



Auswirkungen der teilweisen Substitution von Fischfutter durch zerkleinerte Larven der Schwarzen Soldatenfliege

Kurzbericht

Impressum

Projektnehmer:in: Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Fischereiwirtschaft und Gewässerökologie

Department für Fischereibiologie und Aufzuchtforchung

Adresse: Scharfling 18, 5310 Mondsee

Projektleiter:in: Mag. Dr. Franz Lahnsteiner

Projektmitarbeiter:in: Mag. Dr. Anna Dünser

Tel.: +43 7665 8251 720

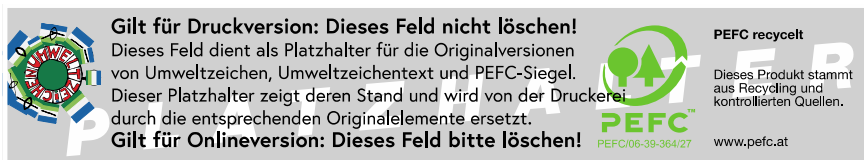
E-Mail: <mailto:franz.lahnsteiner@baw.at>

Finanzierungsstelle(n): Bundesministerium für Land- und Forswirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft

Projektlaufzeit: 01.08.2021 – 31.08.2023

(1). Auflage

Fotonachweis: Cover: Anna Dünser



Wien, 2024. Stand: 22. Januar 2024

Inhalt

1 Einleitung.....	4
2 Material und Methoden	6
2.1 Futterzusammensetzung.....	6
2.2. Versuchsaufbau	6
2.3. Probennahme und Analyse	7
3 Ergebnisse.....	8
Diskussion.....	11
Tabellenverzeichnis.....	14
Abbildungsverzeichnis.....	15
Literaturverzeichnis	16
Abkürzungen.....	19

1 Einleitung

Die Aquakulturindustrie wächst stetig, während der Fang von Arten, die direkt zur Herstellung von Fischmehl verwendet werden, abnimmt. Dies liegt nicht zuletzt an nachhaltigeren Fangmethoden und Managementpraktiken, wobei aber etwa 20% der Meeresfischerei immer noch für die Herstellung von Fischmehl genutzt werden (FAO 2022). Die steigende Nachfrage und damit steigenden Preise führen dazu, dass weniger gut verwaltete Fischereien von der direkten Nutzung für die menschliche Ernährung zur Produktion von Fischmehl wechseln, was wiederum Bedenken hinsichtlich der lokalen Lebensmittelsicherheit erhöht (FAO 2022).

Es ist dringend erforderlich, auf geeignete und nachhaltigere Inhaltsstoffe umzusteigen, wobei verschiedene potenzielle Inhaltsstoffe von mikrobiellen bis zu kommerziellen (Neben-)Produkten bereits untersucht werden (Albrechtsen et al. 2022). Dabei wurden auch schon verschiedene Insektenmehle für verschiedene Fischarten getestet (Nogales-Mérida et al. 2019), der Preis für Insektenmehl ist aber nach wie vor noch recht hoch. Trotz der Legalisierung von Insektenmehl von sieben verschiedenen Arten in Fischfutter (EG-Verordnung Nr. 2017/893) ist noch kein Futtermittel mit Insektenmehl in Österreich verfügbar.

Ein vielversprechender Kandidat für die Substitution von Fischmehl ist die Larve der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*). Während bisherige Studien keine negativen Auswirkungen der teilweisen Substitution von Fischmehl durch Soldatenfliegenmehl auf das Fischwachstum gezeigt haben (Sealey et al. 2011; Newton et al. 2005; St-Hilaire et al. 2007; Renna et al. 2017), wurde die Soldatenfliegenlarve bereits 1981 als Futter für Fische wie Tilapia und Welsen getestet (Bondari und Sheppard 1981). In diesen frühen Versuchen wurden ganze Larven als Fischfutter verwendet, wurden aber erst von den Fischen akzeptiert, nachdem die Larven zerkleinert wurden. Da ganze Insekten bereits Bestandteil der Ernährung von fleischfressenden Süßwasserfischen sind und die Verarbeitung von Insektenmehl zusätzliche Produktions- und Energiekosten verursacht, scheint die Zugabe von zerkleinerten ganzen Insekten zu Fischfutter vielversprechend für kleine Durchfluss-Aquakulturbetriebe.

