

Mehlwürmer als zukünftige Proteinalternative und Polystyrolabbaumethode



eigene Aufnahme

Teilnehmerinnen:	Anne Bergner (17 Jahre) Deborah Bodemann (17 Jahre) Marla Köhler (18 Jahre)
Erarbeitungsort:	Schülerforschungszentrum Jena
Projektbetreuerin:	Dr. Christina Walther
Thema des Projektes:	Entomophagie-der Verzehr von Mehlwürmern am Beispiel des Mehlwurms
Fachgebiet:	Biologie
Wettbewerbssparte:	Jugend forscht
Bundesland:	Thüringen
Wettbewerbsjahr:	2022/2023

Kurzfassung

Der Mehlwurm: Ein Insekt, welches nicht nur einen vielversprechenden Proteingehalt besitzt, sondern auch die Fähigkeit, Mikroplastik zu zersetzen? Mit dieser Thematik wurde sich in dem Projekt mit dem Arbeitstitel „Mehlwürmer als zukünftige Proteinalternative und Polystyrolabbaumethode“ beschäftigt. Der sogenannte „Mehlwurm“ bezeichnet eigentlich die Larve des Mehlkäfers, welcher unter dem Fachterminus „*Tenebrio molitor*“ bekannt ist.

Für diese Studie wurde über einen Zeitraum von sieben Monaten eine neue Generation dieser Larven aus einem im Fachhandel erworbenen Grundstock durch die Durchlaufung eines vollständigen Lebenszyklus des Mehlwurms gezüchtet. Dieser wurde mittels einer selbst konstruierten Mehlwurmzuchtstation durchgeführt. Die herangewachsenen Larven wurden einer Proteinbestimmung nach der „Bradford-Methode“ unterzogen, welche Auskunft über den prozentual in den Mehlwürmern enthaltenen Proteingehalt gibt. Es stellt sich heraus, dass die Mehlwürmer einen mit konventionellen Nutztieren vergleichbaren Proteinanteil von 21% (Generation 1) und 28% (Generation 2) zeigen.

Des Weiteren wurde ein Teil der Mehlwürmer einer neuen Umweltbedingung ausgesetzt: Polystyrol als alleinige Nahrungs- und Substratgrundlage. Die Stoffwechselprodukte der Mehlwürmer konnten anschließend durch eine Mikroplastikbestimmung mit Hilfe des Fluoreszenzfarbstoffes „Nilrot“ auf ihren Mikroplastikanteil untersucht werden. Es zeigte sich, dass der Kot der Mehlwurmgruppe Mikroplastik aufweist, sie das Mikroplastik folglich nicht zersetzt, sondern lediglich zerkleinert haben.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Vorgehensweise, Materialien und Methoden.....	3
2.1 Bau und Funktionsweise der Mehlwurmzuchtstation	3
2.2 Proteinbestimmung.....	5
2.3 Styroporexperiment und Mikroplastikuntersuchung.....	6
3. Ergebnisse	6
3.1 Mehlwurmzuchtstation	6
3.2 Proteinbestimmung.....	8
3.3 Mikroplastikuntersuchung.....	9
4. Ergebnisdiskussion	9
4.1 Mehlwurmzuchtstation	9
4.2 Proteinbestimmung.....	10
4.3 Mikroplastikuntersuchung.....	11
5. Zusammenfassung	11
6. Quellen- und Literaturverzeichnis.....	12
7. Unterstützungsleistungen	14

1. Einleitung

Die Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen prognostiziert bis 2050 einen Anstieg der Weltbevölkerung von 7,7 auf 9,6 Milliarden Menschen.¹ Bereits jetzt leiden 820 Millionen Menschen unter chronischem Hunger.² Aus diesem Grund stellt sich die Frage, wie der wachsende Lebensmittelbedarf der Bevölkerung gedeckt werden kann, insbesondere im Hinblick auf den Nährstoff Protein. Da Fleisch allein die Nachfrage nach Eiweiß nicht befriedigen kann und aufgrund seiner enormen Ressourcenintensität sowie teilweise unververtretbaren Produktionsmethoden nicht sollte, sind Veränderungen in Landwirtschaft sowie im Bereich der Lebensmittelerzeugung notwendig.³ Die Ernährung durch Insekten stellt dabei einen möglichen Lösungsansatz dar. Diese rückt immer mehr auch in den Fokus der westlichen Länder.⁴

Das Ziel dieser Arbeit ist es, zu untersuchen, inwiefern Mehlwürmer ein zukunftsfähige Proteinalternative der menschlichen Ernährung in Deutschland sein können und inwiefern sie potenziell zum Abbau von Polystyrol beitragen. Die Analyse dieser Thematik wird unter genauerer Betrachtung des Mehlwurms durchgeführt. Dieser bezeichnet die Larve des Mehlkäfers und ist unter dem Fachterminus „*Tenebrio molitor*“ bekannt.⁵ Grund für die Wahl dieses Kerbtiers besteht in seiner Zulassung durch die Novel-Food-Verordnung der EU als erstes Insekt in der Lebensmittelindustrie in Deutschland.⁶

