

HLUW Yspertal
Am Campus 1
3683 Yspertal



Diplomarbeit 2019/2020

Insekten als Nahrungsmittel im Sinne einer Kreislaufwirtschaft

Fachrichtung:

Umwelt und Wirtschaft

VerfasserIn:

Juliane Hausner, 5AUW, 8

Jasmin Kerschbaumer, 5AUW, 14

Jana Leonhartsberger, 5AUW, 17

BetreuerInnen:

DI Dr. Angelika Pfeifer, Chemie und chemische Umweltanalytik

DI Johannes Bichl, Biologie und ökologische Umweltanalytik

27.02.2020

Datum der Abgabe

1. EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Marbach, am 27.02.2020;

Verfasserin: Juliane Hausner

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Waldhausen, am 27.02.2020;

Verfasserin: Jasmin Kerschbaumer

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Waldhausen, am 27.02.2020;

Verfasserin: Jana Leonhartsberger

2. ZUSAMMENFASSUNG (ABSTRACT)

DEUTSCH

Ziel der Diplomarbeit ist es festzustellen, wie sich der Proteingehalt von Insekten in Bezug auf die Züchtung und im Vergleich zu üblichen Lebensmitteln verhält, sowie den Insektenkot als potenziellen Dünger zu analysieren.

Der Lebensmittelbedarf steigt zusehends an, jedoch ist nicht genügend Fläche vorhanden, um Viehzucht und Landwirtschaft dementsprechend auszubauen. Deshalb könnten Insekten als Nahrungsmittel in der Zukunft von großer Bedeutung sein. Daraus entstand die Idee Insekten zu züchten, ihren Proteingehalt zu analysieren sowie ihren Kot als Dünger zu gewinnen und zu analysieren. Diese Arbeit kann als Grundlage für die Forschung, aber auch Menschen, die Wert auf einen nachhaltigen Lebensstil legen, als Informationsgrundlage dienen.

Für die Projektarbeit wurden Mehlwürmer zur Untersuchung herangezogen. Um festzustellen, unter welchen Umgebungsbedingungen die Zucht von Mehlwürmern am erfolgreichsten ist, werden Mehlwürmer in verschiedenen Terrarien gehalten, die in Einstreu, Lichtverhältnissen und Temperatur variieren.

Der Proteingehalt wird mittels Kjeldahl-Analyse bestimmt. Die Proben werden unter hohem Druck und hoher Temperatur aufgeschlossen. Weiters werden sie destilliert und titriert. Um den Kot aus der Mehlwurmzucht zu gewinnen, wird der Kot von Einstreu und Mehlwürmern durch Siebung getrennt. Der Kot sowie die anderen Düngemittel, die zum Vergleich herangezogen werden, werden aufgeschlossen, und, um ihre Löslichkeit zu bestimmen, in Wasser und Zitronensäure extrahiert. Anschließend kann der Phosphorgehalt mittels ICP-OES bestimmt werden.

Durch die Mehlwurmzucht kann festgestellt werden, dass durch Semmelbrösel als Einstreu die größte Anzahl an Mehlwürmern (1382 Stück) erreicht wird, diese allerdings das geringste Gewicht pro Mehlwurm aufweisen. Das höchste

Durchschnittsgewicht pro Larve (0,053) wird in einem beheizten Terrarium erzielt, allerdings ist hier nur eine geringe Anzahl zu finden. Diese Tatsache lässt sich auf die RGT-Regel und möglicherweise auf kannibalistisches Verhalten zurückführen. Die Proteinanalyse der unterschiedlich gezüchteten Mehlwurmprouben ergibt, dass die Mehlwürmer, die in Mehl lebten, am meisten Proteine aufweisen (höchster Proteingehalt: 16,69 %). Es konnte festgestellt werden, dass ein größeres Durchschnittsgewicht pro Mehlwurm nicht zwingend einen höheren Proteingehalt zufolge hat. Mehlwürmer sind, in Bezug auf deren Proteingehalt, vergleichbar mit konventionellen Lebensmitteln, da zum Beispiel Mehlwürmer einen ähnlichen Proteingehalt aufweisen wie Kantwurst, die 20,24 % Proteine enthält. Im Zuge des Vergleichs mit handelsüblichen Düngemitteln kann festgestellt werden, dass der Mehlwurmkot mit 0,94 % wasserlöslichen Phosphor mehr unmittelbar verfügbaren Phosphor als Biodünger mit 0,16 % und Guano-Dünger 0,61 % besitzt, und mit 0,75 % säurelöslichem Anteil auch eine gute langfristige Phosphorquelle im Vergleich zu Blaukorn mit 1,86 %.

Als Gesamtfazit der Arbeit lässt sich sagen, dass Mehlwürmer ressourcenarm gezüchtet werden können, da auch Abfallprodukte, wie Semmelbrösel, als Futtermittel verwendet werden können. Bei der Züchtung wird kaum CO₂ oder Methan frei und sie können als Proteinlieferanten für Mensch und Tier dienen. Wenn sie in Massen als Tierfutter für Hühner produziert werden, fügen sie sich perfekt in eine Kreislaufwirtschaft ein. Der bei der Züchtung gewonnene Kot kann aufgrund seines hohen Potentials Verwendung als Düngemittel finden, um die knappen mineralischen Phosphatreserven zu schonen. Die Diplomarbeit wurde für den Energy Globe Award Niederösterreich in der Kategorie „Jugend“ nominiert.

Die Untersuchung von weiteren Insektenarten sowie die psychologische Akzeptanz von Insekten als Lebensmittel könnten für die Behandlung dieses Themas noch von Bedeutung sein.

Somit hat Mehlwurmkot großes Potential als Düngemittel, welches gegenüber konventionellen Düngern konkurrenzfähig ist.

The aim of this thesis is to find out how high the protein content of insects is with regard to their breeding and in comparison with usual food as well as analyse their excrements as a potential fertilizer. The requirement on food is increasing, but there isn't enough expanse to extend livestock breeding and agriculture. Because of that insects as food could be of great importance in the future. Out of that the idea was born to breed insects, analyse their protein content as well as collect and analyse their excrements as a possible fertilizer. The thesis could be basic information for scientific research but also for people who attach value on living a sustainable life.

In this project mealworms were chosen for the investigations. To detect under what conditions breeding mealworms is most successful, they were kept in different terrariums in which litter, light and temperature were varying. The protein content is detected with the "Kjeldahl" analyses. The samples are unlocked under high pressure and temperature. They also get distilled and titrated. To gain the excrements from the mealworm breeding the excrements get removed from the bedding with sieves. The excrements and other usual fertilizers get unlocked, and the solubility should also be detected, therefore the fertilizers get extracted with water and citric acid. To find out the phosphorus content of the fertilizers and the mealworm excrements the samples get analysed with the "ICP".

With breeding the mealworms it's identified that the highest number of mealworms could be reached with using breadcrumbs as the bedding, but these animals have the lowest mass per worm. The highest mass per mealworm are reached in the terrarium which was heated, but here is only a small number found. Reasons for this are the "RGT" rule and possibly the cannibalistic behaviour of the mealworms. The protein analyses from the mealworms bred under different conditions show, that the worms who were living in flour have the most proteins. In contrast to the mealworms who were living in

semolina and breadcrumbs have low proteins. Furthermore, it was detected that a high mass per mealworm doesn't automatically lead to a higher protein content. Mealworms are, regarding the protein content, comparable with usual food. In comparison with the analyzed fertilizers, the mealworm excrement has more for the plant immediately available phosphorus than biological fertilizers. Besides, in comparison with mineral fertilizers, he is a good phosphorus source in the long-term too. This is the reason, why mealworm excrement has a huge potential as fertilizer, and is able to compete with conventional fertilizers. The conclusion of the thesis is, that mealworms can be breed with little resources and they emit not much CO₂ or methane, and provide proteins for humans and animals. They produced excrements while growing can be used for fertilisation and save phosphate. So the mealworm perfectly fits in a sustainable cycle. The thesis was submitted to the Energy Globe Award Lower Austria in the category "Youth". The investigation of other insects and the psychological acceptance from insects as food can be important for dealing with this topic in the future.

3. INHALTSVERZEICHNIS

1. EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	1
2. ZUSAMMENFASSUNG (ABSTRACT).....	2
DEUTSCH.....	2
ENGLISH.....	4
3. INHALTSVERZEICHNIS	6
4. EINLEITUNG	9
5. THEORETISCHE GRUNDLAGEN	11
5.1. INSEKTEN ALS NAHRUNGSMITTEL (JASMIN KERSCHBAUMER)	11
5.1.1. <i>Kulturelle Verbreitung</i>	11
5.1.2. <i>Ökologische Bedeutung</i>	12
5.1.3. <i>Gesunde Ernährung</i>	13
5.1.4. <i>Die Produktion von Insekten (Jana Leonhartsberger)</i>	14
5.2. DER MEHLWURM/MEHLKÄFER (<i>TENEBRIO MOLITOR</i>) (JASMIN KERSCHBAUMER)	17
5.2.1. <i>Systematik</i>	17
5.2.2. <i>Entwicklungsstadien</i>	18
5.2.3. <i>Morphologie</i>	19
5.2.4. <i>Die Nutzung des Mehlwurms (Jana Leonhartsberger)</i>	21
5.3. PROTEINE (JANA LEONHARTSBERGER)	22
5.3.1. <i>Allgemeines über Proteine</i>	22
5.3.2. <i>Räumlicher Aufbau</i>	23
5.3.3. <i>Bedeutung für den Organismus</i>	25
5.3.4. <i>Eiweißmangel</i>	26
5.3.5. <i>Eiweißhaltige Lebensmittel</i>	27
5.3.6. <i>Nachweis von Eiweiß</i>	27
5.4. PHOSPHOR – PHOSPHATDÜNGUNG (JULIANE HAUSNER).....	28
5.4.1. <i>Allgemeines zu Phosphor</i>	28

5.4.2. Phosphat-Dünger – Problematik des Phosphatabbaus.....	29
5.4.3. Löslichkeit von Phosphor im Boden – Pflanzenverfügbarkeit.....	30
5.4.4. Phosphor-Dynamik im Boden.....	32
5.5. TECHNISCHE GERÄTE.....	34
5.5.1. Kjeldahlsche Stickstoffbestimmung (Jana Leonhartsberger).....	34
5.5.2. Funktionsweise ICP-OES (Juliane Hausner).....	35
6. DURCHFÜHRUNG	37
6.1. MEHLWURMZUCHT (JASMIN KERSCHBAUMER).....	37
6.1.1. Aufbau der Terrarien und Start der Zucht.....	37
6.1.2. Laufende Pflege.....	41
6.1.3. Ausmisten, Zwischenzählungen und Endzählung.....	42
6.2. PROTEINANALYSE (JANA LEONHARTSBERGER).....	43
6.2.1. Verwendete Chemikalien und Geräte.....	43
6.2.2. Mehlwürmer.....	44
6.2.3. Lebensmittel.....	46
6.3 DÜNGERANALYSE (JULIANE HAUSNER).....	47
6.1.7. Gewinnung des Mehlwurmkots:.....	47
6.1.8. Bestimmung des Phosphorgehaltes.....	48
7. ERGEBNISSE.....	53
7.1. MEHLWURMZUCHT (JASMIN KERSCHBAUMER).....	53
7.1.1. Allgemeine begebenheiten bei der Mehlwurmwucht.....	53
7.1.2. Anzahl.....	58
7.1.3. Gewicht.....	60
7.1.4. Zusammenhänge und Interpretation.....	62
7.2. PROTEINANALYSE (JANA LEONHARTSBERGER).....	63
7.2.1. Ergebnisse der Kjeldahl-Analyse.....	63
7.2.2. Ermittlung des Proteingehaltes.....	64
7.2.3. Proteingehalt der Mehlwürmer – Interpretation.....	66
7.2.4. Proteingehalt der Lebensmittel – Inerpretation.....	68

7.2.5. Interpretation - Mehlwürmer im Vergleich zu Lebensmittel.....	69
7.3 DÜNGERANALYSE (JULIANE HAUSNER).....	71
7.3.1 Ermittlung des Phosphorgehalts.....	71
7.3.2. Darstellung der Ergebnisse	75
7.3.3 Interpretation der Ergebnisse.....	76
7.3.4. Anwendbarkeit in der Praxis.....	77
8. DANKSAGUNG	80
9. QUELLENVERZEICHNIS.....	81
10. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	83
11. TABELLENVERZEICHNIS	85
12. LEBENSLÄUFE	87
13. ANHANGSVERZEICHNIS	92
14. PROJEKTHANDBUCH	102

4. EINLEITUNG

Die Ernährung ist ein Thema, mit dem sich jeder Mensch auseinandersetzen muss und das auch für künftige Generationen von großer Bedeutung sein wird. Vor allem eine nachhaltige Lebensmittelproduktion ist hier gefragt, denn die Weltbevölkerung wächst stetig und somit auch der Konsum. Allerdings neigen sich die Flächenkapazitäten, vor allem in der Viehzucht, langsam dem Ende zu. Doch trotz aller negativer ökologischer Aspekte bleiben proteinhaltige Lebensmittel in der menschlichen Ernährung unverzichtbar, weshalb sich die Forschung alternativen Proteinquellen zuwendet. Insekten in der Ernährung stellen eine dieser Alternativen dar und mit der Erforschung dieser befasst sich die Arbeit „Untersuchung von Insekten im Sinne einer Kreislaufwirtschaft“.

Der erste Part beschäftigt sich mit der richtigen Zucht von Mehlwürmern, der zweite Teil mit der Proteinanalyse dieser Larven und dem Proteingehalt anderer Lebensmittel. Im dritten Teilbereich der Arbeit werden der Mehlwurmkot und auch andere Düngemittel auf ihr Düngepotential untersucht. Im Gesamten ergeben die drei Themen eine Möglichkeit eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft in Gang zu setzen.

Die Arbeit verfolgt mehrere Ziele. Durch die Mehlwurmzucht soll festgestellt werden, unter welchen Umwelteinflüssen der beste Ertrag erzielt werden kann. Die Proteinanalyse soll zeigen, wie der Proteingehalt der Mehlwürmer im Vergleich zu anderen Lebensmitteln variiert. Aufgrund der Phosphoranalyse soll sich zeigen, ob der Mehlwurmkot gegenüber anderen Düngemitteln ein vergleichbares Düngepotential aufweist.