Soldatenfliegenlarven (*H. illucens*) können mit verschiedenen Futtermitteln, von Obst- und Gemüseresten bis hin zu Nebenprodukten von Brauereien und Weinkellereien, aufgezogen werden und könnten somit auch dazu dienen, Nebenprodukte weiter zu nutzen (Meneguz

et al. 2018). Der Nährwert der Soldatenfliegenlarve ist stark variabel. Besonders abhängig ist er vom Futtersubstrat (Nogales-Mérida et al. 2019) und Unterschieden im Entfettungsprozess (Zozo et al. 2022), kann aber über 40% Protein und bis zu 30% Fett enthalten (Zozo et al. 2022).

In dieser Untersuchung haben wir die Auswirkungen der Substitution von bis zu 30% zerkleinerten Soldatenfliegenlarven in konventionellem Fischfutter untersucht. Ein besonderer Fokus lag dabei auf dem Wachstum, Verdauungsenzymen und der Zusammensetzung des Kots. Diese Parameter wurden bei einer Kreuzung aus weiblichen Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) und männlichen Seeforellen (*Salmo trutta*) sowie an reinen Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) getestet.

2 Material und Methoden

2.1 Futterzusammensetzung

Als Kontrollfutter wurde kommerzielles Fischfutter "Coppens Advanced" verwendet. Dieses diente auch als Grundlage für die teilweise Substitution mit den Larven der Soldatenfliege (Coppens Advanced: 56% Rohprotein, 15% Fett, 0,3% Rohfaser, 11,3% Asche und 1,77% Phosphor). Die getrockneten Soldatenfliegenlarven, die in dieser Studie verwendet wurden, bestanden zu 30,9% aus Rohprotein, 10% aus Rohfaser, 8,7% aus Rohasche, 37,4% aus Rohfett, 2,7% aus Calcium und 3,2% aus Phosphor gemäß Herstellerangaben (Stadtmühle Waldenbuch GmbH & Co. KG). Die zerkleinerten Soldatenfliegenlarven wurden dem Kontrollfutter in Anteilen von 15% und 30% der Gesamtfuttermenge hinzugefügt und extrudiert (Variable Density Extruder, Caleva).

2.2. Versuchsaufbau

Die in dieser Studie verwendeten Fischarten waren 11 Monate alte Regenbogenforellen (*O. mykiss*) und 10 Monate alte durch Druckbehandlung erzeugte Hybride zwischen Regenbogenforellen (*O. mykiss*) und Seeforellen (*S. trutta*). Diese Hybriden wurden in der Fischfarm Kreuzstein erzeugt, indem man Regenbogenforellen Eier mit Seeforellen Sperma befruchtete und die Eier 40 Minuten nach der Befruchtung bei 9°C unter 660 bar für 10 Minuten druckbehandelte.

Ursprünglich wurden in jedem Durchflusskanal insgesamt sieben Kilogramm der jeweiligen Fischart eingesetzt. Die Fische wurden zufällig den verschiedenen Futterbehandlungen zugeordnet. Jeder Durchflusskanal (190 x 25 x 35 cm, Länge x Breite x Höhe) wurde mit 0,2 l/s Wasser mit einer Temperatur von 9°C versorgt. Kontrollfische erhielten handelsübliches Fischfutter (Alltech Coppens), während in den beiden Versuchen das Futter entweder 15% oder 30% zerkleinerter Soldatenfliegenlarven enthielt.