Die aktuelle juristische Situation und geringe Akzeptanz in Deutschland beschränken die im Einzelhandel erwerbbar Insektenprodukte für Konsument*innen auf eine geringe Produktvielfalt von gefriergetrockneten Tieren.⁷ Aus diesem Grund liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit bei der privaten Umsetzung der Mehlwurmzucht. Hierzu wurde in Zusammenarbeit mit dem Schülerforschungszentrum Jena (SFZ) eine Mehlwurmzuchtstation konstruiert, angefertigt und über einen Zeitraum von sieben Monaten getestet. Diese diente dazu, einen vollständigen Lebenszyklus von Mehlwürmern durchzuführen. Anhand der dort gewonnenen Ergebnisse zeigt die Arbeit auf, inwiefern eine solche Mehlwurmzuchtstation für Privathaushalte geeignet ist. Die auf diese Weise gezüchteten Mehlwürmer

¹ Vgl. Post, Ulrich: Weltweiter demografischer Wandel: Welche Ursachen es für weiteren Anstieg gibt und was die Geburtenrate damit zu tun hat. Unter: <https://tinyurl.com/yrzjyu99> (Stand: 24.08.2022).

² Vgl. Leahy, Stephen: How to feed the world without destroying the planet. Unter: <https://tinyurl.com/mueukfm9> (Stand: 06.10.2022).

³ Vgl. ebd.

⁴ Vgl. Food and Agriculture Organization of the United Nation (Hrsg.): Der Beitrag von Insekten zu Nahrungssicherung, Lebensunterhalt und Umwelt. Unter: <https://tinyurl.com/2hk8c6s4> (Stand: 06.10.2022).

⁵ Vgl. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (Hrsg.): Gelber Mehlwurm als neuartiges Lebensmittel zugelassen. Unter: <https://tinyurl.com/22ymk9vw> (Stand: 06.10.2022).

⁶ Vgl. ebd.

⁷ VERORDNUNG (EU) 2015/2283 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom. 25. November 2015 über neuartige Lebensmittel, zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Verordnung (EG) Nr. 1852/2001 der Kommission, Kap. 1, Art. 3, Abs. 2a/V.

wurden anschließend auf ihren Proteingehalt untersucht. Ein weiterer Aspekt der Forschungsarbeit behandelt die Frage nach der Eigenschaft des Mehlwurms, Polyesterol abzubauen.

2. Vorgehensweise, Materialien und Methoden

2.1 Bau und Funktionsweise der Mehlwurmzuchtstation

Die Zuchtstation ist an den natürlichen Lebenszyklus angepasst, da sich die Insektenpezies *Tenebrio molitor* holometabol entwickelt.⁸ Das bedeutet, dass sie eine vollständige Metamorphose durchläuft. Diese unterteilt ihren Lebenszyklus in vier Entwicklungsstadien: Ei (drei bis neun Tage), Larve (drei bis 22 Wochen), Puppenstadium (fünf bis 28 Tage) und Imago (neun bis zu 13 Wochen).⁹



Abbildung: Lebenszyklus des *Tenebrio molitor*, eigene Aufnahme

Zudem basiert der Konstruktionsplan des Prototyps auf dem Desiderat von einem einerseits geringen Flächenverbrauch und einem andererseits hohen Ertrag. Als Konsequenz erfolgt die Anwendung des Vertical Farming Prinzips, welches sich in diesem Fall durch eine zusätzliche partielle Automatisierung durch die Trennung der einzelnen Stadien auszeichnet.¹⁰ Begründet wird die Separation mit dem Entgegenwirken gegen den Kannibalismusfaktor im Vergleich zu einem einzelnen Behältnis, da der *Tenebrio molitor* zu natürlichem Kannibalismus neigt und weitere Vorteile hinsichtlich der späteren Entnahme bestehen.¹¹

Die Grundlage der Zuchtstation bilden drei *Euroboxen* aus dem Kunststoff Polypropylen der Größe 30x20x7 cm sowie einem adäquaten Deckel. Die drei Behälter stellen die Einheiten für ein jeweiliges Stadium dar. Für eine Präparation der Behälter bedarf es eines Lötkolbens. Des Weiteren ist ein Gitternetz in der Abmessung 30x20 cm und ein polypropylen-geeigneter Klebstoff notwendig.¹²

⁸ Vgl. Trawka, Jessica: Betrachtung der Chancen und Risiken des Einsatzes von Insekten als alternative Proteinquellen und Entwicklung eines Prüfschemas für die Zulassung als neuartige Lebensmittel nach der Verordnung (EU) 2015/2283. Unter: <https://tinyurl.com/2s37cyfc> (12.07.2022).

⁹ Vgl. Hong, Jinsu/Han, Teahee u. a.: Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae) as an Alternative Protein Source for Monogastric Animal: A Review. In: *Animals*, 2020, S. 2079.

¹⁰ Vgl. ebd.

¹¹ Vgl. Lebender, Maren: Mehlwürmer - Das neue Fleisch? Unter: <https://tinyurl.com/38xewxez> (Stand: 02.10.2022).

¹² Vgl. Gennetta, Nicole: How To Start A Mealworm Farm: A Comprehensive Guide For Beginners. Unter: <https://tinyurl.com/yc89bdc7> (Stand: 03.08.2022).