Bei der Zucht der Mehlwürmer werden verschiedene Futtermittel verwendet, weiters werden künstlich beleuchtete und verdunkelte, sowie beheizte Verhältnisse erzeugt. Um die Entwicklung nach vier Monaten zu bewerten, werden zu Beginn, während der Laufzeit und am Ende des Versuches Zählungen und Wägungen durchgeführt. Der

Proteingehalt wird von den unter verschiedenen Umwelteinflüssen gezüchteten Mehlwürmer, mithilfe einer Kjeldahl-Analyse, bestimmt. Zum Vergleich werden andere proteinhaltige Lebensmittel des Alltags ebenso mit der Kjeldahl-Analyse auf ihren Proteingehalt untersucht. Der Phosphorgehalt des Mehlwurmkots und anderer, handelsüblicher Dünger wird mittels ICP-OES bestimmt. So kann das Potential des Mehlwurmkots eingeschätzt werden.

Im ersten Teil der Arbeit werden theoretische Themen behandelt, die zum Verständnis von Durchführung, Ergebnissen und Interpretation beitragen sollen. Danach wird in der Durchführung die Methodik der Mehlwurmzucht, Proteinanalyse und Düngermanalyse beschrieben. Darauf folgen die Ergebnisse der einzelnen Forschungsfragen inklusive Interpretationen. Zum Schluss werden die verwendeten Quellen aufgelistet.

Mit dieser vorwissenschaftlichen Arbeit wird keine geeignete Zuchtmethode für den Hausgebrauch entwickelt. Ebenso wird die Eignung von Mehlwürmern als Nahrungsmittel oder als Ersatz für sonstiges Fleisch nicht festgestellt.

5. THEORETISCHE GRUNDLAGEN

5.1. INSEKTEN ALS NAHRUNGSMITTEL (JASMIN KERSCHBAUMER)

„Entomophagie“ ist ein Fachbegriff, der eine Ernährung mit Insekten bezeichnet. Diese Bezeichnung bezieht sich ursprünglich zwar nicht speziell auf den Menschen, sondern auf alle Organismen, die sich der Insekten als Nahrungsquelle bedienen, allerdings manifestiert sich die Bedeutung des Begriffes Entomophagie in Bezug auf die menschliche Ernährung.

(vgl. Kahlstatter, 2018, 11)

5.1.1. KULTURELLE VERBREITUNG

Die europäische Kultur scheint sich von der Entomophagie, also Insekten als Nahrungsquelle, abgewandt zu haben, doch historisch betrachtet standen auch auf unserem Kontinent üblicherweise Insekten auf dem Speiseplan.

Schon 700 vor Christus stellten Heuschrecken eine beliebte Delikatesse dar. Selbst in der Bibel und im Koran sind Hinweise darüber zu finden, dass Heuschrecken und auch andere Insektenarten ein regelmäßig verspeistes Nahrungsmittel darstellten. Auch auf dem Speiseplan der Römer waren zum Beispiel Larven oder Zikaden zu finden, sowie die Holzbohrerraupe, die auch im alten Griechenland geschätzt wurde.

Weshalb die Entomophagie heute in Europa ausgestorben zu sein scheint ist nicht eindeutig beantwortbar. Einen nicht unwichtigen Faktor stellen jedoch die klimatischen Bedingungen dar, da das Klima großen Einfluss auf das Wachstum von Insekten hat. So gedeihen in tropischen Regionen wesentlich größere Insekten in ebenfalls größerem Ausmaß als im, vergleichsweise, kalten Europa. Da man die Aufzucht von größerem Vieh, wie zum Beispiel Schwein oder Rind, unter diesen Bedingungen als einfacher einschätzte, wurde dieses bevorzugt.

Der soziokulturelle Blickwinkel spielt hier ebenfalls eine wichtige Rolle. Bei der Abneigung gegen Insekten als Nahrungsmittel handelt es sich eher um einen subjektiven und anerzogenen Ekel und seltener um eine objektiv begründete Scheu.

Heute ernähren sich zwar bis zu 30% der Weltbevölkerung, also knapp zwei Milliarden Menschen, regelmäßig von Insekten, allerdings hauptsächlich in Asien, Afrika und Lateinamerika, also in tropischen Gebieten. Dort herrschen auch geeignete klimatische Bedingungen für das Insektenwachstum. Die dortigen Urwälder stellen einen guten Lebensraum für größere Insekten dar, sind aber eher ungeeignet für Land- und Viehwirtschaft. Weiters ist Entomophagie oft dort zu finden, wo Insekten in der Ernährung unersetzlich sind. Auch in alten Kulturen, fernab der westlichen Modernisierung ist diese Essgewohnheit häufig, wie z.B. bei den Aborigines Australiens, auf papua-neuguineischen Inseln oder in einigen afrikanischen Staaten. Auch in Thailand, Mexiko, Peru oder Kolumbien werden die verschiedensten Insekten als Delikatessen verspeist, denn einen ebenso essenziellen Grund für den Verzehr von Insekten stellt schlicht und einfach die kulturelle Tradition auf dem Speiseplan dar.

(vgl. Kahlstatter, 2018, 11ff)

5.1.2. ÖKOLOGISCHE BEDEUTUNG

Geht man von der eisfreien Landfläche der Erde aus, wird ein Viertel dieser für die Tierhaltung genutzt. Ein Drittel aller landwirtschaftlichen Nutzflächen dient dem Anbau von Futtermitteln für diese Tiere. Durch diesen Flächenverbrauch geht die vermehrte Nutztierhaltung auch mit einer vermehrten Rodung des Waldes einher, vor allem da Rinder mit Soja gefüttert werden, der auf abgeholzten Regenwaldflächen angebaut wird. Zudem wird noch zehnmal mehr Wasser als Pflanzliche Nahrung zur Fleischproduktion benötigt.

Weiters muss das Treibhauspotential betrachtet werden, welches durch die Treibhausgase der Viehwirtschaft entsteht, denn dieses macht 18% des anthropogen verursachten Treibhauseffektes aus. Den Schätzungen von Wissenschaftlern zufolge ist die Schuld am Klimawandel zu 4% allein auf die Rinderzucht zurückzuführen. Der Treibhausgasausstoß einer Kuh pro Tag entspricht den Treibhausgasen, die von einem sparsamen Kleinwagen auf einer Strecke von 100 km ausgestoßen werden.

(vgl. Berg, 2007, 24ff)

„Diese Daten und Fakten machen uns eins klar: Wir müssen umdenken und zwar gewaltig. Und hier kommen essbare Insekten ins Spiel. Sie stellen eine wirklich gute Alternative zum Fleischkonsum dar.“ (Kahlstatter 2018, 26)

Um dieselbe Menge an Proteinen wie Kühe zu bilden verbrauchen Insekten 90% weniger Wasser und Futtermittel und produzieren dabei auch noch 99% weniger Kohlendioxide als diese.

(vgl. Kahlstatter, 2018, 27ff)

5.1.3. GESUNDE ERNÄHRUNG

Insekten als Nahrungsmittel stellen eine gesündere Alternative zu Fleisch oder Fisch dar, denn sie bestehen zwar ebenso aus Lipiden und Proteinen, die der Insekten sind jedoch hochwertiger. Weiters sind in ihnen auch Ballaststoffe, Mikronährstoffe, ungesättigte Fettsäuren und Aminosäuren, ebenso wie Magnesium, Zink, Eisen, Phosphor, Kupfer, Mangan und Selen enthalten. Hinzu kommen noch Vitamin A, B1, B2 und D. Dadurch kann unser Körper durch Insekten ausreichend mit Nähr- und Vitalstoffen versorgt werden.

Hier ein Überblick über die Nährwerte einiger handelsüblicher Insektenarten (je 100g):

	Mehlwürmer	Grillen	Heuschrecken	Buffalowürmer
Energie:	550 kcal	458 kcal	559 kcal	484 kcal
Kohlehydrate:	5,4 g	0,0 g	1,1 g	6,7 g
Ballaststoffe:	6,5 g	7,7 g	8,4 g	6,9 g
Proteine:	45,1 g	69,1 g	48,2 g	56,2 g
Salz:	0,37 g	1,03 g	0,43 g	0,38 g
Fette:	37,2 g	18,5 g	38,1 g	24,7 g

Tabelle 1: Nährwerte von Insekten; Quelle: Kahlstatter 2018, 35

Um diese Werte in Relation zu Fleisch zu betrachten: während ein kg Rindfleisch zu 22% aus Proteinen besteht, enthält dieselbe Masse Grillenfleisch 65% Proteine.

Die Medikamente, die durch das tierische Futter über den Konsum von Fleisch in unseren Körper gelangen sind ebenfalls ernst zu nehmen, da sie Resistenzen aufbauen. Im Gegensatz zum Fleisch ist man hier mit Insekten als Nahrungsmittel am ehesten auf der sicheren Seite.

(vgl. Kahlstatter, 2018, 32ff)

5.1.4. DIE PRODUKTION VON INSEKTEN (JANA LEONHARTSBERGER)

In Südostasien, aber auch in Europa, spezialisieren sich erste Firmen auf die industrielle Zucht von essbaren Insekten, um der steigenden Nachfrage gerecht zu werden. Hauptsächlich werden diese „Insekten-Farmen“ in Europa von kleinen, mittelständigen Unternehmen betrieben, die Insekten ursprünglich als Futter für Zootiere und exotische Haustiere produziert haben. Damit die produzierten Insekten lebensmittelhygienischen

Standards genügen und für den menschlichen Verzehr geeignet sind, haben einige dieser Firmen ihre Produktion bereits umgestellt.

Im Vergleich zur konventionellen Tierhaltung von Hühnern, Schweinen und Rindern, weist die Zucht von Insekten, bei ausgewählten Nachhaltigkeitsindikatoren viele Vorteile auf.

	Mehlwurm	Heimchen	Wander- heuschrecke	Huhn	Schwein	Rind
Essbarer Anteil [%]	100	80	80	55	55	50
Futtermittelnutzung [kg Futter/kg Körpermasse]	2,2	2,1	-	4,5	9,1	25
Energieverbrauch [MJ/kg]	173	-	-	80-152	95-236	177-273
CO₂-Äquivalente [g/kg Massenzuwachs]	7,58	1,57	17,72	-	1130	2850
NH₃ [mg/Tag/kg Massenzuwachs]	1	142	36	-	1920	-
Landnutzung [m ² /kg]	18	-	-	42-52	47-64	144-258
Wasserverbrauch [l/g]	-	2	-	34	57	112

Tabelle 2: Ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren für die Produktion von Insekten und konventionellen Nutztieren;

Quelle: Fiebelkorn, 2017, 108

Der essbare Anteil liegt beispielsweise von Insekten mit 80 – 100 % wesentlich höher als bei konventionellen Nutztieren, bei denen nur ca. 50 % vom Menschen verzehrt wird, während Haut, Knochen und innere Organe häufig verworfen werden. Insekten sind im Gegensatz zu den homoiothermen (= gleichwarmen) Nutztieren, poikilotherm (=wechselwarm), weshalb sie eine bessere Futtermittelnutzung als Hühner, Schweine und Rinder haben. Daher benötigen sie keine Energie für die Aufrechterhaltung ihrer Körpertemperatur und können diese direkt für das Wachstum nutzen.

Bei der Produktion von Insekten ist die Erzeugung von Treibhausgasen, besonders von CH₄ und N₂O, wesentlich geringer als bei Hühnern, Schweinen und Rindern.

Schweine und Rinder geben bis zu 100mal mehr Treibhausgase als Mehlwürmer, Grillen und Heuschrecken ab.

In vielen Fällen führt die Entstehung von Ammoniak, vor allem aus Dung und Urin konventioneller Nutztiere, zu einer Versauerung und Überdüngung des Bodens mit Stickstoff. Die konventionelle Landwirtschaft ist weltweit für 64 % der gesamten NH_3 – Emissionen verantwortlich. Insekten schneiden auch hier besser ab: Die NH_3 – Emissionen von Mehlwürmern, Heimchen und Wanderheuschrecken liegen weit unter denen von Schweinen.

Aufgrund der wesentlich geringeren Ansprüche von Insekten im Vergleich zu konventionellen Nutztieren kann auch der Flächen- und Wasserverbrauch reduziert werden.

Die Produktion von Insekten könnte zudem eine Reihe an sozialen und ökonomischen Vorteilen mit sich bringen. In tropischen Ländern könnte ein Ausbau der Zucht von Insekten zum Beispiel viele neue Jobs für den Lebensunterhalt der lokalen Bevölkerung liefern. Insekten könnten unter geringem technischen Aufwand und vor Ort kostengünstig auf nachhaltige Art und Weise gezüchtet und auch nach Europa exportiert werden.

Eine Kombination von konventioneller Tierhaltung mit innovativer Insektenzucht wäre auch denkbar, so könnten zum Beispiel Insekten die anfallende Abwärme und organische Abfälle nutzen, um letztere in hochwertiges Protein umzuwandeln, welches dann wiederum als hochwertiges Tierfutter für Hühner, Schweine und Rinder genutzt wird.

(vgl. Fiebelkorn, 2017, 106ff)

5.2. DER MEHLWURM/MEHLKÄFER (*TENEBRIO MOLITOR*) (JASMIN KERSCHBAUMER)

Ein bekanntes Beispiel für Insekten in der Ernährung stellt der Mehlwurm dar. Er findet bereits als Tierfutter Verwendung und erfreut sich auch in der menschlichen Ernährung immer größerer Beliebtheit.

5.2.1. SYSTEMATIK

Klasse:	Insekten (<i>Insekta</i>)
Ordnung:	Käfer (<i>Coleoptera</i>)
Unterordnung:	<i>Polyphaga</i>
Überfamilie:	<i>Tenebrionoidea</i>
Familie:	Schwarzkäfer (<i>Tenebrionidae</i>)
Art:	Mehlkäfer (<i>Tenebrio molitor</i>)



Abbildung 1: Mehlwurmkolonie; Quelle: Köckeritz, 2015, 8

Beim Mehlwurm handelt es sich nicht um einen Wurm, auch wenn sein Aussehen an einen Ringelwurm erinnert, sondern um ein Insekt, denn als Mehlwurm wird die Larve des Mehlkäfers bezeichnet.

(vgl. Bense, 1989, 10ff) (vgl. Köckeritz, 2015, 5f)

5.2.2. ENTWICKLUNGSSTADIEN

Wie alle Käfer gehört auch der Mehlkäfer zu den Insekten, die eine vollständige Verwandlung (Holometabola) durchmachen, wobei sie sich vom Ei, über die Larve und die Puppe zum ausgewachsenen Insekt (Imago) entwickeln. Das Erscheinungsbild der Larven unterscheidet sich meist sehr von dem der Imagines, die Puppen befinden sich äußerlich betrachtet in einem Ruhestadium, in dem sie keine Nahrung aufnehmen.