2.3. Probennahme und Analyse

Das Gesamtgewicht aller Individuen für jede Studie wurde wöchentlich gemessen. Zusätzlich wurde eine Teilstichprobe für jede Studie einzeln gewogen. Am Ende der Studie (ungefähr nach 4 Wochen) wurden zufällig Kotproben von 20 Individuen entnommen; zehn dieser Proben wurden über Nacht bei 60°C getrocknet, und zehn wurden bei -20°C gelagert, bevor sie weiter analysiert wurden. Zehn Fische pro Behandlung wurden seziiert und gewogen, und Gesamt- und Standardlängenmessungen wurden durchgeführt. Darmproben wurden in 0,1 mol TRIS-Puffer mit 0,1% Triton X100 bei -20°C gelagert, um die enzymatische Aktivität weiter zu untersuchen.

Um die Auswirkungen der Substitution von Fischfutter durch Soldatenfliegenlarven zu untersuchen, wurden der Konditionsfaktor (Fulton's $K = 100 * \text{Gewicht}/(\text{TL})^3$), der viszerosomatische Index ($100 * \text{Därme}/\text{Gewicht}$), der hepatosomatische Index ($100 * \text{Leber}/\text{Gewicht}$) und der spleenosomatische Index ($100 * \text{Milz}/\text{Gewicht}$) bestimmt. Die spezifische tägliche Wachstumsrate wurde für jedes Wiegeintervall gemäß Crane et al. (2020) berechnet ($\text{SGR} = 100 * (\exp((\ln(W2) - \ln(W1))/\Delta T) - 1)$).

Die Konzentrationen von unlöslichen Proteinen, Lipiden, Phosphaten und Chitin wurden in Kotproben von zehn Individuen pro Behandlung für jede Studie bestimmt.

Es wurden mehrere wichtige Verdauungsenzyme getestet, die in breitere Kategorien unterteilt werden können: proteolytische Enzyme (Trypsin, Leucin-Aminopeptidase), lipolytische Enzyme (Lipase und Phospholipase) und hydrolytische Enzyme (Chitinase und α -Glukosidase). Darmproben wurden in Pufferlösung (0,1 mol Tris-Puffer, enthaltend 0,1% Triton X100) mit einem Stößelhomogenisator in den Eppendorf-Röhrchen homogenisiert. Anschließend wurden die Röhrchen für 5 Minuten bei 1000g zentrifugiert, um den Transfer unlöslicher Partikel zu vermeiden.

Unterschiede zwischen den Versuchen wurden mit einer ANOVA und einem Tukey-Post-hoc-Test überprüft. Alle statistischen Analysen wurden in R (R Core Team 2022) in Rstudio (RStudio Team 2022) durchgeführt. Dabei wurden die Pakete *here* (Müller 2020) und *tidyverse* (Wickham et al. 2019) verwendet. Alle photometrischen Assays wurden mit einem Multiskan™ FC Microplate Photometer (Thermo Fisher Scientific, USA) gemessen, mit Ausnahme der Chitinkonzentration, die mit einem UV-6300PC Doppelstrahl-Spektrophotometer (VWR) gemessen wurde.

3 Ergebnisse

Die spezifische tägliche Wachstumsrate zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungen, weder wenn sie für jeden Versuch noch für jede Art analysiert wurden (Tabelle 1). Die verschiedenen somatischen Indizes zeigten keine signifikanten Unterschiede bei der Analyse durch ANOVA, weder wenn sie nach Art kombiniert wurden, noch wenn sie für jeden einzelnen Versuch analysiert wurden.