Im ersten Schritt werden die Zuchtbehälter mit einem LötKolben an den oberen Kanten der Boxen sowie dem Deckel im Abstand von zwei Zentimetern perforiert, um eine ausreichende Luftzirkulation zu gewährleisten. Des Weiteren ist der Ausschnitt eines 24x14 cm großen Rechtecks in der oberen Ebene (1) notwendig. Eine Wiederholung dieses Vorgehens erfolgt bei der mittleren Ebene (2) mit der Ausschnittsgröße 28x18 cm und einem resultierenden Rand von einem Zentimeter, welcher die Klebefläche für das zugeschnittene Gitter darstellt.

Auf Grundlage dieser Vorbereitung lässt sich der Aufbau der Zuchtstation und die sich in diesem Zusammenhang ergebenden Aufgaben erläutern.

Die untere Einheit (3) bildet den Ausgangspunkt des Grundstockes, der ersten Generation des *Tenebrio molitor* im Larvenstadium. Das vorliegende Experiment benötigt eine Fläche von 600 cm² für 100 g Larven. Diese Menge entspricht einer Anzahl von circa 1000 Würmern, da ein Wurm etwa dem Gewicht von 0,1 g entspricht. Der Grundstock wird mit einem proteinreichen Ausgangssubstrat angereichert. Das Substrat stellt gleichzeitig die Hauptnahrungsquelle und den Lebensraum dar.¹³ In diesem Fall wurde der Versuch mit Haferflocken durchgeführt, da Hafer mit 15-20 % Eiweiß zu den proteinreichsten Getreidesorten zählt.¹⁴ Zusätzliche Frischfuttermittel sind optional und haben positive Auswirkungen auf die Biomasseproduktion, das Wachstum und die Wasserversorgung der Tiere. Als solches eignet sich zum Beispiel Obst oder Gemüse.¹⁵

Das oberste Stockwerk (1) ist dahingegen als Schlüpftrampe vorgesehen. Aus diesem Grund erfolgt eine manuelle Umsiedlung der verpuppten Larven des Grundstockes in diesen Bereich (1). Nach der Verpuppung gelangen die geschlüpften Käfer durch die Eigenbewegung hindurch das herausgeschnittene Loch in die mittlere Stufe (2). Diese zweite Etage ist der Lebensraum der Imagines und Ort ihrer Paarung, welcher ebenfalls mit Haferflockensubstrat ausgestattet ist. Durch das im Boden der mittleren Etage eingelassene Netz, können die gelegten Eier automatisch erneut in die Larvenetage fallen (3) und zur zweiten Generation heranwachsen.

¹³ Vgl. ebd.

¹⁴ Vgl. Mäkinen, Outi/Sozer, Nesli u. a.: Protein from oat: structure, processes, functionality, and nutrition. In: Sustainable Protein Sources, 2016, S. 105 – 119.

¹⁵ Vgl. Ritzenhoff, Peter: Zuchtversuche *Tenebrio molitor* auf verschiedenen Substraten. Unter: <https://tinyurl.com/4e639cat> (Stand: 05.08.2022).

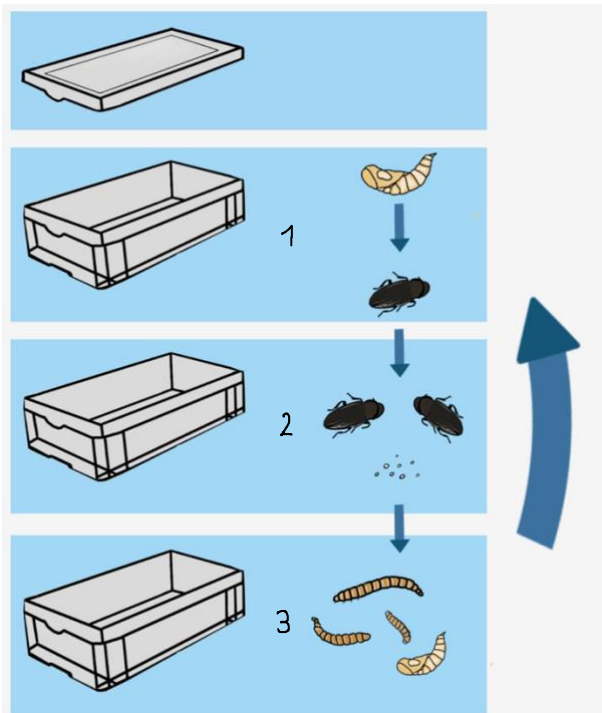


Abb.2: Funktionsweise der Mehlwurmzuchtstion, eigene Darstellung



Abb. 3: Aufbau Mehlwurmzuchtstion, eigene Aufnahme

Zum Aufgabenbereich der Zucht zählt das wöchentliche Füttern mit Substrat sowie die optionale Entfernung von Futterresten im Falle der Zugabe von Frischfutter und die Kontrolle der Tiere.

2.2 Proteinbestimmung

In Zusammenhang mit unserer Forschungsarbeit, stellte sich die Frage nach dem Proteingehalt der Mehlwürmer. Die quantitative Proteinbestimmung wurde in der Forscherwerkstatt des SFZ ausgeführt. Dabei wurde die erste und zweite Larvengeneration untersucht.