(vgl. Bense, 1989, 8)

Die Mehlwürmer, also die Larven, schlüpfen aus den Eiern, die von den weiblichen Imagines abgelegt werden. Haben sich die Larven weit genug entwickelt, hüllen sie sich in einen Kokon und werden zu Puppen. Im Puppenstadium werden Körperteile und Organe ausgebildet, allerdings wird in dieser Zeit keine Nahrung aufgenommen und die Puppe kann lediglich ihr Hinterteil bewegen. Aus der Puppe schlüpft letzten Endes der voll entwickelte Käfer. Von einem Mehlwurmweibchen werden wiederum 70 bis 150 Eier abgelegt.

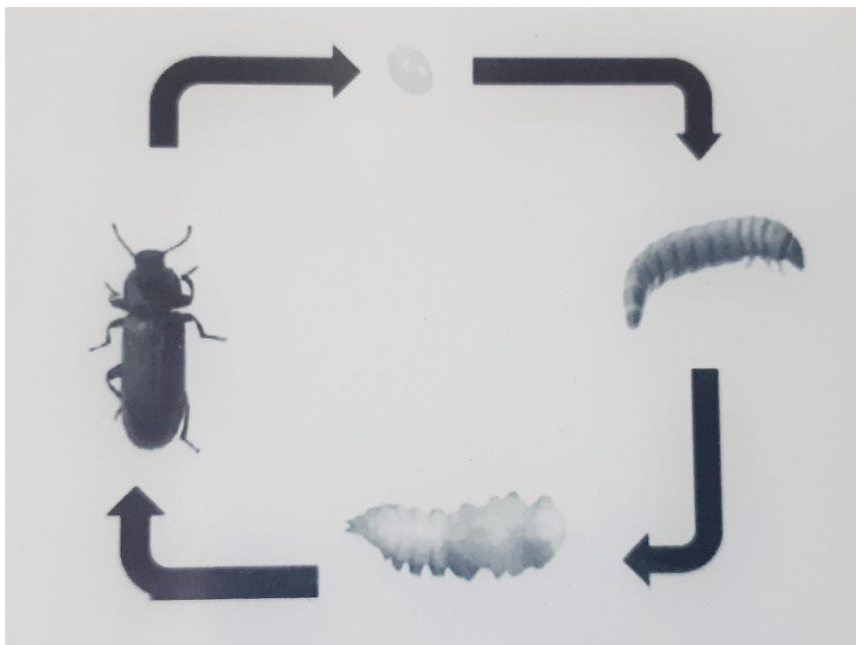


Abbildung 2: Lebenszyklus des Mehlkäfers; Quelle: Köckeritz, 2015, 7

Die Dauer der einzelnen Entwicklungsstadien ist stark variabel und hängt vom Nahrungsangebot und den vorherrschenden Temperaturen ab.

Bei der Entwicklungsdauer gelten folgende Richtwerte:

Stadium	Dauer
Eier-Stadium	4 - 19 Tage (kalte Temperaturen: 20 bis 40 Tage)
Larven-Stadium	etwa 10 Wochen, aber Larven sind erst nach etwa einer Woche sichtbar
Puppen-Stadium	6 - 18 Tage (bei Kälte auch etwas länger)
Käfer-Stadium	8 - 12 Wochen (Eiablage startet nach 4 - 19 Tagen)

Tabelle 3: Dauer der Entwicklungsstadien; Quelle: Köckeritz 2015, 8

Unter ungünstigen Bedingungen ist allerdings bekannt, dass das Larvenstadium bis zu ein Jahr andauern kann.

(vgl. Köckeritz, 2015, 6ff)

5.2.3. MORPHOLOGIE

EI

Die Eier des Mehlkäfers sind glänzend weiß und 1 bis 1,5 mm groß. Aufgrund ihrer klebrigen Hülle haften oft Nährsubstrat oder Staub an ihnen, sodass sie schwer erkennbar sind.

LARVE (MEHLWURM)

Im Gegensatz zu einem Wurm weist der Mehlwurm drei krallige und gegliederte Beinpaare auf, die ihm zur Fortbewegung dienen. Weiters verfügt er über Punktaugen, die es ihm ermöglichen hell und dunkel zu unterscheiden und Antennen. Der Körper der Larve ist in viele Segmente unterteilt und wird in eine Kopfkapsel, einen Brustteil und den Hinterleib gegliedert. Am letzten kegelförmigen Hinterleib-Segment sind zwei Dornen erkennbar. Außerdem verfügt der Mehlwurm über Beißzangen, die zur Nahrungszerkleinerung dienen.

Die Haut des Mehlwurms ist relativ hart und besteht hauptsächlich aus Chitin, sie wächst allerdings nicht mit, weshalb sich Mehlwürmer regelmäßig häuten. Die Larven weisen eine goldbraune Färbung auf, nur direkt nach der Häutung sind sie weißlich.



Abbildung 3: Mehlwurm während der Häutung; Quelle: Köckeritz, 2015, 5

Eine frisch geschlüpfte Larve ist weniger als 2 mm groß, ausgewachsene Exemplare können eine Größe von 28 mm erreichen.

PUPPE

Zu Beginn des Puppenstadiums ist die Puppe weich und weißlich, sie wird jedoch langsam härter und bekommt eine gelbliche bis goldbraune Färbung. Ist sie schwärzlich, ist die Puppe verendet.

In diesem Stadium sind die Tiere ca. einen cm groß.

KÄFER (IMAGO)

Nach dem Schlüpfen der Puppe ist der Käfer weißlich bis hellbraun, er erhält jedoch schnell seine typische dunkelbraune bis schwarze Farbe. An der Unterseite ist der Käfer rostbraun. Der Imago weist einen abgeflachten Körperbau auf, auf seinen Deckflügeln sind längsseitige Furchen erkennbar. Er hat eine Größe von 12 bis 18 mm. (Verwechslungsgefahr: Laufkäfer)

(vgl. Köckeritz, 2015, 5ff)

5.2.4. DIE NUTZUNG DES MEHLWURMS (JANA LEONHARTSBERGER)

Mehlwürmer werden vorzugsweise als Futtermittel für Reptilien, Säugetiere, insektenfressende Vögel und Fische eingesetzt.

MEHLWÜRMER ALS FUTTERTIERE FÜR REPTILIEN

Reptilien benötigen eine ihrer Art entsprechende vollwertige Nahrung. Gerne verfüttern Reptilienfreunde und –züchterInnen Mehlwürmer. Jedoch sind Mehlwürmer nicht als Alleinfutter geeignet, da sie einen hohen Fettgehalt aufweisen. Als gelegentlichen Snack können sie verabreicht werden. Mehlwürmer sind als Futtermittel kurzfristig in größerer Menge angebracht, wenn Tiere ihre Energiereserven nach längerer Futterverweigerung beziehungsweise nach der Eiablage wiederauffrischen müssen.

MEHLWÜRMER ALS FUTTERTIERE FÜR SÄUGETIERE

Da Mehlwürmer hochwertige Proteine enthalten, sind sie für die Entwicklung von Jungtieren förderlich. Ebenso entsprechen sie eher der naturnahen Nahrung als einige der künstlich hergestellten Futtermittel. Bei der Fütterung von Mehlwürmern ist jedoch Achtsamkeit geboten. Den Säugetieren tut der hohe Fettanteil der Larven des Mehlkäfers nur dann gut, wenn sie in kleinen Mengen verfüttert werden.

MEHLWÜRMER ALS FUTTERMITTEL FÜR VÖGEL

Mehlwürmer werden von Insektenliebenden Vögeln als Zusatzfutter verspeist. Größeren Vögeln sollte man nicht mehr als zehn Mehlwürmer anbieten, denn in der Natur finden sie Mehlwürmer auch nur vereinzelt.

Mehlwürmer können Hühnern regelmäßig verfüttert werden, ohne ihnen zu schaden. Im Gegenteil, Hühner bevorzugen es, vor allem im Winter, eine proteinreiche und relativ fettreiche Nahrung in Form von Mehlwürmern zu erhalten.

MEHLWÜRMER ALS FUTTERMITTEL FÜR FISCH

Auch Fische benötigen eine artgerechte Nahrung. Vor allem stellt Lebendfutter eine wichtige Bereicherung des Speisezettels dar, weshalb Aquarianer gern Mehlwürmer füttern. Da jedoch der Chitin-Panzer der Mehlwürmer für Fische schwer verdaulich ist, und der Nährstoffgehalt zu gering ist, sollte es die Ausnahme bleiben.

(vgl. Köckeritz, 2015, 13ff)

5.3. PROTEINE (JANA LEONHARTSBERGER)

Proteine sind der wichtigste Teil der Nahrung des Menschen und unverzichtbare Nährstoffe. Eiweiße sind für lebensnotwenige Funktionen im Körper verantwortlich. Aufgrund dessen ist eine ausreichende Aufnahme von Proteinen in Form von Nahrung wichtig.

5.3.1. ALLGEMEINES ÜBER PROTEINE

Proteine (= Eiweiß) sind Makromoleküle, die aus Aminosäuren aufgebaut sind. Hauptsächlich bestehen die Aminosäuren aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff.

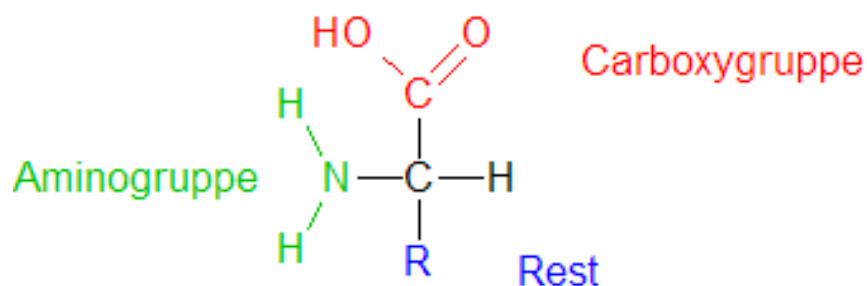


Abbildung 4: Chemische Struktur einer Aminosäure; Quelle: Jana Leonhartsberger

Die Aminosäuren sind zu Ketten durch Peptidbindungen verbunden. Beim Menschen handelt es sich um 21 verschiedene Aminosäuren. Davon sind neun Aminosäuren

essenziell. Das bedeutet, dass diese Aminosäuren nicht vom Körper selbst hergestellt werden, sondern mit der Nahrung aufgenommen werden müssen.

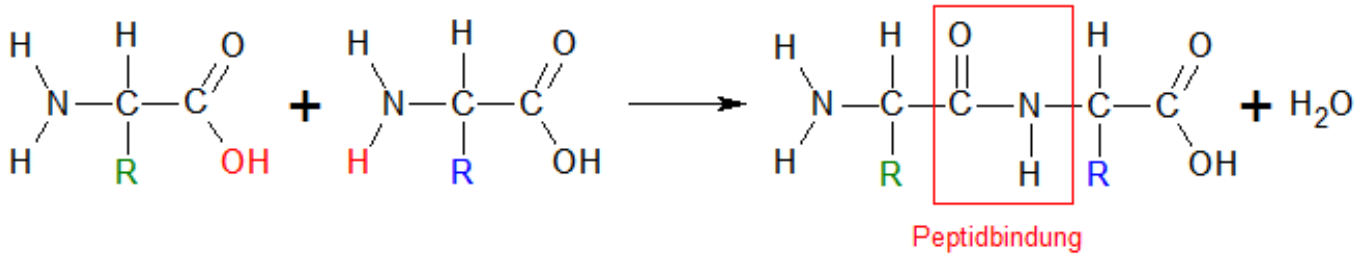


Abbildung 5: Aminosäuren die zu einer Kette durch eine Peptidbindung verbunden sind; Quelle: Jana Leonhartsberger

Aminosäureketten mit einer Länge von unter 100 Aminosäuren werden als Peptide bezeichnet und erst ab einer größeren Kettenlänge spricht man von Proteinen.

Die molekulare Größe eines Proteins wird in Kilo-Dalton (kDa) angegeben. Titin besteht zum Beispiel aus über 30.000 Aminosäuren, beinhaltet 320 Proteindomänen und ist somit das größte bekannte menschliche Protein mit ca. 3600 kDa.

(vgl. <https://www.chemie.de/lexikon/Protein.html#Literatur>, 26.12.2019)

5.3.2. RÄUMLICHER AUFBAU

Die räumliche Struktur ist für die Wirkungsweise der Proteine besonders wichtig. Die Struktur eines Proteins lässt sich auf vier Betrachtungsebenen beschreiben:

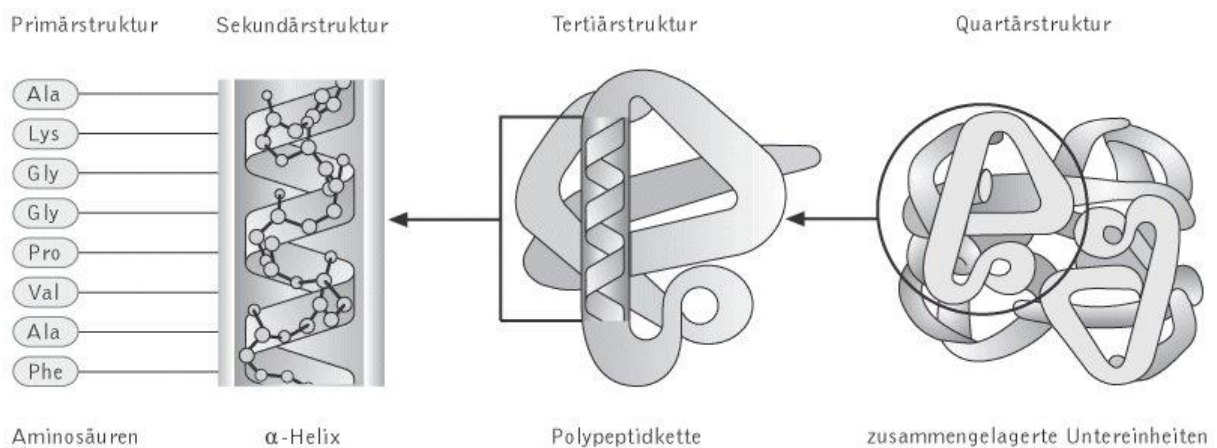


Abbildung 6: Strukturebenen eines Proteins; Copyright 2001 Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg

1. PRIMÄRSTRUKTUR

Die Primärstruktur stellt die Aminosäuresequenz, das heißt die Abfolge der einzelnen Aminosäuren innerhalb der Polypeptidkette, dar.