Tabelle 1 Vergleich des Wachstums von Fischen in verschiedenen Behandlungen pro Art zu Beginn und am Ende des Versuchs. Gesamtgewicht aller Fische in jeder Behandlung pro Art [kg] (Mittelwert \pm Standardabweichung). Durchschnittliche signifikante Wachstumsrate (Mittelwert \pm Standardabweichung) für jeden Versuch pro Art. Konventionelles Fischfutter ohne Soldatenfliegenlarven (C); 15% Soldatenfliegenlarven (SF 15%); 30% Soldatenfliegenlarven (SF 30%). Anfangsgewicht (Wi); Endgewicht (Wf); Spezifische Wachstumsrate (SGR); Hybrid (H) (*Oncorhynchus mykiss* weiblich *Salmo trutta* männlich); Regenbogenforelle (RBT) (*Oncorhynchus mykiss*)

	C (H)	SF 15% (H)	SF 30% (H)	C (RBT)	SF 15%(RBT)	SF 30% (RBT)
Wi	8 \pm 1.41	8.07 \pm 1.52	8.03 \pm 1.45	7 \pm 0.00	7 \pm 0.00	7 \pm 0.00
Wf	11.8 \pm 3.96	12.47 \pm 4.21	12.03 \pm 4.21	8.53 \pm 0.04	8.93 \pm 0.11	8.93 \pm 0.11
SGR	1.14 \pm 0.67	1.29 \pm 0.74	1.17 \pm 0.74	0.62 \pm 0.13	0.76 \pm 0.12	0.75 \pm 0.15

Der Lipidgehalt des Kotmaterials unterschied sich nicht zwischen den drei Behandlungsmethoden, weder wenn die Versuche nach Arten zusammengefasst wurden, noch wenn sie separat analysiert wurden (Abbildung 1 A).

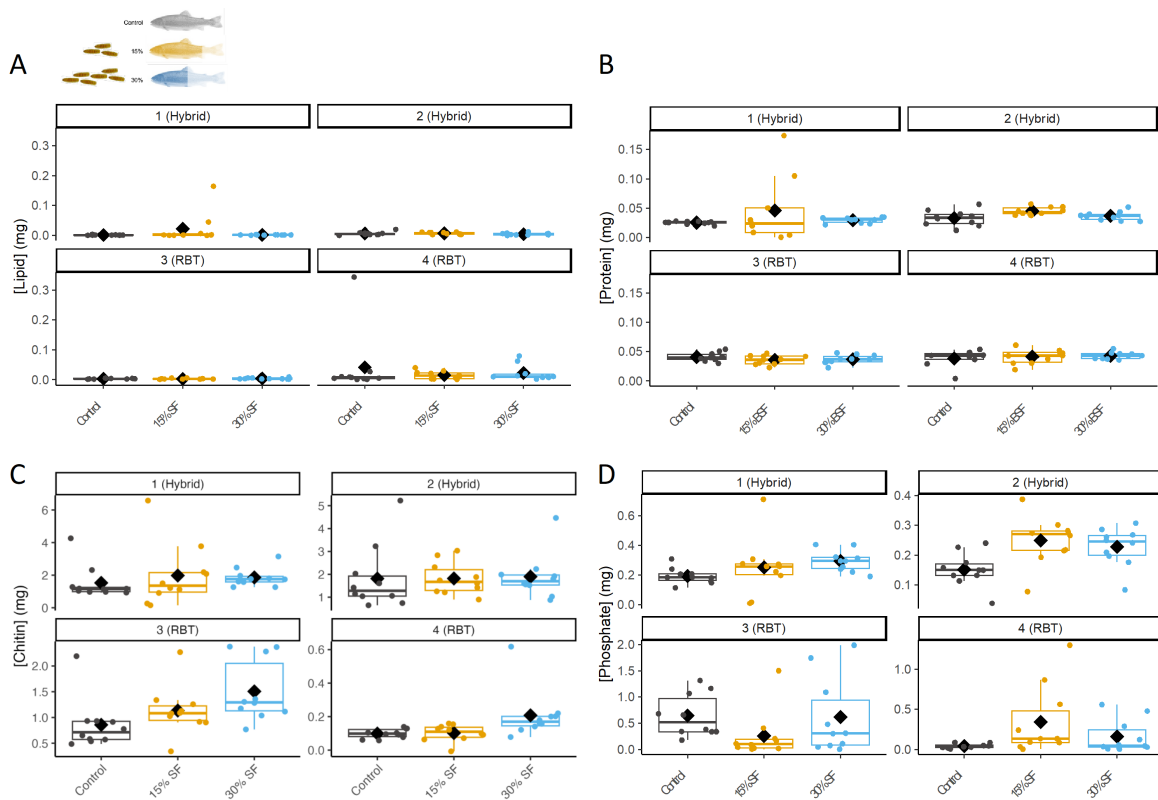
Signifikante Unterschiede im Proteingehalt des Kotmaterials konnten nur im zweiten Versuch (2 (Hybrid)) zwischen der Kontrolle und der Behandlung mit 15% SF festgestellt werden, wobei letztere eine signifikante Zunahme des Gesamtproteins zeigte (Abbildung 1 B).