Durchgeführt wurde das Experiment unter Anwendung der *Bradford-Methode* mit dem Farbstoff Coomassie Brilliant Blue-G250.

Die zugrunde liegende Funktionsweise besteht aus der Abhängigkeit des Farbstoffes vom Säuregehalt der Lösung sowie der Fähigkeit sich an Proteine zu binden. Daraus resultiert ein Protein-Farbstoff-Komplex, der mit einem *Spektrometer* auf das Absorptionsverhalten unterschiedlicher Wellenlängen zu untersuchen ist. Dabei wird die Menge an Protein in einer Lösung ermittelt. Zur Erhöhung der Genauigkeit der Messungen, empfiehlt sich die Beziehung der Absorptionsmessungen auf eine Kalibrationsgerade mit dem Protein Rinderserumalbumin (RSA) und Wasser. Dieser Standard wurde im Vorfeld angefertigt.¹⁶ Auf den Ablauf der Untersuchung wird nun eingegangen.

Zunächst mussten zwei der Tiere durch Kälte getötet werden, wofür sie eingefroren wurden. Dieses Vorgehen lässt die Mehlwürmer zunächst in eine Kältestarre verfallen, da sie poikliotherm sind und

¹⁶ Vgl. Bradford, Marion: A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. In: ANALYTICAL BIOCHEMISTRY 72, 1976, S. 1 - 5.

anschließend ab einem Letalwert von 3° C der Kältetod eintritt.¹⁷ Anschließend erfolgte der Aufschluss der Proben. Hierbei wurden 50 mg der ersten Generation sowie 50 mg der zweiten Generation mit jeweils 50 ml Natronlauge (NaOH₃) versetzt. Anschließend wurden beide Probenlösungen im Thermoshaker bei 100° Celsius für 10 Minuten unter einer Drehzahl von 300 RPM aufgelöst und zentrifugiert. Darauf folgt die Zusammenführung einer angefertigten ROTI-Quant Färbelösung mit den Proben im Verhältnis 1:5000. Zum Abschluss wird die Mixtur im Spektrometer bei einer Wellenlänge von 595 nm untersucht.¹⁸

2.3 Styroporexperiment und Mikroplastikuntersuchung

Um die vermutete Eigenschaft des *Tenebrio molitor* zu untersuchen, Polystyrol zersetzen zu können, wurde in einem weiteren Experiment das Haferflockensubstrat mit Styropor ersetzt. Die Auswirkungen von Styropor als einzige Nahrungsgrundlage sollten anhand von Proben des Kotes und dessen Zusammensetzung untersucht werden.

Für dieses Experiment wurden 30g Mehlwürmer zusammen mit einem Gramm Polystyrol in eine transparente Kunststoffbox mit den Maßen 10x10x5 cm gesetzt. Diese wird üblicherweise speziell für den Mehlwurmtransport verwendet und ist deshalb mit zahlreichen Luftlöchern an den Seiten der Box ausgestattet, welche für die Atmung der Mehlwürmer notwendig sind. Für eine Dauer von drei Monaten haben die Mehlwürmer mit den neuen Umweltfaktoren gelebt.

Anschließend wurde eine Mikroplastikbestimmung mithilfe des Fluoreszenzfarbstoffes Nilrot durchgeführt.

Dafür wurde eine in Aceton gelöste Färbelösung aus Nilrot mit 1000 µg/ml Nilrot verwendet, um die Stoffwechselprodukte der beiden Vergleichsgruppen (Mehlwurmkot ohne Polystyrolsubstrat und Mehlwurmkot mit Polystyrolsubstrat) einzufärben.

Anschließend wurden die Proben mit einem Ethanol-Wasser-Gemisch in einem 5µm- Filter gespült und filtriert. Nach der Trocknung konnten diese mit grünem Licht der Wellenlängen 510-560 nm mikroskopiert werden. Dabei wurden orange Farbfilter von circa 600 nm zum Filtern des anregenden Lichts angewendet.¹⁹

3. Ergebnisse

3.1 Mehlwurmzuchtstation

Aufbauend auf dem vorherigen Kapitel wurde in einer selbst durchgeführten Zuchtstation ein kompletter Mehlwurmzyklus von *Tenebrio molitor* beobachtet. Im Folgenden werden die

¹⁷ Rützler, Hanni: Insekten: Das Potenzial des anderen Fleisches. Unter: <https://tinyurl.com/mjk6dzz> (Stand: 13.01.2023).

¹⁸ Vgl. ebd.

¹⁹ Höfling, Elias/Walther, Emilia: Untersuchung von Farbstoffen zur Fluoreszenzdetektion von Mikroplastik. Jugend forscht 2021, S. 5, 7.

Forschungsergebnisse genauer erläutert und es wird diskutiert, ob dies in Zukunft für Privathaushalte eine mögliche Form der Proteinversorgung darstellen könnte.

Beginnend ist festzuhalten, dass erfolgreich eine neue Generation Mehlwürmer (B) aus einem ersten erworbenen Grundstock (A) gezüchtet wurde.