2. SEKUNDÄRSTRUKTUR

Bei der Sekundärstruktur kann man zwischen folgenden Strukturtypen unterscheiden: α -Helix und β -Faltblatt. Diese Strukturen ergeben sich durch Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den C=O- und NH-Gruppen.

3. TERTIÄRSTRUKTUR

Durch Wechselwirkungen der unterschiedlichen Aminosäurereste kommt es zu einer räumlichen Anordnung der Sekundärstruktur, die man Tertiärstruktur nennt. Disulfidbrücken, van-der-Waals-Kräfte oder Wasserstoffbrückenbindungen wirken als Bindungskräfte, die diese dreidimensionale Struktur stabilisieren.

4. QUARTÄRSTRUKTUR

Wenn sich mehrere Aminosäureketten zu einem Komplex zusammenlagern, um funktionsfähig sein zu können, spricht man von einer Quartärstruktur. Dies kann entweder ein Verband aus zwei oder mehr Polypeptidketten, die aus ein und derselben Polypeptidkette sind oder eine Zusammenlagerung von unterschiedlichen Proteinen sein. Dabei sind die einzelnen Proteine meist durch Wasserstoffbrücken miteinander verknüpft.

(vgl. <https://www.chemie.de/lexikon/Protein.html#Literatur>, 26.12.2019)

5.3.3. BEDEUTUNG FÜR DEN ORGANISMUS

Proteine haben vielfältige Aufgaben im Organismus. Einige Beispiele dafür sind:

ZELLAUFBAU

Proteine bestimmen als Strukturproteine den Aufbau der Zelle und damit die Beschaffenheit von Geweben, beispielsweise der Haarstruktur, und den gesamten Körperaufbau.

ABLAUF VON PROZESSEN

Proteine übernehmen als Enzymproteine wichtige Funktionen. Durch die Beschleunigung oder Verlangsamung ermöglichen oder verhindern Proteine chemische Reaktionen in Lebewesen.

KONTRAKTILE FUNKTION

Bestimmte Proteine verändern in den Muskeln ihre Form und sorgen so für die Kontraktion der Muskeln und damit für Bewegung.

TRANSPORTFUNKTION

Proteine übernehmen als Transportproteine den Transport körperwichtiger Substanzen wie z. B. Hämoglobin, das im Blut für den Sauerstofftransport zuständig ist, oder Transferrin, das Eisen in unserem Blut transportiert.

FUNKTION ALS HORMON

Proteine können als Hormone Vorgänge im Körper steuern.

ABWEHRFUNKTION

Proteine können Antikörper bilden, die dem Immunsystem dienen.

SCHUTZFUNKTION

Proteine verhindern als Blutgerinnungsfaktoren einerseits einen zu starken Blutverlust bei einer Verletzung eines Blutgefäßes und andererseits eine zu starke Gerinnungsreaktion mit Blockierung des Gefäßes.

EINERGIELIEFERANT

Proteine können als Reservesubstanz dienen. Im Hungerzustand liefern sie dem Körper Energie.

(vgl. <https://www.chemie.de/lexikon/Protein.html#Literatur>, 26.12.2019)

5.3.4. EIWEIßMANGEL

Ein erwachsener Mensch sollte, mit der Nahrung, täglich etwa 0,8 – 1,0 g Eiweiß pro Kilogramm Körpergewicht zu sich nehmen.

Bei einem Eiweißmangel kommt es zuerst zu einem Muskelschwund. In weiterer Folge kann ein Mangel nicht nur zu Haarausfall führen, sondern im schlimmsten Fall kommt es zur Eiweißmangelkrankheit Kwashiorkor. Dabei versucht der Organismus durch Wasser den Eiweißmangel abzudecken, sodass sich das Wasser nach einiger Zeit im Körper ablagert (Ödem). Andauernder Eiweißmangel kann zum Marasmus (Abbau körperlicher Funktionen mit zunehmendem Alter) und zum Tod führen.

In den Industrieländern kommt es allerdings höchst selten zu einem Eiweißmangel und auch nur bei sehr proteinarmen Ernährungsformen. Eine durchschnittliche Mischkost enthält mit 100 Gramm Eiweiß pro Tag mehr als genug Proteine.

(vgl. <https://www.chemie.de/lexikon/Protein.html#Literatur>, 26.12.2019)

5.3.5. EIWEIßHALTIGE LEBENSMITTEL

Folgende Nahrungsmittel sind Beispiele für Eiweißlieferanten:

Lebensmittel [100 g]	Eiweiß [g]
Parmesan (37 % Fett i. Tr.)	35,6
Emmentaler (45 % Fett i. Tr.)	28,9
Kuhmilch (1,5 % Fett)	3,4
Thunfisch	21,5
Garnele	18,6
Hackfleisch (Rind)	22,5
Hühnerei (gesamt)	12,8
Weizenmehl	12,1
Haferflocken	13,3
Sojabohnen	23,9
Linsen	23,5
Erdnusskerne	25,3

Tabelle 4: Eiweißhaltige Lebensmittel; Quelle: <https://www.netdoktor.de/ernaehrung/eiweiss/eiweisshaltige-lebensmittel/>, 18.02.2020.

4.3.6. NACHWEIS VON EIWEIß

Eine Möglichkeit um Eiweiß nachweisen zu können, besteht in der Biuretreaktion. Bei diesem Vorgang wird überprüft, ob Peptidbindungen vorliegen. Durch Zugabe von konzentrierter Kaliumhydroxidlösung und einigen Tropfen hellblauer Kupfersulfatlösung zu der Testlösung kann die Biuretreaktion durchgeführt werden. Die Lösung färbt sich dann rotviolett, wenn Eiweiße vorhanden sind.

Eine andere Möglichkeit um Eiweiß nachweisen zu können, ist die Durchführung einer Xanthoproteinreaktion. Dabei wird der zu testende Stoff mit konzentrierter

Salpetersäure versetzt. Es ergibt sich eine charakteristische Gelbfärbung, wenn Eiweiße in dem zu untersuchenden Stoff enthalten sind.

Die Zusammensetzung kann zwar nicht ermittelt werden, jedoch kann mithilfe dieser Nachweise festgestellt werden, ob die Lebensmittel Eiweiße enthalten oder nicht.

(vgl. <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie-abitur/artikel/proteine-aufbau-und-eigenschaften>, 20.02.2020)

5.4. PHOSPHOR – PHOSPHATDÜNGUNG (JULIANE HAUSNER)

5.4.1. ALLGEMEINES ZU PHOSPHOR

Phosphor ist ein bedeutender Nährstoff für Pflanzen und kommt in der Pflanze und im Boden als Phosphatverbindung vor. Dieses Phosphat ist überwiegend an organische Moleküle gebunden und muss im Boden zuerst mobilisiert werden, um von der Pflanze, in der Regel als Dihydrogenphosphat, aufgenommen werden zu können. Die Aufnahme erfolgt im Austausch gegen andere Anionen.

Verbindungen im Boden:

- Phosphate als Salze der Orthophosphorsäure (H_3PO_4)
- Hydrogenphosphat (HPO_4^{2-} / Dihydrogenphosphat (H_2PO_4^-)
z.B. als Natriumdihydrogenphosphat
- Tertiäres Phosphat-Anion (PO_4^{3-})
- Phosphorylgruppen ($\text{R} - \text{H}_2\text{PO}_3$): Reste der Phosphorsäure werden an organische Verbindungen geheftet → Esterbildung

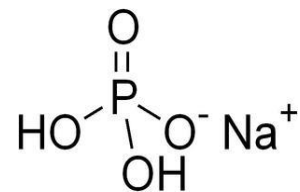


Abbildung 7: Natriumdihydrogenphosphat;

Quelle: Juliane Hausner

Zu den wichtigsten Funktionen des Nährstoffs Phosphor zählen der Energietransfer und die Energiespeicherung, die Aktivierung organischer Substanzen für die Synthesen, sowie die allgemeine Ionenwirkung. Weiters ist Phosphor Baustein wichtiger Verbindungen, wie z. B. Nucleinsäuren, und fördert die Frucht- und Blütenbildung.

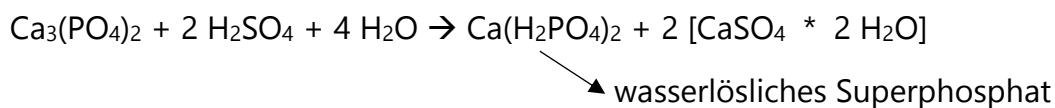
(vgl. Finck Arnold, 2007, 102 ff.)

Da dem Boden aufgrund der Ernte laufend Phosphat entzogen wird, das Phosphat für die Pflanze aber unentbehrlich ist, ist eine regelmäßige Düngung mit phosphathaltigen Düngemitteln von großer Bedeutung.

5.4.2. PHOSPHAT-DÜNGER – PROBLEMATIK DES PHOSPHATABBAUS

Die Düngung mit Phosphat basiert zum Großteil auf mineralischer Substanz sedimentären, zum Teil auch magmatischen Ursprungs. Rohphosphate, welche in Phosphatlagerstätten abgebaut werden, sind die Ausgangssubstanz vieler Phosphatdünger. Sie werden durch chemischen Aufschluss in Formen umgewandelt, die eine bessere Düngewirkung aufgrund einer leichteren Löslichkeit besitzen, wie z.B. Superphosphat und Doppelsuperphosphat.

Als Beispiel: Aufschluss mit Schwefelsäure - Superphosphat



(vgl. Finck 2007, 162)

Allerdings sind die Reserven dieses mineralischen Phosphates begrenzt. Dabei liegen rund. 90 % aller Reserven in nur 5 Staaten, darunter die USA und Marokko, laut Schätzungen der Deutschen Rohstoffagentur sind noch Reserven für ungefähr 400 Jahre vorhanden. Jedoch besteht hier ein weiteres Problem: Phosphatgesteine weisen oft hohe Gehalte an Schadstoffen auf, allen voran Cadmium und Uran. Durch die Weiterverarbeitung zu Mineraldüngern gelangen diese Schadstoffe in die landwirtschaftlich genutzten Böden, und es besteht die Gefahr der Aufnahme in den menschlichen Körper. Die Verfügbarkeit von Phosphatgestein mit niedrigen Schadstoffgehalten ist deutlich kürzer als die zuvor genannten 400 Jahre, sie wird auf nur 100 – 200 Jahre geschätzt.

Auch wenn die Reserven noch für einige hundert Jahre bestehen sollten, muss dennoch mit einer Knappheit an Rohphosphat gerechnet werden.

(vgl. Montag et al., 2013, 5-7)

Phosphat ist im Gegensatz zu anderen knappen Metallen nicht ersetzbar. Aus diesem Grund sollte ein Umdenken stattfinden: einerseits besteht die Möglichkeit, Phosphat aus Recyclingprozessen rückzugewinnen, andererseits müssen vermehrt organische Dünger eingesetzt und nach alternativen Phosphorquellen und Düngemitteln geforscht werden.

5.4.3. LÖSLICHKEIT VON PHOSPHOR IM BODEN – PFLANZENVERFÜGBARKEIT

Nicht jedes in den in den Phosphatdüngern enthaltene Phosphor ist im Boden sofort verfügbar. Es gibt große Unterschiede puncto Löslichkeit des Phosphates und der daraus resultierenden Pflanzenverfügbarkeit. Einige Arten können sofort verfügbar sein, andere erst nach einer oder mehrerer Vegetationsperiode(n).

Um die Phosphor-Verfügbarkeit von den Rohphosphaten in den Düngemitteln ungefähr abschätzen zu können, werden die Düngemittel unter Verwendung unterschiedlicher Lösungsmittel extrahiert. (vgl. Wiesler, Armbruster, 2013, 23). Dadurch wird entsprechend des Lösungsmittels ein Teil des Phosphates gelöst und die Löslichkeit kann anschließend bestimmt werden. Als Lösungsmittel werden üblicherweise verwendet: Wasser, Neutrales Ammoncitrat, Zitronensäure, Ameisensäure, Mineralsäure.

(vgl. Montag et al., 2013, 12 f.)

BEDEUTUNG DER LÖSLICHKEIT IN DEN JEWEILIGEN LÖSUNGSMITTELN IN BEZUG AUF DIE PFLANZENVERFÜGBARKEIT

- Wasser/ Ammoncitrat: Ist ein Großteil des Gesamtphosphates in Wasser oder Ammoncitrat löslich, so ist das Phosphat sofort bzw. kurzfristig für die Pflanze verfügbar und gilt als leicht löslich.
- Zitronensäure: In Zitronensäure lösliche Phosphatdünger sind grundsätzlich innerhalb einer Vegetationsperiode verfügbar.
- Ameisensäure/ Mineralsäure: Phosphate in Düngemitteln, die beinahe nur in einer starken Säure löslich sind, sind für die Pflanze nur langfristig verfügbar, haben eine langsame Wirkungsgeschwindigkeit und gelten als schwer löslich.

Mittels der Extraktionen mit unterschiedlichen Lösungsmitteln kann zwar die Löslichkeit mineralischer Phosphor-Dünger gut abgeschätzt werden, die Löslichkeit organischer Dünger in der Theorie unterscheidet sich aber oft von der tatsächlichen Pflanzenverfügbarkeit. Grundsätzlich ist der Phosphor in organischen Düngemitteln für die Pflanzen über mittleren Zeitraum verfügbar.

(vgl. Montag et al., 2013, 12 f.)

„Nach heute übereinstimmender wissenschaftlicher Meinung sollte aus Gründen des Ressourcenschutzes die Verwendung von P-Düngemitteln bevorzugt werden, deren Gehalt an wasser- und ammoncitratlöslichem Phosphat dem Gesamtgehalt weitgehend entspricht.“

(Wiesler, Armbruster, 2013, 23)

Das bedeutet, je höher der Gehalt an in Wasser und ammoncitratlöslichem Phosphat in der Extraktionslösung, also je besser die Pflanzenverfügbarkeit, desto ressourcensparender kann mit mineralischen P-Düngern umgegangen werden. Ein zu hoher Überschuss an Phosphat im Boden wird so vermieden. Schlechter lösliche P-Dünger sollten nur an geeigneten Standorten ausgebracht werden, wie z.B. auf sauren Böden oder im Ökolandbau.