Die Chitingehalte unterschieden sich signifikant im dritten Versuch (3 (RBT)) zwischen 30% SF und der Kontrolle, wobei die Chitingehalte der Behandlung mit 30% SF höhere Chitinkonzentrationen als die Kontrolle zeigten (Abbildung 1 C). Im vierten Versuch (4 (RBT)) konnte

ebenfalls ein signifikanter Unterschied im Chitingehalt für die Behandlung mit 30% SF im Vergleich zu den anderen beiden (15% SF und Kontrolle) festgestellt werden, wobei mehr Chitin im Kot der mit 30% SF gefütterten Fische gemessen wurde (Abbildung 1 C).

Die Phosphatkonzentration unterschied sich signifikant im zweiten Versuch (Hybrid), bei dem beide Behandlungen mit Insektenmehl höhere Phosphatkonzentrationen als die Kontrolle aufwiesen (Abbildung 1 D).

Abbildung 1: Analyse der Exkrementproben für jede Versuchswiederholung.



Gesamtkonzentration [mg] von (A) Lipiden, (B) Protein, (C) Chitin und (D) Phosphat in Exkrementproben der einzelnen Versuche. Konventionelles Fischfutter mit 0% Soldatenfliegenlarven (Control); 15% Soldatenfliegenlarven (SF 15%); 30% Soldatenfliegenlarven (SF 30%).

Unterschiede in der enzymatischen Aktivität wurden für jeden Versuch (1 und 3) separat analysiert. Für den ersten Versuch (1 Hybrid) konnten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) in der Aktivität der Enzyme Leucin-Amino-peptidase, Lipase, Phospholipase und Chitinase zwischen 15% SF und 30% SF sowie der Kontrolle und SF 30% beobachtet werden. Für den zweiten Versuch (3 RBT) konnte ein signifikanter Unterschied in der Alpha-Glukosidase (Kontrolle vs. 15% SF), Leucin-Amino-peptidase (Kontrolle vs. 30% SF), Lipase (15% SF vs.

30% SF sowie Kontrolle vs. 30% SF) und Phospholipase (Kontrolle vs. 30%) festgestellt werden.

Diskussion

Die erhöhte Nachhaltigkeit der Insektenmehlproduktion im Vergleich zur Fischmehlproduktion hat eine Vielzahl von Studien hervorgerufen, die verschiedene Insektenprodukte als Ersatz für Fischmehl in Fischfutter für mehrere Fischarten untersucht haben (Henry et al. 2015, Albrektsen et al. 2022). Obwohl die meisten Studien keine negativen Auswirkungen des Ersatzes von Fischproteinen und Fischölen durch Insekten gefunden haben (Renna et al. 2017), ist der weit verbreitete Einsatz von Insektenmehl in Fischfutter aufgrund der höheren Preise für Insektenmehl und der vergleichsweise kleinen Industrie noch nicht umgesetzt worden (Albrektsen et al. 2022). Dies wird sich aber vermutlich in naher Zukunft ändern.