■ Haferflocken (1925,5g) ■ Frischfutter (510,9g)

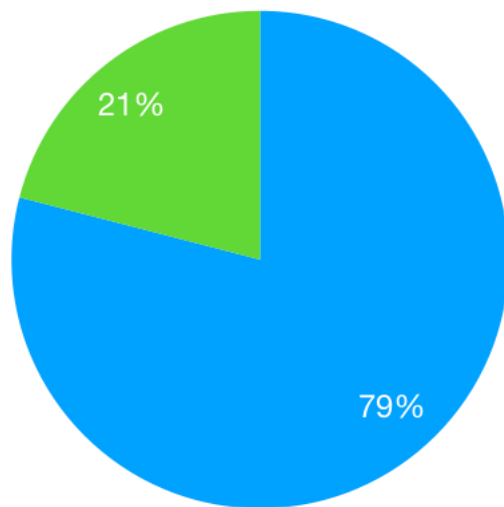


Abb. 4: Anteile von Frisch- und Trockenfutter, eigene Darstellung

Zudem benötigen die Mehlwürmer eine geringe Futtermenge. Dies ist in der obigen Abbildung dargestellt. In diesem Versuch setzt sich das Futter aus etwa 21% Frischfutter, wie beispielsweise Gurke, Apfel oder Möhre sowie 79% Haferflocken zusammen. Insgesamt wurden 511 g Frischfutter und 1926 g Haferflocken für die Zucht der Mehlwürmer über einen Zeitraum von sieben Monaten verwendet.

Ein negativer Aspekt der Eigenzüchtung war eine zu beobachtende Schimmelbildung in den letzten Wochen des Experimentes.

Die Dauer des Lebenszyklus von der ersten Larve bis zum Schlupf ihrer Nachkommen beträgt in diesem Experiment sieben Monate.

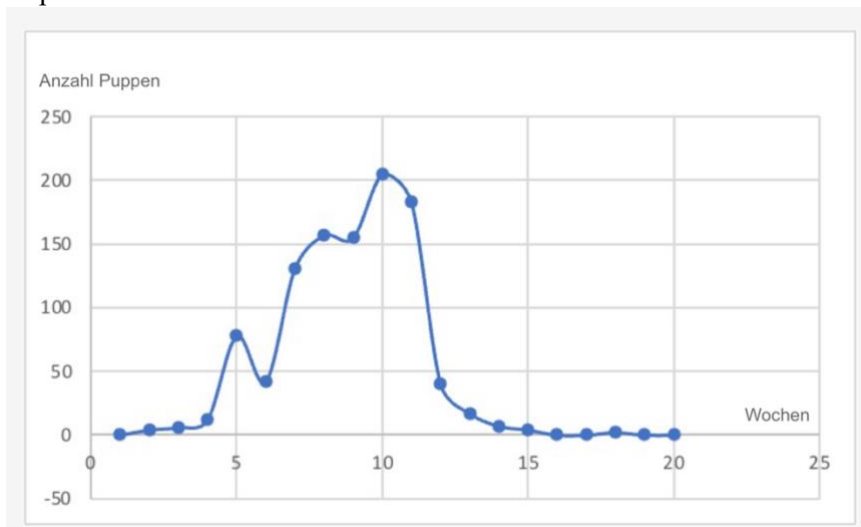


Abb. 5.: Entwicklung der Puppen in Abhängigkeit der Wochen der Züchtung, eigene Darstellung

Die Abhängigkeit der aus den Mehlwürmern entwickelten Puppen zu den Wochen des Experiments ist in der obigen Abbildung dargestellt. Die erste Puppe hat sich nach acht Tagen entwickelt. In den folgenden Wochen ist eine zunehmende Verpuppung der Mehlwürmer bis zu einem Hochpunkt in der fünften Woche mit 78 Puppen und bis zu einem Maximum in der zehnten Woche mit 205 Puppen zu erkennen. Anschließend nimmt die Anzahl der Puppen rapide ab, bis sie in der 19. Woche zum Erliegen kommt. Es lässt sich festhalten, dass am Ende des siebenmonatigen Mehlwurmzyklus eine Verdreifachung der Anfangsmenge von 100 g Mehlwürmer auf 300 g Mehlwürmer festzustellen war.

Betrachtet man nur das Wachstum der zweiten Generation der Mehlwürmer wurden insgesamt 772 g Futter eingesetzt. Das entspricht einer Futtermittelverwertungsrate (Feed Conversion Ratio=FCR) von 2,4 g Futter/ g dazugewonnenes Lebendgewicht (772 g Futter/ 322 g dazugewonnenes Lebendgewicht der zweiten Generation der Mehlwürmer).

3.2 Proteinbestimmung

Das Ergebnis zeigt, dass der Mehlwurm der ersten Generation einen Proteingehalt von 21 % aufweist, während der Mehlwurm der zweiten Generation 28 % Protein enthält.

Daraus ergibt sich die Erkenntnis, dass die Proteinmengen der beiden Generationen eine Differenz von 7% aufweisen.

