg die Wachstumsrate an.

Insgesamt zeigte sich ein reduziertes Wachstum bei Versuchsgruppen, die reduzierte Gehalte an Lysin erhielten und in der Negativ-Kontrolle. Arginin und Lysin wiesen bei Supplementation ein besseres Wachstum auf, wobei bei Supplementation von Arginin die Biomasseproduktion sank, während die Futterverwertung anstieg. Die Supplementation von Tryptophan führte zu einem aktiveren Verhalten (Tryptophan ist eine Vorstufe von Serotonin).

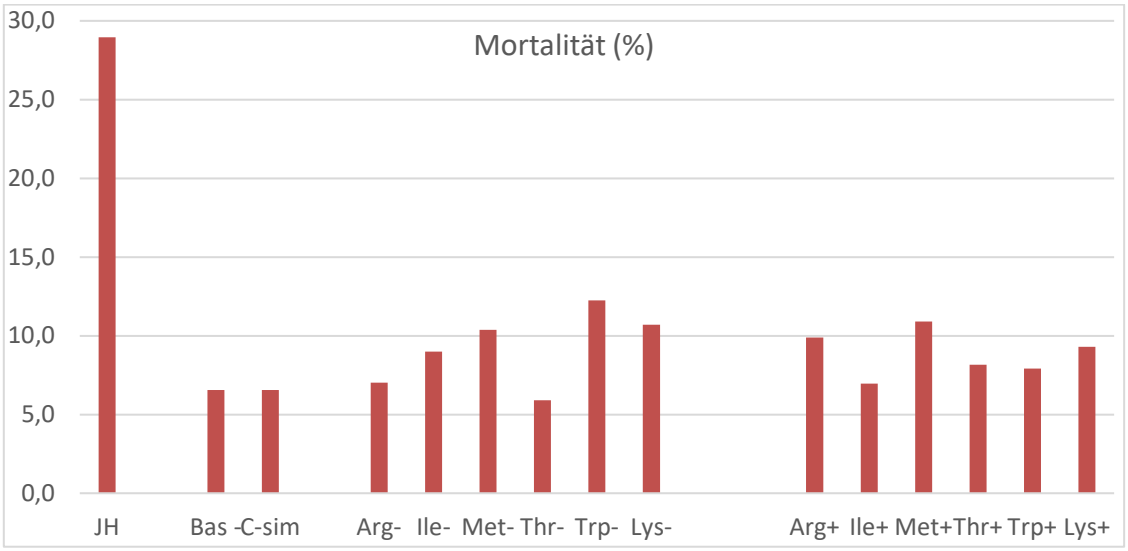

Abbildung 2: Mortalitätsraten von Neonates während der Aufzuchtphase in Abhängigkeit der Versuchsfuttermischungen (Kontrollfutter (Junghennen, JH), Negativkontrolle (Basis-), Positivkontrolle (Negativkontrolle mit allen ergänzten Einzel-Aminosäuren, C-simuliert), 12 Futtermischungen jeweils mit reduzierten (-) bzw. supplementierten (+) Gehalten der Einzel-Aminosäuren Arg, Ile, Lys, Met, Thr, Trp)