Da auch karnivore Süßwasserfische in ihrer natürlichen Umgebung Insekten fressen (Nogales-Mérida et al. 2019), erscheint die Einbeziehung von zerkleinerten Insekten in die Süßwasseraquakultur logisch. Das Hinzufügen von geschredderten Larven könnte die Kosten für die Aufnahme von Insektenprotein senken und könnte relativ leicht von Aquakulturbetrieben angewendet werden, obwohl für die Pelletvorbereitung ein Extruder erforderlich ist. Hier haben wir die teilweise Substitution von konventionellem Fischfutter durch getrocknete und geschredderte Soldatenfliegenlarven anstelle von Insektenmehl untersucht.

Andere Studien haben bereits versucht, ganze oder zerkleinerte Insekten in Fischfutter für Süßwasserfische einzuführen, aber diese Studien haben größtenteils das gesamte Fischfutter durch verschiedene Insekten ersetzt. Bei Regenbogenforellen zu Beginn der exogenen Fütterung zeigte eine Diät aus gefrorenen Zuckmückenlarven eine leicht niedrigere Wachstumsrate im Vergleich zu kommerziellen Diäten (Ostaszewska et al. 2011). Während auch ein vollständiger Ersatz von Fischfutter durch Insekten zu einem verringerten Wachstum bei Gabelwelsen (*Ictalurus punctatus*) und blauen Tilapien (*Oreochromis aureus*) führte (Bondari und Sheppard 1981). In unserer Studie haben wir nur Teile des Fischfutters durch zerkleinerte Larven ersetzt und konnten keine Unterschiede in den somatischen Indizes oder im signifikanten Wachstum zwischen den Behandlungen und der Kontrolle feststellen, was darauf hinweist, dass es keine negativen Auswirkungen durch einem Zusatz von geschredderten Soldatenfliegenlarven von bis zu 30% zum Fischfutter für Regenbogenforellen und Hybriden (*O. mykiss* x *S. trutta*) geben sollte.

Der teilweise Ersatz von Fischfutter durch Insektenmehl wurde in mehreren Studien untersucht. Ähnliche Ergebnisse wie unsere wurden von St-Hilaire et al. (2007) erzielt, wo 25% der 50% des Fischmehlbestandteils durch Soldatenfliegen-Präpuppen ersetzt wurden und keine Auswirkungen auf den Futtermittelverwertungskoeffizienten festgestellt werden konnten. Die mit Soldatenfliegen (SF) gefütterten Fische zeigten jedoch eine Abnahme der Omega-3-Fettsäuren. Da Soldatenfliegenlarven auf unterschiedlichen Substraten gezüchtet werden können, wodurch sich ihr ernährungsphysiologisches Profil verändert (Nogales-Mérida et al. 2019), wurden sowohl nicht entfettete wie auch teilweise entfettete Soldatenfliegenlarven (Renna et al. 2017) als Futter für Forellen getestet. In einer Studie mit Fischschlachtennebenprodukten angereicherten Soldatenfliegen-Präpuppen und nicht angereicherten Soldatenfliegen-Präpuppen zeigte das Wachstum der mit nicht angereicherter Soldatenfliegen gefütterten Fische ein signifikant reduziertes Wachstum im Vergleich zu den mit Kontroll- und angereicherten Soldatenfliegen-Diäten gefütterten Fischen (Sealey et al. 2011).