3.3 Mikroplastikuntersuchung

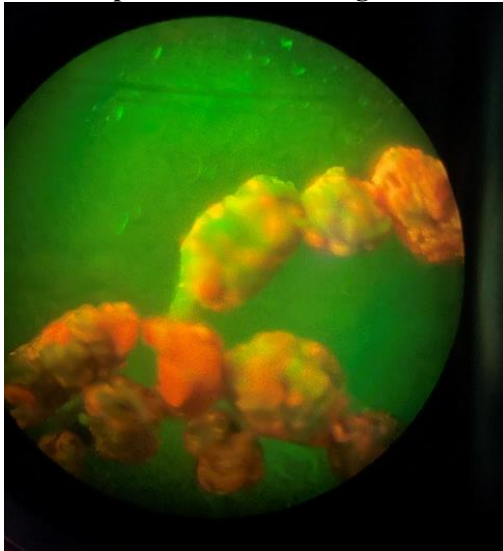


Abb. 6: Mikroplastikanteile der Mehlwürmer mit Polystyrolsubstrat, eigene Aufnahme

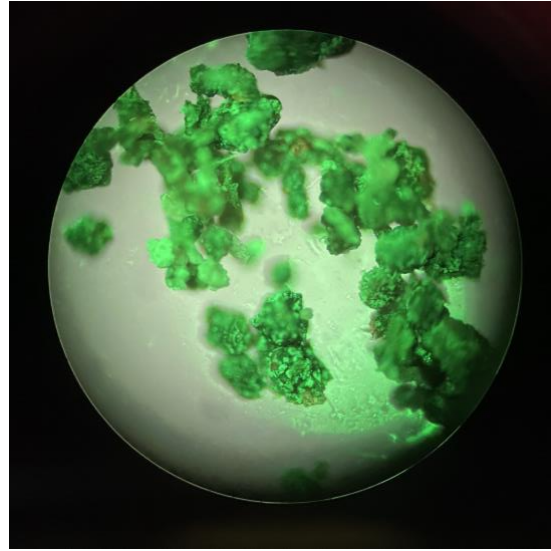


Abb. 7: Mikroplastikanteile der Mehlwürmer ohne Polystyrolsubstrat, eigene Aufnahme

Auf dem linken Bild zu sehen sind die Ergebnisse der Mikroplastikbestimmung der Mehlwürmer, welche als Substrat Polystyrol erhalten haben. Zu erkennen ist eine Orangefärbung, welche das Vorhandensein von Mikroplastik nachweist. Im Vergleich dazu ist auf der rechten Seite die mikroskopische Aufnahme der Mehlwürmer zu sehen, welche unter Normalbedingungen mit Haferflockensubstrat gelebt haben, bei welcher keine Orangefärbung und folglich kein Mikroplastik zu erkennen ist.

Darüber hinaus ist anzumerken, dass durch das Polystyrol als Lebensgrundlage eine Gewichtsabnahme der Würmer von 30 g auf 11 g festzustellen war.

4. Ergebnisdiskussion

4.1 Mehlwurmzuchtstation

Die Einfachheit der Zucht ist begründet in den geringen Ansprüchen an Zuchtfläche, Futtermenge und Wasserverbrauch.

Unter anderem aus diesen Gründen ist der Arbeitsaufwand zur Aufrechterhaltung des Mehlwurmzyklus im Vergleich zu anderen Zuchtverfahren gering. Durch die Stationierung der Mehlwurmzuchtstation in einem externen Forschungszentrum hat sich der Arbeitsaufwand erhöht. Es sind keine Vorkenntnisse für die Zucht von Mehlwürmern nötig, was sie von anderen konventionellen Zuchtmethoden wie der von Rind, Schwein oder Huhn unterscheidet.

Allerdings sind während der Zuchtphase Probleme aufgetreten. Die Entwicklung der Mehlwürmer ist temperaturabhängig, da sie wechselwarm sind.²⁰ Bei zu kalten und zu warmen Temperaturen verfallen

²⁰ Vgl. Adler, Leo/Bauer, Julius u. a.: Correlationen III. Wärme- und Wasserhaushalt. Umweltfaktoren. Schlaf. Altern und Sterben. Konstitution und Vererbung. Springer-Verlag, 2013, Berlin, S. 392.

sie in eine Starre. Diese Starre tritt beim Erreichen des tolerierten Minimums oder Maximums auf. Dies hat ein Versuch belegt, bei dem ein Teil der Mehlwürmer in einem Kühlschrank bei einer Temperatur von 7 ° Celsius aufbewahrt wurde und keine Bewegung, Gewichtszunahme oder Entwicklung zeigte. Bei einer zu hohen Temperatur können sie in eine Hitzestarre verfallen.²¹ Darauf zurückzuführen ist vermutlich auch die Schimmelbildung, die durch eine der verschiedenen möglichen Fehlerquellen verursacht wurde: eine zu hohe Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit und Frischfutterzugabe in Form von Gurke. Dieses Problem war durch den Austausch einer der vom Schimmel betroffenen Kisten behebbar, wodurch die Mehlwürmer erhalten werden konnten.

Der Lebenszyklus erwies sich als deutlich länger, als durch Literatur zu erwarten war. Dass der Lebenszyklus ca. sieben Monate beträgt ist darin begründet, dass die Puppenentwicklung sich je nach Mehlwurm über einen längeren Zeitraum gestreckt hat. In der Abbildung ist zu erkennen, dass die Puppenentwicklung stark schwankte, weshalb sich die vollständige Entwicklung der Mehlwürmer in Puppen als schleppend erwies.