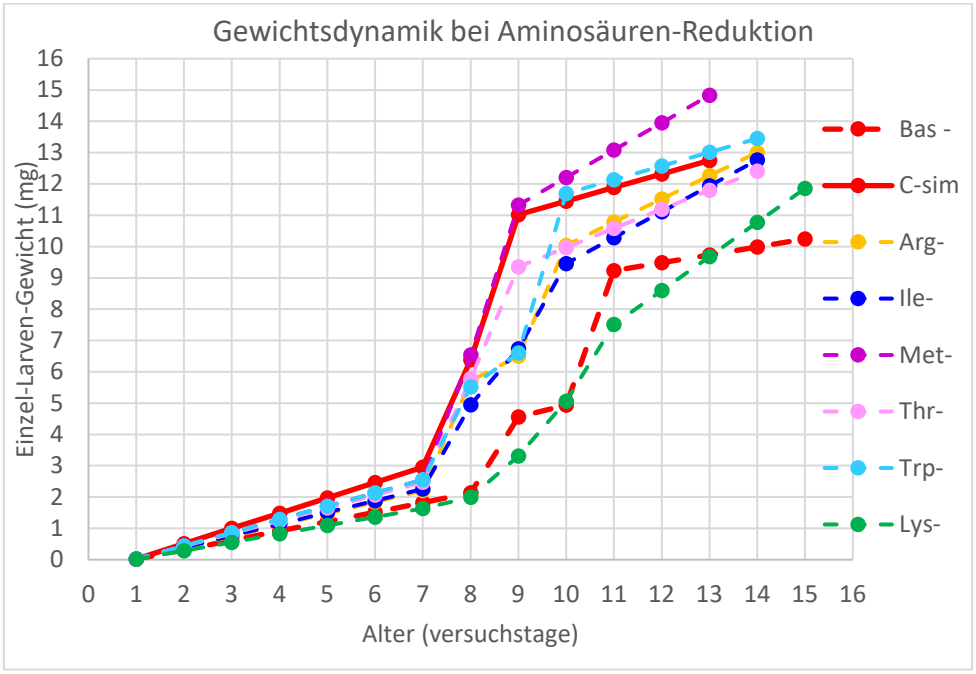

Abbildung 3: Gewichtsdynamik von Neonates während der Aufzuchtphase bei Reduktion der Aminosäuren-Gehalte für Arg, Ile, Lys, Met, Thr, Trp im Vergleich zur Negativkontrolle (Basis-) und Positivkontrolle (Negativkontrolle mit allen ergänzten Einzel-Aminosäuren, C-sim)

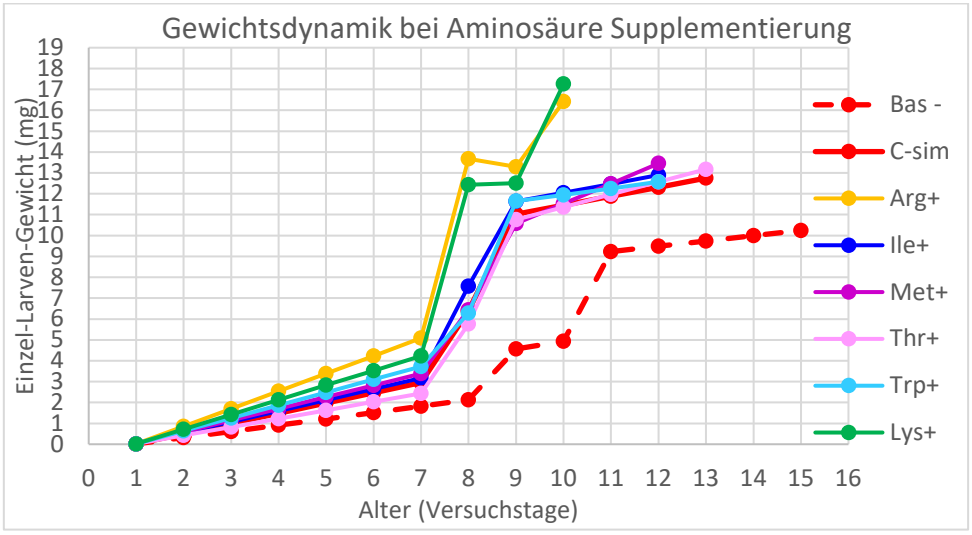

Abbildung 4: Gewichtsdynamik von Neonates während der Aufzuchtphase bei Supplementation der Aminosäuren-Gehalte für Arg, Ile, Lys, Met, Thr, Trp im Vergleich zur Negativkontrolle (Basis-) und Positivkontrolle (Negativkontrolle mit allen ergänzten Einzel-Aminosäuren, C-sim)