Die vorliegende Untersuchung zeigte, dass die Zugabe von bis zu 30% zerkleinerten Insektenlarven zum kommerziellen Fischfutter keine negativen Auswirkungen auf die Fischleistung, oder die Zusammensetzung von festen Ausscheidungen hatte. Die Ergebnisse waren für Regenbogenforellen und den Hybriden ähnlich, wobei letztere empfindlicher auf unausgewogene Futterzusammensetzungen reagierte als die Regenbogenforellen. Die Aktivitäten der Darmenzyme zeigten großteils keine Abnahme aufgrund der Verabreichung von Insektenlarven. Nur Lipase und Phospholipase waren bei den Hybriden, die mit 30% Soldatenfliegenlarven gefüttert wurden leicht reduziert. Zusammengefasst bedeutet das, dass die Verdauungskapazität nicht reduziert wurde. Außerdem wiesen die Fische aktive Chitinase auf und konnten Chitin verdauen. Ähnlichkeiten in spezifischen Wachstumsraten, Konditionsfaktoren und viserosomatischen Indizes zwischen den Behandlungen deuten auf keine negativen Auswirkungen auf das Fischwachstum hin.

Da Insekten unterschiedliche Inhaltsstoffzusammensetzungen aufweisen, schlug Henry et al. (2015) eine Mischung aus Insektenmehlen vor, um Defizite in den Aminosäureprofilen auszugleichen, die bei einigen Insektenarten bekannt sind. BSF zeigen beispielsweise eine leichte Tryptophan-Defizienz, die durch die Aufnahme anderer Insektenmehle wie der gemeinen Stubenfliege (Henry et al. 2015) ausgeglichen werden könnte.

Fazit: Das Hinzufügen von geschredderten Insektenlarven zu kommerziellem Fischfutter mit Hilfe eines Extruders ist eine einfache Möglichkeit, nachhaltigere Zutaten in Fischfutter zu

integrieren. Der Einsatz von bis zu 30% geschredderten Soldatenfliegenlarven in Durchflusssystemen sollte keine negativen Auswirkungen auf das Fischwachstum, die Futterakzeptanz oder die Aktivität der Verdauungsenzyme bei Regenbogenforellen oder den untersuchten Hybriden haben. Da sich die Schwarzen Soldatenfliegenlarven von verschiedenen Futtermitteln ernähren können, bietet die Zugabe von Fischschlachtnebenprodukten und die dadurch mögliche Verbesserung der Fettsäurezusammensetzung der Insekten oder die Wiederverwendung von Nebenprodukten im Sinne der Kreislaufwirtschaft zusätzliche Argumente für die Verwendung von schwarzen Soldatenfliegenlarven in Fischfutter.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1

Tabelle 1 Vergleich des Wachstums von Fischen in verschiedenen Behandlungen pro Art zu Beginn und am Ende des Versuchs. Gesamtgewicht aller Fische in jeder Behandlung pro Art [kg] (Mittelwert \pm Standardabweichung). Durchschnittliche signifikante Wachstumsrate (Mittelwert \pm Standardabweichung) für jeden Versuch pro Art. Konventionelles Fischfutter ohne Soldatenfliegenlarven (C); 15% Soldatenfliegenlarven (SF 15%); 30% Soldatenfliegenlarven (SF 30%). Anfangsgewicht (W_i); Endgewicht (W_f); Spezifische Wachstumsrate (SGR); Hybrid (H) (*Oncorhynchus mykiss* weiblich *Salmo trutta* männlich); Regenbogenforelle (RBT) (*Oncorhynchus mykiss*) 8

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:Analyse der Exkrementproben für jede Versuchswiederholung.....	9
--	---

Literaturverzeichnis

Albrektsen S, Kortet R, Skov PV, Ytteborg E, Gitlesen S, Kleinegris D, Mydland L, Hansen JØ, Lock E, Mørkøre T, et al. 2022. Future feed resources in sustainable salmonid production: A review. *Reviews in Aquaculture* 14:1790–1812.

Bergmeyer H, Bergmeyer J, Grassl M, Berger R. 1985. Methods of enzymatic analysis. Vol. iv. "enzymes 2: Esterases, glycosidases, lyases, ligases." Weinheim; Deerfield Beach, Florida; Basel: Verlag Chemie, 1984.