Das Separieren der Puppen von den Mehlwürmern stellt sich ebenfalls als sehr aufwendig dar. Die Würmer verpuppen sich nicht zur gleichen Zeit, befinden sich somit immer in unterschiedlichen Phasen der Entwicklung und müssen wöchentlich von den entwickelten Puppen getrennt werden müssen.

Überdies ist die Mehlwurmzuchtstation optimierbar, denn in der Etage der Puppen stellt sich der Rand, auf dem die Puppen aufliegen, als zu klein dar. In diesem Experiment mussten zwei der Etagen übereinander aufgesetzt werden, um genügend Platz zu schaffen. Die angedachten drei Etagen für die drei Entwicklungsstadien (Mehlwurm, Puppe, Imago) des *Tenebrio molitor* mussten auf vier Etagen erweitert werden.

4.2 Proteinbestimmung

Die Ergebnisse unterscheiden sich stark von den wissenschaftlichen Daten:

	Mehlwurm (roh, unverarbeitet) ²²	Mehlwurm (gefriergetrocknet) ²³	Mehlwurm (eigene Proteinbestimmung, erste Generation)	Mehlwurm (eigene Proteinbestimmung, zweite Generation)
Eiweiße je 100g in g	19,4	45,1	21	28

Abb. 8: Vergleich der Ergebnisse der Proteinbestimmung mit wissenschaftlichen Quellen

²¹ Vgl. Hauer, Phillip: Wechselwarme und gleichwarme Tiere im Vergleich. Unter: <https://tinyurl.com/sjc3bpdm> (Stand: 13.07.2022).

²² Vgl. Nonaka/Payne u. a.: edible insects more or less 'healthy' than meats?. S. 286 - 287.

²³ Vgl. ebd., S. 286 - 287.

Im Vergleich zu wissenschaftlichen Quellen ist festzustellen, dass sich eine Differenz der Proteingehalte der ersten Generation zu wissenschaftlichen Erhebungen von 1,6% für rohe, unverarbeitete Mehlwürmer und 24,1% zu gefriergetrockneten Mehlwürmern ergibt. Die zweite Generation unterscheidet sich um 8,6% zu den rohen, unverarbeiteten Mehlwürmern und 17,1% zu den gefriergetrockneten Mehlwürmern.

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Züchtung möglicherweise eine Steigerung des Proteingehaltes in den Generationen bewirken könnte. Ein Aspekt, der dabei jedoch berücksichtigt werden sollte und eine diskutable Fehlerquelle darstellt, ist der Altersunterschied der Insektenproben von sechs Monaten. Eine weitere Fehlerquelle ist einerseits, dass sich der Chitinpanzer nicht vollständig in der Natronlauge während der Proteinbestimmung aufgelöst hat, also nicht der vollständige Proteingehalt des Mehlwurms erfasst werden konnte und andererseits, dass die Mehlwürmer zuvor nicht einer 24-stündigen Futterkarenz ausgesetzt waren, folglich keine vollständige Entleerung des Darminhaltes möglich war. Außerdem besteht ein möglicher Unterschied der Eiweißgehalte der Individuen sowie Ungenauigkeiten der Messgeräte.

4.3 Mikroplastikuntersuchung

Der positive Nachweis von Mikroplastik im Mehlwurmkot lässt darauf schließen, dass die über einen Zeitraum von drei Monaten getesteten Mehlwürmer entgegen der gefundenen Literatur²⁴ kein Polystyrol abbauen können, sondern es lediglich fressen, zerkleinern und ausscheiden. Zusätzlich lässt sich durch die Gewichtsabnahme der schlussfolgern, dass das Polystyrol negative Auswirkungen auf die Lebensfunktionen des Mehlwurms hat. Aus diesem Grund lässt sich die zu Beginn aufgestellt Vermutung, dass sich der *Tenebrio molitor* als Abbaumethode von Polystyrol eignet, nicht bestätigen.

5. Zusammenfassung

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass es durch die eigens gebaute Mehlwurmzuchtstation für Privatpersonen möglich ist, selbst Mehlwürmer zu züchten. Die Zucht ist mit wöchentlichem Aufwand verbunden: Fütterung, Reinigung der Zuchtstation und Separieren der Puppen.

Die Mehlwürmer zeigen einen relativ hohen Proteingehalt und sind somit als alternative Proteinquelle geeignet. Haushalte könnten alternativ ihre Proteinversorgung eigenständig durch die Mehlwurmzuchtstation ergänzen.

Als Zersetzer von Mikroplastik sind Mehlwürmer nicht geeignet, da sie sich entgegen der aufgestellten Vermutungen weder weiter entwickelt haben, noch das Mikroplastik völlig zersetzen konnten, sondern lediglich zerkleinert haben.

²⁴ Yang, Yu/ Yang, Jun u.a.: Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part I. Chemical and Physical Characterization and Isotopic Tests. In: Environmental Science & Technology 2015, 49, 20, S. 12080 - 12086.