Dennoch kann eine schnelle Löslichkeit auch nachteilig sein, da der Phosphor, der nicht sofort von der Pflanze aufgenommen wird, verloren gehen kann.

P-ÜBERSCHUSS IM BODEN

Ein Überschuss bedeutet, dass sich der Ausnutzungsgrad eines Düngers im Anwendungsjahr verringert. Dies liegt daran, dass die Pflanzen den Phosphor aus Umwandlungsprodukten aus vorangegangenen Düngungen nutzen.

Um eine möglichst hohe, effektive Ausnutzung des Düngers zu erreichen, sollte der Phosphor aus dem Düngemittel binnen einer Vegetationsperiode in Lösung gehen. Denn so kann der Phosphor in die P-Dynamik des Bodens mit einbezogen werden.

(vgl. Kratz, Schnug, 2009, 7)

5.4.4. PHOSPHOR-DYNAMIK IM BODEN

Unter der Phosphor-Dynamik versteht man die Mobilisierung bzw. Immobilisierung des Phosphors im Boden.

MOBILISIERUNG

Bei der Mobilisierung werden durch Bodenlebewesen anorganische Phosphorreserven aufgeschlossen und organische Reserven abgebaut. Feinkörnige und feinkristalline Phosphorverbindungen können besonders leicht abgebaut werden. Die Mobilisierung ist ein entscheidender Prozess bei der Versorgung des Bodens mit Phosphor, da die Verbindungen, in denen der Phosphor enthalten ist, zuerst mobilisiert und in der Bodenlösung gelöst werden müssen, um von der Pflanze aufgenommen werden zu können.

IMMOBILISIERUNG

Im Zuge der Immobilisierung erfolgt hingegen eine Umwandlung zuerst in noch leichter lösliche, in weiterer Folge in schwer lösliche Verbindungen. Dabei erfolgt ein

fester Einbau der Phosphat-Verbindungen in organische Makromoleküle (Huminstoffe). Daraus resultiert eine Fixierung des Nährstoffs Phosphor im Boden. Eine kurzfristige Immobilisierung findet durch Mikroben statt, welche für den Abbau organischer Substanzen zusätzlichen Phosphor benötigen, ihn aber nach einigen Wochen wieder freigeben.

(vgl. Finck Arnold, 2007, 102 ff.)

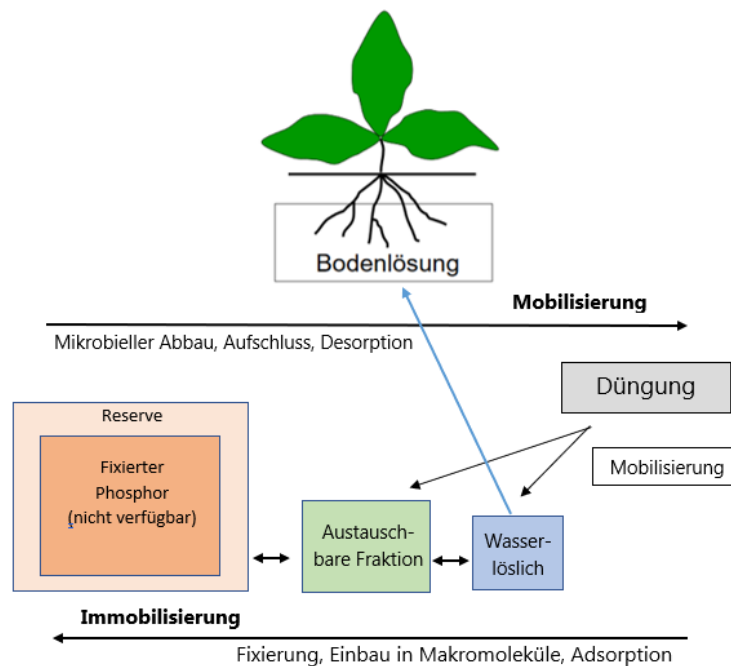


Abbildung 8: Übersicht Mobilisierung-Immobilisierung, Quelle: Juliane Hausner

GEFAHR DER AUSWASCHUNG - EUTROPHIERUNG

Aufgrund der starken Immobilisierung leicht löslicher (vor allem wasserlöslicher) Phosphat-Dünger sinkt die Bedeutung der Auswaschung, die Gefahr der Eutrophierung ist in diesem Fall somit nicht gegeben.

Gelangen allerdings phosphatbelastete Abwässer, z. B. aufgrund von Abwaschung durch Bodenerosion in Flüsse und Meere, so kommt es dort zu einer Eutrophierung. Der Nährstoffüberschuss führt zu einer Bildung von Algen, wodurch aufgrund des Lichtmangels kein O₂ mehr produziert werden kann, und anaerobe Prozesse gefördert werden.

(vgl. Finck 2007, 103, 177)

5.5. TECHNISCHE GERÄTE

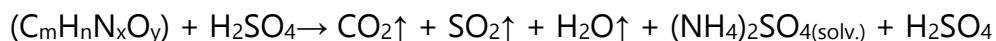
5.5.1. KJELDAHLSCHE STICKSTOFFBESTIMMUNG (JANA LEONHARTSBERGER)

Die Kjeldahlsche Stickstoffbestimmung quantitative, häufig verwendete Bestimmungsmethode, die 1883 entwickelt worden ist. Der Stickstoff kann in vielen verschiedenen stickstoffhaltigen Verbindungen bestimmt werden.

Es wird eine genau gewogene Probenmenge (0,5 bis 3 g, abhängig vom Stickstoffgehalt der Probe) mit Schwefelsäure in einem Kjeldahl-Kolben aufgeschlossen. So werden die organischen Anteile einer Probe entfernt und der Stickstoff der Probe dabei in Ammoniumsulfat umgewandelt. Mit der Zugabe einer starken Base wird Ammoniak aus der Aufschlusslösung freigesetzt. Dieser wird in einer Säure aufgefangen und mittels Titration bestimmt.

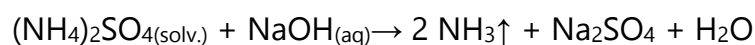
AUFSCHLUSS

In einem offenen Kolben wird die Probe mit einem Überschuss an Schwefelsäure gekocht. Der Kohlenstoff wird im organischen Material zu CO_2 oxidiert und die Schwefelsäure zu SO_2 reduziert.

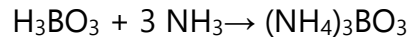


WASSERDAMPFDESTILLATION

Der Stickstoff liegt nach dem Aufschluss als Ammoniumsulfat in Schwefelsäure gelöst vor. Die Schwefelsäure wird bei Zugabe von Natronlauge (starke Base) neutralisiert und Ammoniak wird ausgetrieben, welcher mittels Wasserdampfdestillation quantitativ in eine Vorlage mit einer genau definierten Menge einer Säure (Borsäure), eingeleitet wird.

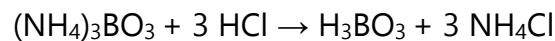


Zum Auffangen kann jede Säure verwendet werden, welche man als Maßlösung herstellen kann. Man legt eine genau abgemessene Menge der sauren Maßlösung (Borsäure) vor und leitet den ausgetriebenen Ammoniak dort hinein.



RÜCKTITRATION

Die restliche saure Maßlösung (Borsäure) wird am Ende der Bestimmung mit einer 0,1 molaren Salzsäure unter Verwendung von Methylrot (schlägt im Sauren um) zurücktitriert.



(vgl. https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/anorganische_und_analytische_chemie/lehre/chemie/anorganische_chemie/grundpraktikum/kjeldahlsche_stickstoffbestimmung.pdf, 29.12.2019)

Mit dieser Formel kann letztendlich der Proteingehalt festgestellt werden.

$$\%N = \frac{(\text{Verbrauch an HCl [ml]} - \text{Verbrauch an HCl bei Blindprobe [ml]}) \cdot \text{Stickstoffmasse [g]}}{\text{eingewogene Probe [g]}} \cdot 100 \cdot \text{Faktor}$$

Die Stickstoffanteile im Protein bewegen sich um 16 %. Der Stickstoffgehalt einer Probe muss deshalb mit dem Faktor 5,4 multipliziert werden, was zu einem Näherungswert führt.

5.5.2. FUNKTIONSWEISE ICP-OES (JULIANE HAUSNER)

Bei der ICP-OES (= Inductively coupled plasma optical emission spectrometry) handelt es sich um eine Emissionsspektroskopie, welche auf einem induktiv gekoppelten Plasma basiert. Es wird für die Analyse von Metallen und Schwermetallen in Flüssigkeiten verwendet. Nebenbei besitzt sie bei der Elementanalyse von organischen

Verbindungen einen hohen Stellenwert. Vorteil der ICP: Es können viel Elemente gleichzeitig bestimmt werden.

Ein ICP-OES besteht aus einem Hochfrequenzgenerator, einer Plasmafackel inkl. Induktionsspule und einer Gasversorgungseinheit, einem Quarzfenster sowie einem Monochromator und einem Photomultiplier.

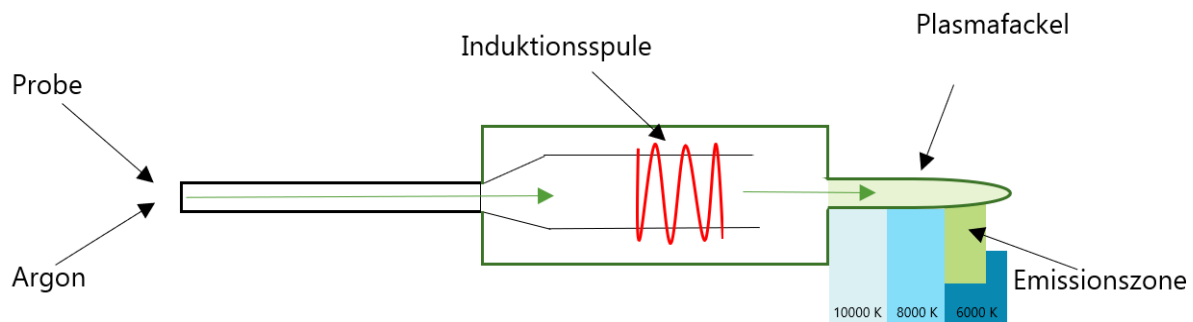


Abbildung 9: Grundaufbau einer Plasmaeinheit; Quelle: Juliane Hausner

MESSPRINZIP

Das Messprinzip beruht auf der charakteristischen Emissionslinie eines Metalls. Gelangt ein Analyt zum Plasma, so wird der Analyt aufgrund der extrem hohen Temperatur (6000 – 10000 K) atomisiert, anschließend werden die Atome in angeregte Elektronenzustände überführt bzw. ionisiert. Dadurch wird das Atom zum Emittieren angeregt. Nach dem Aufenthalt im angeregten Zustand (10^{-8} Sekunden), springt das Elektron in ein energetisch niedrigeres Orbital zurück. Dabei gibt es eine hohe Zahl an Möglichkeiten des Zurückspringens, da dies aufgrund der Anregung von unterschiedlichen „Startpunkten“ aus erfolgt. Dadurch entstehen viele verschiedene Emissionslinien pro Element. So ist die Aufgabe des Monochromators, eine bestimmte Analyselinie aus einem Emissionsspektrum herauszufiltern, diese kann dann detektiert werden. Die Registrierung einer ausgewählten Emissionslinie kann mit Hilfe eines Photomultipliers erfolgen. Das Signal wird dann von der Gerätesoftware verarbeitet.

(vgl. <https://www->

[app.uniregensburg.de/Fakultaeten/CHP/Analytische_Chemie/web/dateien/hirsch/Praktikumsskript-11.pdf](https://www-app.uniregensburg.de/Fakultaeten/CHP/Analytische_Chemie/web/dateien/hirsch/Praktikumsskript-11.pdf), 19.02.2020)

6. DURCHFÜHRUNG

6.1. MEHLWURMZUCHT (JASMIN KERSCHBAUMER)

Bei diesem Versuchsaufbau werden Mehlwürmer in acht verschiedenen Terrarien unter unterschiedlichen Lebensbedingungen über einen Zeitraum von ca. vier Monaten gezüchtet, um die optimalen Vermehrungsbedingungen dieser Tiere zu definieren.

6.1.1. AUFBAU DER TERRARIEN UND START DER ZUCHT

Den Grundaufbau aller acht Terrarien bildet je ein Eimer aus durchsichtigem Kunststoff, mit einer runden Grundfläche, deren Durchmesser ca. 15 cm beträgt, inklusive eines ebenfalls aus durchsichtigem Kunststoff bestehenden Deckels. Alle acht Deckel müssen mit Luftlöchern versehen werden.

TERRARIEN 1 - 4

Der erste Eimer (Terrarium 1) wird zwei cm hoch mit griffigem Weizenmehl (Marke S Budget) befüllt, wobei das Mehl locker eingestreut und keinesfalls festgedrückt oder verdichtet wird.

In einem zweiten Eimer (Terrarium 2) wird der Vorgang mit grobem Weizengrieß (Marke Haberfellner), in einem dritten Eimer (Terrarium 3) mit Haferflocken (Marke S Budget) und in einem vierten Eimer (Terrarium 4) mit Semmelbröseln (Marke S Budget) als Einstreu wiederholt.

Diese vier eben genannten Terrarien werden ohne zusätzliche Licht- oder Wärmequellen in einem Raum mit Fenstern in Süd-West Ausrichtung platziert. Neben den Terrarien wird ein Flüssigkeitsthermometer angebracht, um die Raumtemperatur ablesen zu können.

Drei weitere Eimer (Terrarium 5, 6 und 7) werden ebenso wie Terrarium 1 mit Mehl befüllt und im gleichen Raum wie die Terrarien 1 bis 4 positioniert.