Bondari K, Sheppard DC. 1981. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. *Aquaculture* 24:103–109.

Crane DP, Ogle DH, Shoup DE. 2020. Use and misuse of a common growth metric: guidance for appropriately calculating and reporting specific growth rate. *Reviews in Aquaculture* 12:1542–1547.

FAO. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. FAO.
https://www.fao.org/3/ca9229en/online/ca9229en.html#chapter-1_1
<http://www.fao.org/documents/card/en/c/cc0461en>

Henry M, Gasco L, Piccolo G, Fountoulaki E. 2015. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology* 203:1–22.

Katano H, Takakuwa M, Hayakawa H, Kimoto H. 2016. Determination of chitin based on the colorimetric assay of glucosamine in acidic hydrolysate. *Analytical Sciences* 32:701–703.

Lowry OH, Rosenbrough NJ, Farr AL, Randall RJ. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *The Journal of biological chemistry* 193:265–275.

Meneguz M, Schiavone A, Gai F, Dama A, Lussiana C, Renna M, Gasco L. 2018. Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98:5776–5784.

Müller K. 2020. Here: A simpler way to find your files. <https://CRAN.R-project.org/package=here>

Newton L, Sheppard C, Watson DW, Burtle G, Dove R. 2005. Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. Animal and Poultry Waste Management Center, North Carolina State University, Raleigh, NC, pp. 17.

Nogales-Mérida S, Gobbi P, Józefiak D, Mazurkiewicz J, Dudek K, Rawski M, Kierończyk B, Józefiak A. 2019. Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture* 11:1080–1103.

Ostaszewska T, Dabrowski K, Kwasek K, Verri T, Kamaszewski M, Sliwinski J, Napora-Rutkowski L. 2011. Effects of various diet formulations (experimental and commercial) on the morphology of the liver and intestine of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. *Aquaculture Research* 42:1796–1806.

Pinsirodom P, Parkin KL. 2005. Lipolytic Enzymes. In: Handbook of food analytical chemistry. Vol. 1-2. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. p. 369–383.

R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Renna M, Schiavone A, Gai F, Dabbou S, Lussiana C, Malfatto V, Prearo M, Capucchio MT, Biasato I, Biasibetti E, et al. 2017. Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8.

RStudio Team. 2022. RStudio: Integrated development environment for r. Boston, MA: RStudio, PBC Available from: <http://www.rstudio.com/>

Sealey WM, Gaylord TG, Barrows FT, Tomberlin JK, McGuire MA, Ross C, St-Hilaire S. 2011. Sensory Analysis of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, Fed Enriched Black Soldier Fly Prepupae, *Hermetia illucens*. *Journal of the World Aquaculture Society* 42:34–45.

St-Hilaire S, Sheppard C, Tomberlin JK, Irving S, Newton L, McGuire MA, Mosley EE, Hardy RW, Sealey W. 2007. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society* 38:59–67.

Wickham H, Averick M, Bryan J, Chang W, McGowan LD, François R, Golemund G, Hayes A, Henry L, Hester J, et al. 2019. Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software* 4:1686.

Zozo B, Wicht MM, Mshayisa VV, Wyk J van. 2022. The Nutritional Quality and Structural Analysis of Black Soldier Fly Larvae Flour before and after Defatting. *Insects* 13:1–10.

Abkürzungen

RBT	Regenbogenforelle
H	Hybrid (<i>O. mykiss</i> x <i>S. trutta</i>)
SF	Soldatenfliegenlarven (<i>H. illucens</i>)
SF15	15% Soldatenfliegenlarven
SF30	30% Soldatenfliegenlarven

Bundesamt für Wasserwirtschaft – Institut für Gewässerökologie und Fischereiwirtschaft

Scharfling 18

5310 Mondsee

www.baw.at/wasser-fische/