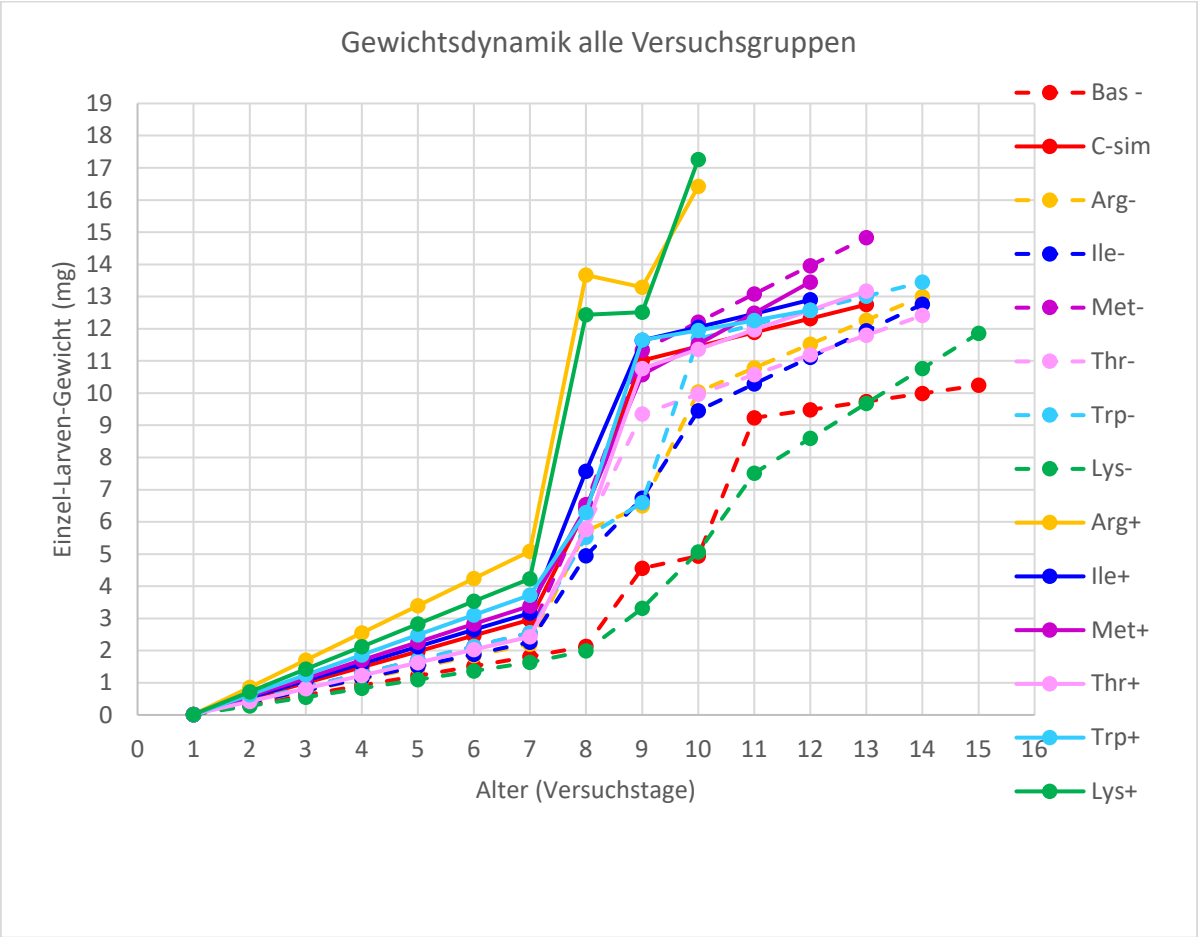

Abbildung 5: Gewichtsdynamik von Neonates während der Aufzuchtphase bei Reduktion (-) bzw. Supplementation (+) der Aminosäuren-Gehalte für Arg, Ile, Lys, Met, Thr, Trp im Vergleich zur Negativkontrolle (Basis-) und Positivkontrolle (Negativkontrolle mit allen ergänzten Einzel-Aminosäuren, C-sim)

3. Schlussfolgerungen

Anhand der Auswertungen konnte damit Lysin als die erstlimitierende Aminosäure für die Larvenaufzucht identifiziert werden. Als weitere ko-limitierende Aminosäuren waren Arginin, Isoleucin und Threonin für die unterschiedlichen Wachstumsraten verantwortlich. Die Ergebnisse geben damit wertvolle Hinweise auf die Bedeutung einzelner Aminosäuren in der Larvenaufzucht und können für die praktische Formulierung optimierter Futterrationen für die Schwarze Soldatenfliege genutzt werden.

4. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Rahmen des Projekts stellen die Positionen Personal- Material- und Reisekosten die zentralen Bestandteile des zahlenmäßigen Nachweises dar. Personalkosten umfassen insbesondere den zeitlichen Aufwand für die Teilnahme an Projekttreffen sowie an regelmäßigen Jour-Fix-Terminen. Diese Leistungen bilden die Grundlage für die inhaltliche Projektkoordination und den fachlichen Austausch innerhalb des Konsortiums. Materialkosten betreffen vor allem das benötigte Futter zur Durchführung der Versuche sowie spezielle Aminosäuren, die für die experimentellen Abläufe essenziell waren. Diese Ausgaben sicherten die wissenschaftliche Qualität und Umsetzbarkeit der geplanten Maßnahmen. Die Reisekosten entstanden im Zusammenhang mit der Teilnahme an Konsortialtreffen sowie zentralen Projekttreffen. Diese Reisen dienten der Abstimmung mit den Projektpartnern und der überregionalen Vernetzung. Alle genannten Positionen sind entscheidend für die erfolgreiche Durchführung und Dokumentation des Projekts und wurden entsprechend im zahlenmäßigen Nachweis berücksichtigt.

5. 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.

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

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse über die Nährstoffbedürfnisse heranwachsender Larven der Schwarzen Soldatenfliege bilden die Grundlage für die Weiterentwicklung spezialisierter Futtermittel für die Insektenzucht. Die AGRAVIS Raiffeisen AG nutzt diese Ergebnisse gezielt zur Stärkung ihrer Marke Flyvis Farming und entwickelt gemeinsam mit Partnern aus der Branche angepasste Fütterungs- und Beratungskonzepte.

Durch die verbesserten Fütterungspraktiken kann die Effizienz der Insektenmast gesteigert und gleichzeitig eine nachhaltige, wirtschaftliche Nutzung von Nebenprodukten aus der Lebensmittel-, Stärke- und Ethanolproduktion ermöglicht werden. Dies erhöht nicht nur die Wirtschaftlichkeit der Produktion, sondern fördert auch die Erschließung neuer Märkte für Insekten als alternative Proteinquelle.

Darüber hinaus leisten die Projektergebnisse einen wichtigen Beitrag zur Qualitätssicherung und Einhaltung regulatorischer Standards in der Futtermittelbranche. Dies ist essenziell für die Akzeptanz bei Abnehmern wie Aquakulturen, Nutztierhaltungen, Endverbrauchern und dem Heimtierbereich – und somit ein zentraler Baustein im fortgeschriebenen Verwertungsplan.

7. 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.

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

- C. Sandrock, J. Wohlfahrt, T. Stadtlander, F. Schindler, M. Hardick, M. Terranova, C. Lambertz, A. Lemme (2024) Evaluating amino acid requirements of neonatal black soldier fly larvae. 75. Jahrestagung der European Federation of Animal Science (EAAP), Florenz, Italien, 01.09.2024-05.09.2024, S. 257 (Präsentation).
- C. Sandrock, J. Wohlfahrt, T. Stadtlander, F. Schindler, M. Hardick, M. Terranova, C. Lambertz, A. Lemme (2024) Assessing amino acid requirements of neonate larvae of the black soldier fly, Hermetia illucens. International Conference on Insects as Food, Feed and Non-Food INSECTA, Potsdam, 14.-16.05.2024, S. 46 (Präsentation).

Weitere geplante Veröffentlichungen:

- C. Sandrock, J. Wohlfahrt, T. Stadtlander, F. Schindler, M. Hardick, M. Terranova, F. Leiber, A. Lemme, C. Lambertz (…) Amino acid requirements of neonate larvae of the black soldier fly, Hermetia illucens. Journal of Insects as Food and Feed (to be submitted).