TERRARIUM 5

Terrarium 5 wird allerdings unter einer dauerhaften Lichtquelle positioniert. Dafür wird eine Schreibtischlampe mit einer LED-Leuchte (Marke Impos) mit einer Leistungsaufnahme von vier Watt und einem Lichtstrom von 470 Lumen ausgestattet. Um das Licht von den anderen Terrarien abzuschirmen wird ein lichtundurchlässiger Kartonzylinder benötigt, der höher als der Kunststoffeimer und oben und unten offen ist und dessen Öffnung mindestens dem Durchmesser des

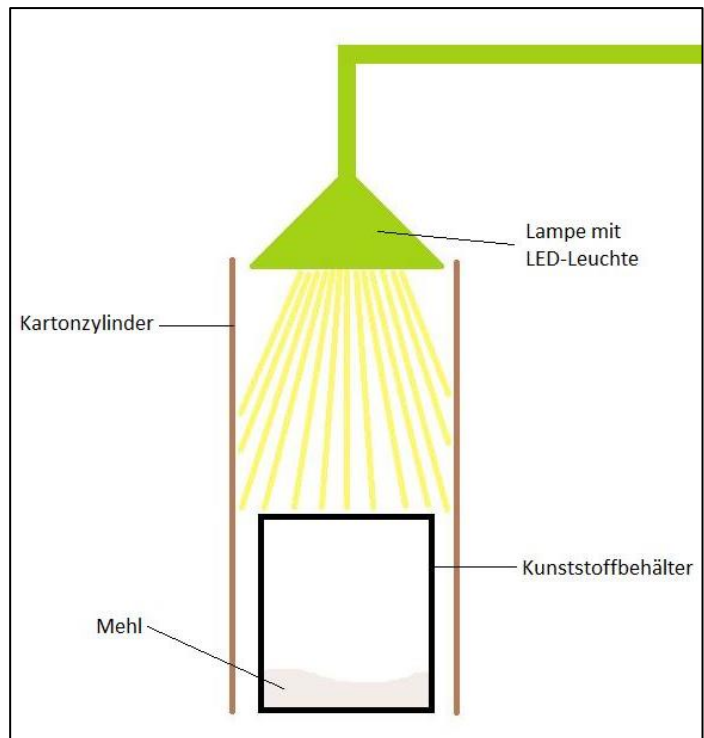


Abbildung 10: Aufbau Terrarium 5; Quelle: Jasmin Kerschbaumer

Lampenschirms der verwendeten Schreibtischlampe und des Terrariums entspricht. Der Kartonzylinder wird über das Terrarium gestülpt und die Lampe so an der oberen Öffnung positioniert, dass das Licht auf das Terrarium im Zylinder, jedoch nicht auf die umliegenden Kunststoffgefäße fällt. Hierfür muss unbedingt eine LED-Leuchte verwendet werden, um eine etwaige Verfälschung der Ergebnisse durch die ungewollte Wärmeabgabe zum Beispiel einer Glühfadenlampe zu vermeiden. Die Lampe muss während der gesamten Laufzeit des Versuches in Betrieb bleiben und darf nicht abgeschaltet oder von Terrarium Nr. 5 entfernt werden.

TERRARIUM 6

Für Terrarium 6 wird ein ähnlicher, lichtundurchlässiger Kartonzylinder benötigt, allerdings muss dieser oben geschlossen sein, um das Terrarium dauerhaft zu verdunkeln. Da der Zylinder

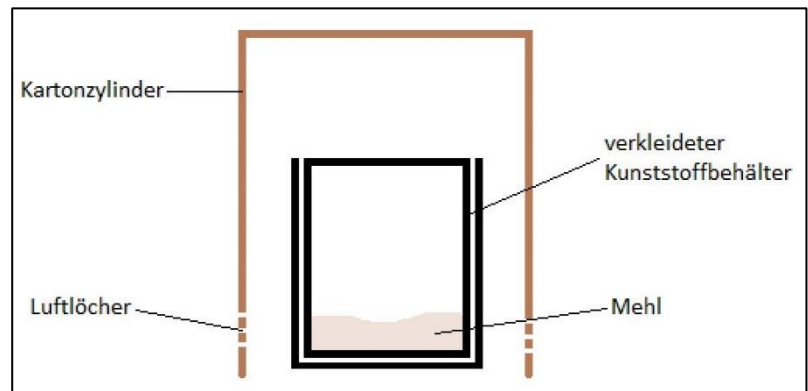


Abbildung 11: Aufbau Terrarium 6; Quelle: Jasmin Kerschbaumer

geschlossen ist müssen Luftlöcher eingearbeitet werden, diese werden ca. 3 cm über dem unteren Rand des Zylinders angebracht. Um eine Lichtzufuhr durch die Luftlöcher zu verhindern wird der Kunststoffbehälter, der als Terrarium dient, außen mit schwarzem, ebenfalls lichtundurchlässigem Karton verkleidet. Der Karton wird über das Terrarium gestülpt und wird (mit Ausnahme der Fütterungen und Zählungen) für die Dauer des Versuches nicht abgenommen, um eine dauerhafte Verdunkelung zu gewährleisten.

TERRARIUM 7

Terrarium 7 wird auf eine regelbare Heizmatte gestellt, sodass das Mehl im Kunststoffbehälter von unten erwärmt wird. Um die Temperatur des Mehls zu bestimmen wird innen am Boden des Behälters der Fühler eines

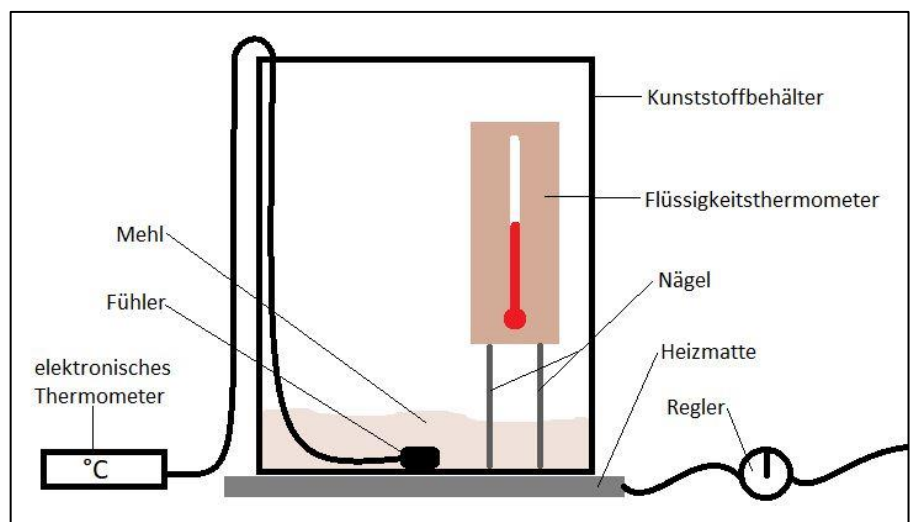


Abbildung 12: Aufbau Terrarium 7; Quelle: Jasmin Kerschbaumer

elektronischen Thermometers befestigt. Zur Messung der Lufttemperatur innerhalb des Terrariums wird ein Flüssigkeitsthermometer mit einer Temperaturskala aus Holz verwendet. In das Holz des Thermometers werden vertikal von unten zwei lange Nägel

eingeschlagen, sodass es auf zwei „Stelzen“ steht und nur die Nägel mit dem Mehl in Kontakt kommen. Dies soll einerseits eine Verfälschung der Ergebnisse durch eine Temperaturmessung im Mehl verhindern und andererseits die später hinzuzufügenden Mehlwürmer daran hindern das Thermometer als Nahrungsquelle zu nutzen. Um die Mehlwürmer nicht zu starker Hitze auszusetzen, aber trotzdem einen merklichen Unterschied zur Umgebungstemperatur herzustellen sollte die Heizmatte auf 28 - 34 °C eingestellt werden (ablesen am elektronischen Thermometer).

TERRARIUM 8

In Terrarium 8 wird kein Mehl, Gries oder Ähnliches eingestreut, denn hier sollen kompostähnliche Zustände hergestellt werden, um zu überprüfen ob Mehlwürmer in dieser Umgebung überleben können und ob sie kompostierbares Plastik als Nahrung verwerten können. Dazu wird der Kunststoffbehälter ca. zwei cm hoch mit Lebensmittelresten (Obst, Gemüse, Salat ...) befüllt. Weiters werden je vier quadratische Stücke (3x3 cm) aus drei verschiedenen kompostierbaren Biomüllbeuteln (Marke Swirl, Naku und Spar Eigenmarke) ausgeschnitten und gekennzeichnet. Die ausgeschnittenen Quadrate werden unter die Lebensmittelreste gemischt. Das Terrarium wird ebenfalls im selben Raum wie die bisher genannten Terrarien aufgestellt.

EINSETZEN DER MEHLWÜRMER

Ist dieser Aufbau der Terrarien erfolgt, werden für jedes der Terrarien 90 Mehlwürmer (aus einer Zoofachhandlung) abgezählt. Die Mehlwürmer werden zuerst gezählt und abgewogen, wodurch sich das durchschnittliche Gewicht eines Exemplars ergibt. Ist dieser Schritt geschehen, können die Mehlwürmer in die jeweiligen Terrarien eingesetzt werden.

TERRARIUM 8 (2.0)

Bei der ersten Zwischenzählung wird der Versuch in Terrarium 8 abgebrochen und als Terrarium 8 (2.0) neu gestartet. Das Terrarium des Versuches 8 (2.0) wird grundsätzlich

wie Terrarium 1 aufgebaut. Zusätzlich werden jedoch wie bei Terrarium 8 je vier Quadratische Stücke aus drei kompostierbaren Biomüllbeuteln (gleich Marken wie bei Terrarium 8) ausgeschnitten, beschriftet und unter das Mehl gemengt. Das neue Terrarium wird zu den bereits Vorhandenen gestellt und wie beim Versuchsstart der restlichen Terrarien werden auch in das Terrarium 8 (2.0) 90 lebende Mehlwürmer aus einer Zoofachhandlung eingesetzt, nachdem sie ebenfalls abgewogen wurden.

6.1.2. LAUFENDE PFLEGE

Sind die Mehlwürmer in ihren Terrarien untergebracht worden, müssen sie gefüttert werden.

In den Terrarien 1 bis 7 wird jeweils die gleiche Menge eines wasserhaltigen Lebensmittels (z.B. Apfelstücke, Salatblätter, Löwenzahn, Karottenstücke, Karottengrün, ...) zur Fütterung verwendet. Hierbei ist darauf zu achten den Mehlwürmern ausreichend Fläche zum Anbeißen des Futtermittels zu bieten, deshalb sollten zum Beispiel Äpfel oder Karotten in Scheiben geschnitten werden. Wichtig ist ebenfalls, dass alle Terrarien dieselbe Menge desselben Futtermittels am selben Tag erhalten. Zweimal in der Woche (alle drei bis vier Tage) muss das Futter der letzten Fütterung entfernt werden, um Schimmelbildung zu vermeiden, und neues Futter in die Terrarien gelegt werden.

Bei Terrarium 8 wird das Futter nicht mehr entfernt, sondern als Teil der Kompostmasse im Kunststoffbehälter belassen.

Das später hinzugefügte Terrarium 8 (2.0) wird wie die Terrarien 1 bis 7 gehandhabt.

Bei jeder Fütterung müssen das Raumthermometer, das elektronische Thermometer in Terrarium 7 und das Flüssigkeitsthermometer in Terrarium 7 abgelesen und die Werte in einer Tabelle notiert werden. Weicht die Temperatur des elektronischen Thermometers vom vorgegebenen Bereich (28 – 34 °C) ab, muss die Heizmatte mittels Regler nachjustiert werden.

Tritt in einem der Terrarien Schimmel auf, muss dieser umgehend entfernt werden.

6.1.3. AUSMISTEN, ZWISCHENZÄHLUNGEN UND ENDZÄHLUNG

Zweimal während der Laufzeit des Versuches und einmal am Ende des Versuches werden Zählungen durchgeführt.

Dabei werden zuerst alle Mehlwürmer, Puppen und Käfer mit Hilfe von Sieben von der jeweiligen Einstreu, zum Beispiel dem Mehl getrennt. Nun werden die Tiere nach Entwicklungsstufe (Mehlwurm, Puppe oder Mehlkäfer) und Zustand (tot oder lebendig) getrennt und in den einzelnen Fraktionen ausgezählt. Die Zahlen werden notiert. Die toten Tiere können nun entsorgt werden, die lebenden werden abgewogen. Hierbei werden einmal die gesamten Mehlwürmer eines Terrariums abgewogen und einmal die gesamte lebende Masse (inkl. Puppen und Käfer). Sollte die Körnung der Einstreu eine Siebung nicht zulassen, müssen die Tiere per Hand davon getrennt werden.

Nur wenn noch keine Käfer, oder noch nicht genügend Käfer um Eier zu legen, vorhanden sind, kann das Terrarium ausgemistet, also die gesamte Einstreu erneuert werden. In diesem Fall wird neues Mehl (bzw. die spezifische Einstreu dieses Terrariums) wie beim Aufbau der Terrarien in den Kunststoffbehälter gegeben. Sollten bereits Käfer in dem Terrarium leben, besteht die Gefahr mit der gebrauchten Einstreu versehentlich bereits gelegte Eier zu entsorgen, die kaum von der Einstreu zu unterscheiden sind. Aufgrund dessen muss hier die alte Einstreu wieder in das Terrarium überführt und weiterverwendet werden. Gegebenenfalls kann noch eine geringe Menge fischen Mehls (bzw. der jeweiligen Einstreu) zugegeben werden, um die geringen, aber unvermeidlichen Einstreuentnahmen beim Futteraustausch auszugleichen.

Bei der Endzählung ist grundsätzlich dasselbe Verfahren anzuwenden wie bei den Zwischenzählungen, allerdings werden die Mehlwürmer nicht wieder zurück in ihre Terrarien gesetzt. Es muss mindestens die Menge an Mehlwürmern, die für die

nachfolgende Analyse notwendig ist, von jedem Terrarium entnommen und in getrennten Behältnissen eingefroren werden, um dem Mehlwurmleben ein möglichst schonendes Ende zu bereiten. Die übrigen Tiere können entweder ebenfalls eingefroren und zum Kochen verwendet werden, sie können als Tierfutter gebraucht werden oder für die weitere Mehlwurmwzucht außerhalb des Rahmens dieses Versuches verwendet werden. Aus dem Terrarium 8 (2.0) werden zudem auch die Reste der zugegebenen Biomüllbeutel-Stücke entnommen und von Verunreinigungen befreit.