6. Quellen- und Literaturverzeichnis

Bücher

Adler, Leo/Bauer, Julius u. a.: Correlationen III. Wärme- und Wasserhaushalt. Umweltfaktoren. Schlaf. Altern und Sterben. Konstitution und Vererbung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, o. O., 1926.

Ausätze und Zeitschriften

Bradford, Marion: A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. In: ANALYTICAL BIOCHEMISTRY 72, 1976.

Hong, Jinsu/Han, Teahee u. a.: Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae) as an Alternative Protein Source for Monogastric Animal: A Review. In: Animals, 2020.

Höfling, Elias/Walther, Emilia: Untersuchung von Farbstoffen zur Fluoreszenzdetektion von Mikroplastik. Jugend forscht 2021

Mäkinen, Outi/Sozer, Nesli u. a.: Protein from oat: structure, processes, functionality, and nutrition. In: Sustainable Protein Sources, 2016.

Nonaka, K./Payne, C.R.L u. a.: Are edible insects more or less 'healthy' than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and undernutrition. In: European Journal of Clinical Nutrition, 2016.

Yang, Yu/ Yang, Jun u.a.: Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 1. Chemical and Physical Characterization and Isotopic Tests. In: Environmental Science & Technology 2015.

Internetquellen

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (Hrsg.): Gelber Mehlwurm als neuartiges Lebensmittel zugelassen.

https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/01_lebensmittel/2021/2021_05_04_PI_Mehlwurm.html (Stand: 06.10.2022).

Food and Agriculture Organization of the United Nations (Hrsg.): Der Beitrag von Insekten zu Nahrungssicherung, Lebensunterhalt und Umwelt. Unter: <https://www.fao.org/3/i3264de/i3264de.pdf> (Stand: 18.08.2022).

Gennetta, Nicole: How To Start A Mealworm Farm: A Comprehensive Guide For Beginners. Unter: https://www.heritageacresmarket.com/mealworm-farm/#Choosing_The_Best_System_For_Your_Needs (Stand: 03.08.2022).

Hauer, Phillip: Wechselwarme und gleichwarme Tiere im Vergleich. Unter: [https://www.philippbauer.de/info/bio/wechselwarm-gleichwarm/#:~:text=Die%20Toleranzbereich%20\(%22Lebensbereich%22\),ein%20sehr%20beretes%20Pr%C3%A4ferendum%20haben](https://www.philippbauer.de/info/bio/wechselwarm-gleichwarm/#:~:text=Die%20Toleranzbereich%20(%22Lebensbereich%22),ein%20sehr%20beretes%20Pr%C3%A4ferendum%20haben) (Stand: 13.07.2022).

Jetzke/Richter u. a.: Die Zukunft im Blick: Fleisch der Zukunft. Unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-25_trendanalyse_fleisch-der-zukunft_web_bf.pdf. (Stand: 24.09.2022).

Leahy, Stephen: How to feed the world without destroying the planet. Unter: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/how-to-feed-the-world-without-destroying-the-planet> (Stand: 06.10.2022).

Lebender, Maren: Mehlwürmer - Das neue Fleisch? Unter: <https://blog.zhdk.ch/dieweltretten/2018/04/03/mehlwuermer-das-neue-fleisch/> (Stand: 02.10.2022).

Post, Ulrich: Weltweiter demografischer Wandel: Welche Ursachen es für weiteren Anstieg gibt und was die Geburtenrate damit zu tun hat. <https://www.welthungerhilfe.de/welternahrung/rubriken/klima-ressourcen/demografischer-wandel-weltweit> (Stand: 09.10.2022).

Ritzenhoff, Peter: Zuchtversuche Tenebrio molitor auf verschiedenen Substraten. Unter: <https://www.iff-braunschweig.de/wp-content/uploads/2020/02/IGF-27-LN-Zuchtversuche-Tenebrio-molitor-auf-verschiedenen-Substraten.pdf#page11> (Stand: 05.08.2022).

Rützler, Hanni: Insekten: Das Potenzial des anderen Fleisches. Unter: <https://tinyurl.com/mjk6dzdz> (Stand: 13.01.2023).

Trawka, Jessica: Betrachtung der Chancen und Risiken des Einsatzes von Insekten als alternative Proteinquellen und Entwicklung eines Prüfschemas für die Zulassung als neuartige Lebensmittel nach der Verordnung (EU) 2015/2283. Unter: <https://tinyurl.com/2s37cyfc> (12.07.2022).

Verordnungen und Gesetzestexte

VERORDNUNG (EU) 2015/2283 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom. 25. November 2015 über neuartige Lebensmittel, zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Verordnung (EG) Nr. 1852/2001 der Kommission, Kap. 1, Art. 3, Abs. 2a/V.

7. Unterstützungsleistungen

Unser Dank gilt dem SFZ. Durch intensive, zielführende Betreuung sowie die finanzielle Unterstützung unseres Projektes machte das Schülerforschungszentrum Planung und Umsetzung des Baus der eigenen Mehlwurmzuchtstation sowie die Aufzucht der Mehlwürmer möglich. Besondere Anerkennung möchten wir Frau Dr. Christina Walther widmen, da sie uns über mehrere Monate hinweg eine enge Betreuung ermöglichte und uns wichtige Impulse für das Erstellen der Arbeit gab.