6.2 PROTEINANALYSE (JANA LEONHARTSBERGER)

6.2.1. VERWENDETE CHEMIKALIEN UND GERÄTE

AUFSCHLUSS

- Analytische Waage (Mettler AT261)
- Kjeldahl-Kolben
- Schwefelsäure konz. 95-97 % (ätzend) von der Firma Merck KGaA
- Kjeldahl-Tabletten (umweltschädlich) von der Firma Carl Roth GmbH & Co. KG
- Aufschlussblock Büchi 435 (Digestion Unit)
→ Geräteparameter: 3h bei 300 °C

DESTILLATION

- 1000 ml 3%ige Borsäure → Borsäure krist. (gesundheitsschädigend) + destilliertes Wasser
- Indikator nach Scheer
- Destillationsanlage Büchi 323 (Distillation Unit)
→ Geräteparameter: Select: 50 ml H₂O, 150 ml NaOH, Delay 30 sec, Dist. 3 min
- Titrierkolben

TITRATION

- 0,1 molare Salzsäure (ätzend, reizend)

6.2.2. MEHLWÜRMER

AUFSCHLUSS

Es wird 1 g Probe Mehlwürmer (eingefroren) mithilfe der analytischen Waage in ein Becherglas eingewogen. Die eingewogene Masse muss notiert werden. Die Probe wird in den Kjeldahl-Kolben überführt und 25 ml Schwefelsäure werden mithilfe einer Pipette unter dem Abzug hinzugegeben. Dieser Vorgang wird mit den anderen sechs Mehlwurmproben, die unter verschiedenen Umweltbedingungen gezüchtet worden sind, ebenfalls durchgeführt. Ebenso wird eine Blindprobe hergestellt. Dazu werden 25 ml Schwefelsäure in den Kjeldahl-Kolben hinein pipettiert, jedoch ohne Zugabe einer Probe. In alle acht Kjeldahl-Kolben wird jeweils eine Kjeldahl-Tablette hinzugegeben. Anschließend werden alle Proben in den Aufschlussblock Büchi 435 positioniert und verdichtet. Die Wasserstrahlpumpe wird angeschlossen und eingeschaltet. Der Aufschlussblock wird eingeschaltet. Die Proben werden bei 300 °C drei Stunden aufgeschlossen.

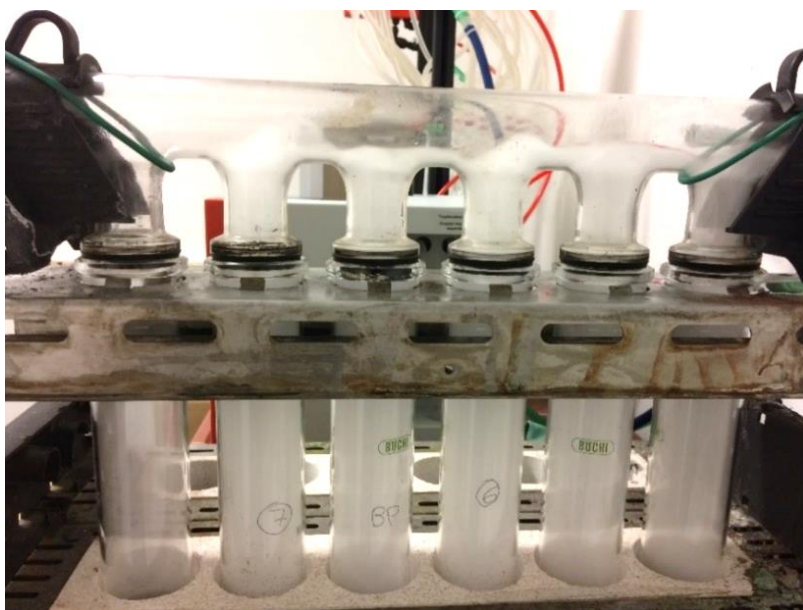


Abbildung 13: Proben im Aufschlussblock; Quelle: Jana Leonhartsberger

DESTILLATION

Zur Destillation werden 1000 ml 3%ige Borsäure benötigt. Dazu werden 30 g Borsäure krist. mithilfe einer analytischen Waage in ein Becherglas eingewogen. Die Borsäure wird auf 1000 ml in einem Messkolben mit destilliertem Wasser aufgefüllt. In acht Titrierkolben werden jeweils 100 ml der hergestellten 3%igen Borsäure mithilfe einer Pipette überführt. Hinzu kommen jeweils vier Tropfen vom Indikator nach Scheer, wodurch sich die Lösung lila färbt. Die aufgeschlossenen Proben werden nun nacheinander in den Büchi 323 eingespannt. Es wird immer einer der Titrierkolben rechts davon platziert.

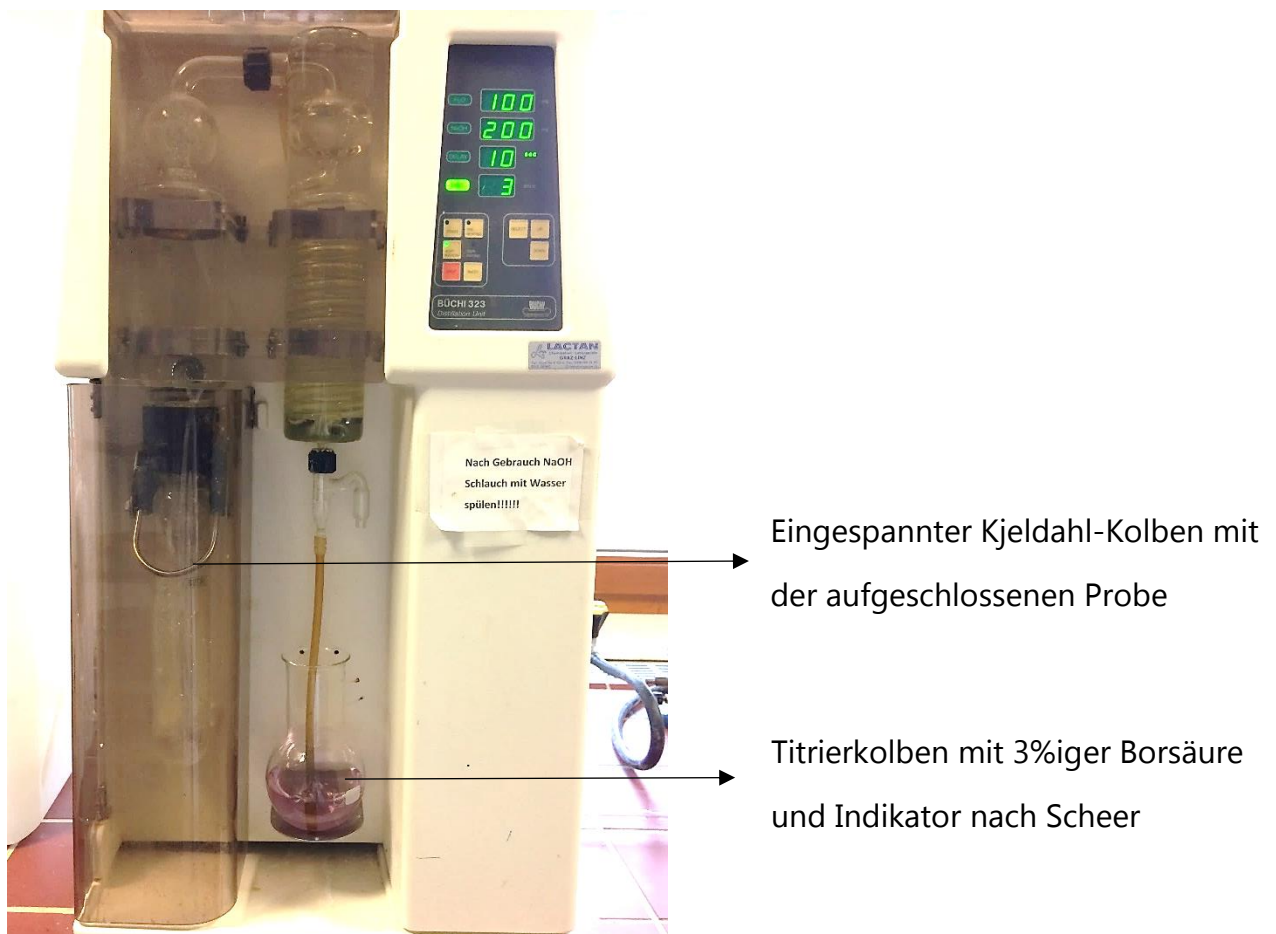


Abbildung 14: Destillationsanlage; Quelle: Jana Leonhartsberger

Die Destillationsanlage kann nun eingeschaltet werden (Achtung: Wasserhahn aufdrehen, Ansaugstutzen in Natronlauge geben). Es müssen folgende Parameter eingestellt werden: Select: 50 ml H₂O, 150 ml NaOH, Delay 30 sec, Dist. 3 min. Die Destillation startet nun. Die Anlage gibt 50 ml Wasser zur Aufschlusslösung hinzu,

danach 150 ml Natronlauge. Nun wird eine Pause von 30 Sekunden eingelegt bis die dreiminütige Destillation durchgeführt wird. Nach diesem Prozess muss sich die Lösung im Titrierkolben auf grün gefärbt haben.

TITRATION

Alle destillierten Proben werden titriert. Es wird eine 0,1 molare Salzsäure benötigt, die sich in der Titrationsanlage befindet. Alle acht Proben werden nacheinander titriert. Es wird solange Salzsäure hinzugegeben bis der Umschlagspunkt erreicht ist. Dies erkennt man am Farbwechsel von grün auf lila. Der Verbrauch an Salzsäure wird notiert, da dieser Wert später bei der Berechnung benötigt werden.



Abbildung 16: Destillierte Probe;
Quelle: Jana Leonhartsberger

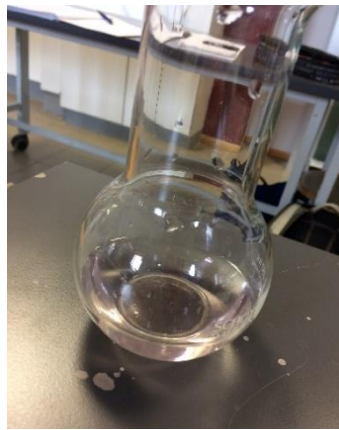


Abbildung 15: Titrierte Probe;
Quelle: Jana Leonhartsberger

6.2.3. LEBENSMITTEL

Die Proteinanalyse der Lebensmittel wird genauso wie die Proteinanalyse der Mehlwürmer durchgeführt. Als Probe werden statt Mehlwürmer, jeweils 1 g Dinkelmehl, Sojamehl, Mandelkerne und Kantwurst verwendet. Der restliche Vorgang (Aufschluss, Titration und Destillation) ist ident.

6.3 DÜNGERANALYSE (JULIANE HAUSNER)

Folgende Dünger werden im Zuge der Analyse untersucht:


Düngerart	Marke	Kurzbeschreibung
Mehlwurmkot	-	Kot von Mehlwürmern, aus der Mehlwurmzucht gewonnen 
Blaukorn	Immergrün	Handelsüblicher NPK-Dünger, auf mineralischer Basis
Naturdünger	Azet	organischer NPK-Dünger, angereichert mit Mikroorganismen, optimale Wirkung im schwachsauren Bodenmilieu
Guano	Compo	Organisch-mineralischer NPK-Dünger mit mind. 70% reinem Seevogelkot

Abbildung 17: Mehlwurmkot; Quelle: Juliane Hausner

Tabelle 5: Kurzbeschreibung der im Zuge der Diplomarbeit untersuchten Dünger; Quelle: Juliane Hausner

Diese 4 Düngerarten werden aufgeschlossen, extrahiert, und mittels ICP-OES analysiert.

6.1.7. GEWINNUNG DES MEHLWURMKOTS:

Um den Mehlwurmkot aus der Einstreu (Haferflocken, Grieß) zu gewinnen, werden Siebe aus Metall mit einer Maschengröße von 1,25 mm und 0,7 mm verwendet. Anschließend wird der gesamte Inhalt des Terrariums zuerst durch das gröbere Sieb auf ein Tablett gesiebt. Dabei werden Essensreste, Mehlwürmer, und die Grobeinstreu ausgesiebt. Anschließend werden unter Verwendung des feineren Siebes feinere Teile

der Einstreu ausgesiebt, als Ergebnis erhält man den Mehlwurmkot. Dieser kann nun für die weiteren Analysen verwendet.



Abbildung 18: Abbildungen der benötigten Utensilien; Quelle: Juliane Hausner

VORBEREITUNG DER DÜNGER

Die Dünger werden homogenisiert, ein repräsentativer Anteil dient als Ausgangsprobe für die erforderlichen Aufschlüsse und Analysen.

6.1.8. BESTIMMUNG DES PHOSPHORGEHALTES

INVERSER KÖNIGSWASSERAUFSCHLUSS

CHEMIKALIEN/ GERÄTE

- HCl (32 %ig) → gefährlich, ätzend
- HNO₃ (65 %ig) → gesundheitsgefährlich, ätzend, bestehende Feuergefahr bei Kontakt mit brennbaren Stoffen

AUFSCHLUSSPARAMETER MIKROWELLE CEM MARS-ONE 240/ 50

- Stufen: 2
- Leistung: 400 W
- Ramp Time: 6:00 min
- Hold Time: 20:00 min
- Temperatur: 190 °C
- TempGuard: 200 °C

ARBEITSVORGANG

Es werden 0,1 g eines repräsentativen Anteils der aufzuschließenden Probe in einen Behälter aus PTFE eingewogen. Der Probe werden 0,5 ml Reinstwasser, 4 ml 65%ige HNO_3 und 1 ml 32 %ige HCL hinzugefügt. Dieser Vorgang erfolgt mit allen Proben inklusive Blindprobe. Die Lösungen lässt man ca. 1 Stunde abreagieren, anschließend können die Behälter verschlossen und der Mikrowellenaufschluss gestartet werden. Dazu muss das Gerät laut den vorgegebenen Parametern richtig eingestellt werden bzw. die passende Methode gewählt werden.

Ist der Aufschluss abgeschlossen, wird die Probelösung in einen 50 ml Messkolben überführt. Um die gesamte Probelösung aus den Behältern zu erlangen, werden sie noch mit Reinstwasser ausgespült. Bis zur Markierung wird mit Reinstwasser aufgefüllt.

EXTRAKTIONEN

Um die Löslichkeit von Phosphor bzw. die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors aus Düngemittel zu ermitteln bzw. um zuerst den Phosphor aus den Düngemitteln zu lösen, werden die Düngerproben extrahiert.

Insgesamt werden pro Extraktionsmittel 4 Düngerproben inkl. Blindprobe extrahiert und filtriert.

CHEMIKALIEN

- Gefäße aus Kunststoff oder Glas (mind. 600 ml)
- Schüttelapparat:
Schüttelfrequenz: 80 Bewegungen/ min
Schüttelzeit: 30 min

EXTRAKTION DES IN 2%IGER ZITRONENSÄURE LÖSLICHEN PHOSPHORS

Herstellung 2%iger Zitronensäure

Zur Extraktion wird eine 2 %ige Zitronensäure benötigt. Um einen Liter davon herzustellen, werden 20 g kristalliner Zitronensäure eingewogen, mit dest. H_2O wird bis

zur Markierung aufgefüllt. Insgesamt werden ca. 3 Liter dieser Säure hergestellt (für 4 Proben inkl. Blindprobe). Die Säure kann nun für die Extraktionen verwendet werden.

Es werden 5 g der Probe in ein mind. 600 ml umfassendes Gefäß eingewogen. Man fügt 500 ml der 2 %igen Zitronensäure hinzu. Um Klumpenbildung zu vermeiden werden die ersten ml unter starkem Schütteln beigemischt. Das Gefäß wird verschlossen, in den Schüttelapparat gestellt und für 30 Minuten geschüttelt.

Nach dem Schütteln wird der Gefäßinhalt durch einen Faltenfilter filtriert. Es wird so lange filtriert, bis ausreichend Flüssigkeit für eine weitere Analyse vorhanden ist.

EXTRAKTION DES IN WASSER LÖSLICHEN PHOSPHORS

5 g der Düngerprobe werden in ein mind. 600 ml umfassendes Gefäß eingewogen (das Gefäß soll genügend freies Volumen zum Schütteln bieten). Es werden 500 ml dest. H₂O hinzugefügt und das Gefäß verschlossen. Die Proben werden 30 Minuten lang im Schüttelapparat geschüttelt.

Nach dem Schütteln wird der Gefäßinhalt durch einen Faltenfilter filtriert. Es wird so lange filtriert, bis ausreichend Flüssigkeit für eine weitere Analyse vorhanden ist.

(vgl. Düngemittelverordnung der EU, 2003, 123, 130)

ICP-OES

Für die Analyse mittels ICP-OES werden Standards mit Konzentrationen von je 0,1 mg/l, 0,5 mg/l und 2,5 mg/l einer Phosphor- und einer Multielementstammlösung hergestellt.

CHEMIKALIEN

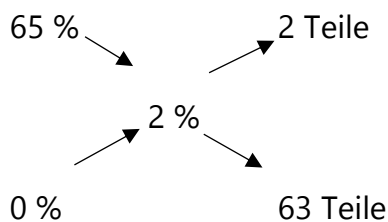
- NaH₂PO₄*H₂O → keine gefährliche Einstufung nach GHS
- Multielement-Stammlösung (c = 100 mg/l) → umweltgefährlich, ätzend, gesundheitsgefährdend
- HNO₃ (65%ig) → gesundheitsgefährlich, ätzend, bestehende Feuergefahr bei Kontakt mit brennbaren Stoffen

GERÄTEPARAMETER ICP-OES PERKIN ELMER – OPTIMA 3000 SC

- Gasfluss Argon: 17 l/min
- Gasfluss Hilfsgas: 0,5 l/min
- Vernebelungsgas: 0,74 l/min
- Pumpenfluss Probe: 1,5 ml/min
- RF-Power: 1500 W
- Standards: 0,1 mg/l; 0,5 mg/l; 2,5 mg/l
- Methode: ME_Solution16_CZ_P

ARBEITSVORGANG

Herstellung 250 ml einer 2%igen HNO₃ (aus 65 %iger HNO₃) zum Vorspülen der ICP/ Auffüllen der P-Stammlösung



100 g.....65 Teile

x.....2 Teile

$$x = 3,08$$

$$\rho = 1,35 \text{ g/ml}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{3,08 \text{ g}}{1,35 \text{ g/ml}} = 2,28 \text{ ml.....auf 100 ml}$$

→ es werden 5,7 ml 65 %iger HNO₃ mit dest. H₂O auf 250 ml aufgefüllt.

Herstellung einer Phosphor-Stammlösung

Zuerst werden 250 ml einer Phosphor-Stammlösung mit einer Konzentration von 100 mg/l hergestellt. Diese wird für die Herstellung der Standards benötigt.

$$M(\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 137,99 \text{ mg/l}$$

$$M(\text{P}) = 30,97 \text{ mg/l}$$

$$100 \text{ mg Phosphor / l} \rightarrow 25 \text{ mg Phosphor / 250 ml}$$

$$137,99 \text{ mg} \dots\dots\dots 30,97 \text{ mg}$$

$$\underline{x \dots\dots\dots 25 \text{ mg}}$$

$$x = 111,39 \text{ mg}$$

→ es werden 111,39 mg NaH_2PO_4 eingewogen um eine Konzentration von 100 mg P/l zu erhalten und in einen Messkolben überführt. Bis zur Eichmarke wird mit 2%iger HNO_3 aufgefüllt

Herstellung der Standards

Es werden 3 Standards (je 50 ml) mit Konzentrationen von 0,1 mg/l, 0,5 mg/l und 2,5 mg/l benötigt. Diese werden aus einer Multielement-Stammlösung und einer Phosphor-Stammlösung mit einer Konzentration von je 100 mg/l hergestellt.

Standard 1 (c = 0,1 mg/l):

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$

$$100 \text{ mg/l} \cdot x = 0,1 \text{ mg/l} \cdot 50 \text{ ml}$$

$$x = 0,05 \text{ ml}$$

→ 0,05 ml Phosphor-Stammlösung werden auf 50 ml mit dest. H_2O aufgefüllt, um einen Standard mit einer Konzentration von 0,1 mg/l zu erhalten.

Standard 2 (c = 0,5 mg/l):

$$c_1 * V_1 = c_2 * V_2$$

$$100 \text{ mg/l} * x = 0,5 \text{ mg/l} * 50 \text{ ml}$$

$$x = 0,25 \text{ ml}$$

→ 0,25 ml Phosphor-Stammlösung werden auf 50 ml mit dest. H₂O aufgefüllt, um einen Standard mit einer Konzentration von 0,5 mg/l zu erhalten.

Standard 3 (c = 2,5 mg/l):

$$c_1 * V_1 = c_2 * V_2$$

$$100 \text{ mg/l} * x = 2,5 \text{ mg/l} * 50 \text{ ml}$$

$$x = 1,25 \text{ ml}$$

→ 1,25 ml Phosphor-Stammlösung werden auf 50 ml mit dest. H₂O aufgefüllt, um einen Standard mit einer Konzentration von 2,5 mg/l zu erhalten.

Messung

Sind alle Vorbereitungen abgeschlossen, werden die Standards und Proben aus Aufschluss und Extraktion unverdünnt in die dafür vorgesehenen Behältnisse gefüllt. Die Behältnisse werden zuvor mit Reinstwasser und einer kleinen Menge an Probe ausgespült. Anschließend kann mit der Analyse begonnen werden.

7. ERGEBNISSE

7.1. MEHLWURMZUCHT (JASMIN KERSCHBAUMER)

7.1.1. ALLGEMEINE BEGEBENHEITEN BEI DER MEHLWURMZUCHT

AUFSCHLÜSSELUNG DER TERRARIEN

Es folgt eine Aufschlüsselung der nummerierten Terrarien, zugeordnet zu ihren jeweiligen untersuchten Parametern und den dort vorherrschenden Bedingungen.

Aufschlüsselung			
Terrarium Nr.	untersuchter Parameter	vorherrschende Umgebungsbedingungen	
1	Vergleichsterrarium	Einstreu:	Mehl
		Licht:	natürlich
		Heizung:	keine
2	Einstreu	Einstreu:	Gries
		Licht:	natürlich
		Heizung:	keine
3	Einstreu	Einstreu:	Haferflocken
		Licht:	natürlich
		Heizung:	keine
4	Einstreu	Einstreu:	Semmelbrösel
		Licht:	natürlich
		Heizung:	keine
5	Licht	Einstreu:	Mehl
		Licht:	dauerhaft beleuchtet
		Heizung:	keine
6	Licht	Einstreu:	Mehl
		Licht:	dauerhaft verdunkelt
		Heizung:	keine
7	Temperatur	Einstreu:	Mehl
		Licht:	natürlich
		Heizung:	Heizmatte
8	Umsetzung von Plastik im Kompost	Einstreu:	Kompost mit kompostierbarem Plastik
		Licht:	natürlich
		Heizung:	keine
8 (2.0)	Umsetzung von Plastik im Mehl	Einstreu:	Mehl mit kompostierbarem Plastik
		Licht:	natürlich
		Heizung:	keine

Tabelle 6: Aufschlüsselung der Terrarien; Quelle: Jasmin Kerschbaumer

TEMPERATURVERLAUF

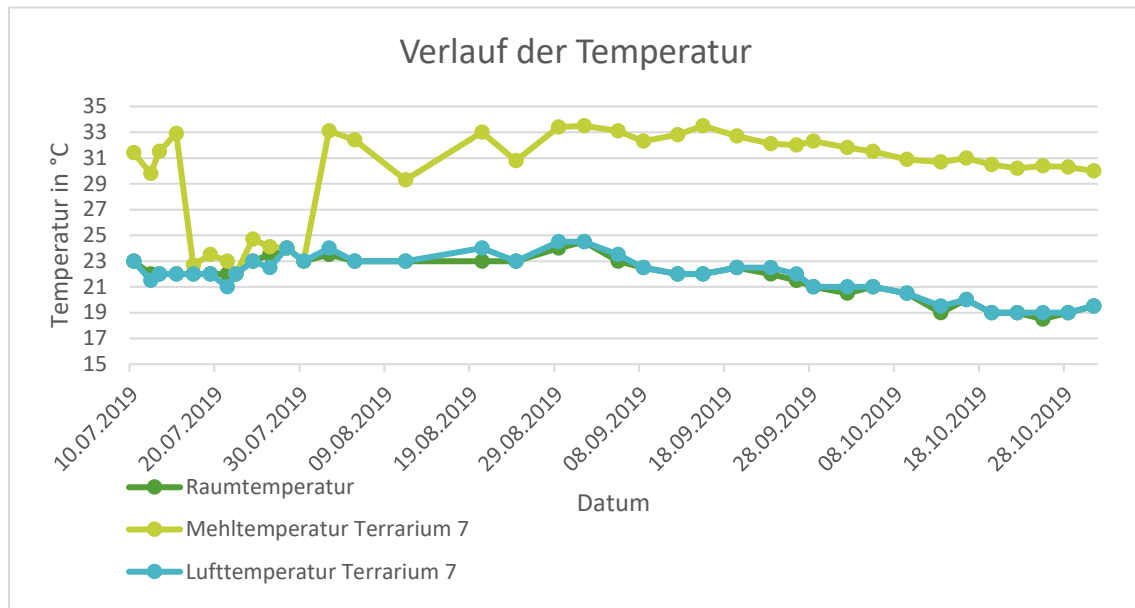


Abbildung 19: Temperaturverlauf; Quelle: Jasmin Kerschbaumer

Das Liniendiagramm zeigt den Verlauf der Temperatur im Versuchszeitraum vom 10.07.2019 bis zum 31.10.2019. Es sind die Werte von drei Messpunkten ersichtlich, einem Flüssigkeitsthermometer, das die Raumtemperatur, einem digitalen Thermometer, das die Temperatur des Mehls in Terrarium 7 und einem weiteren Flüssigkeitsthermometer, das die Lufttemperatur in Terrarium 7 gemessen hat. Die Werte sind in Grad Celsius angegeben.

Durch das Diagramm wird ersichtlich, dass die Raumtemperatur und die Lufttemperatur in Terrarium 7 größtenteils ident sind. Das Verhältnis zwischen der Temperatur des Mehls und der Luft ist über die Versuchsdauer meist gleichbleibend. Der gravierende Ausreißer der Mehltemperatur vom 17.07. bis zum 30.07., bei dem die Mehltemperatur auf die Raumtemperatur abgefallen ist, ist auf eine Fehlfunktion der verwendeten Heizmatte zurückzuführen. Der Fehler konnte jedoch behoben werden und ab dem 29.08. wurde die Mehltemperatur konstant gehalten.

Anhang 1: Tabelle des Temperaturverlaufes

VERLAUF DER MEHLWURMZUCHT

Der Versuch wurde am 10.07.2019 mit dem Einsetzen der Mehlwürmer in die vorbereiteten Terrarien gestartet. Am 29.07.2019 und am 28.08.2019 wurden Zwischenzählungen durchgeführt, am 31.10.2019 fand schließlich die Endzählung statt.

Bei den Terrarien 1 bis 7 sind während der Versuchslaufzeit keine Probleme aufgetreten. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass Futtermittel wie Löwenzahn, Salatblätter und Karotten weniger für Schimmelbildung anfällig sind als z.B. Äpfel oder Pfirsiche. Weiters war zu beobachten, dass der Futterverbrauch deutlich absinkt, wenn sich viele der Mehlwürmer in einem Terrarium im Puppenstadium befinden, da sich die Tiere in einem Ruhezustand befinden in dem sie keine Nahrung aufnehmen.

TERRARIEN 8 UND 8 (2.0)

Der Versuch in Terrarium 8 musste bei der ersten Zwischenzählung am 29.07. abgebrochen werden, da sich zu diesem Zeitpunkt bereits keine lebenden Mehlwürmer mehr in dem Terrarium befanden. Durch den frühzeitigen Abbruch und dem daraus resultierenden Fehlen an Vergleichswerten kann das Terrarium 8 nicht in die Ergebnisse der Anzahl und des Gewichtes der Mehlwürmer miteinfließen.

Aufgrund des Abbruches wurde der Versuch unter veränderten Bedingungen als Terrarium 8 (2.0) neu gestartet.

Da das Terrarium 8 (2.0) jedoch 19 Tage nach den anderen Terrarien gestartet wurde und deshalb andere Umgebungsbedingungen in den verschiedenen Entwicklungsstadien der Mehlwürmer herrschten und sich die Tiere auch bei der Endzählung nicht auf derselben Entwicklungsstufe wie die Mehlwürmer der Terrarien 1 bis 7 befanden, musste dieser Versuch eingeschränkt werden. Deshalb werden weder Anzahl noch Größe der Mehlwürmer in Terrarium 8 (2.0) in die Ergebnisse miteinbezogen. Durch diesen abgeänderten Versuch soll nun lediglich festgestellt werden, ob Mehlwürmer unter den erzeugten Umweltbedingungen und bei normaler

Futtergabe kompostierbare Biomüllbeutel verschiedener Marken als Nahrungsmittel wahrnehmen und umsetzen können.

Folgende Biomüllbeutel wurden dafür verwendet:

Nr.	Bezeichnung	Marke	Material
1	Biomüll-Säcke	Spar	auf Basis nachwachsender Rohstoffe
2	Bio-Müll Folienbeutel	Swirl	aus kompostierbarer Folie
3	Natürlicher Frischhaltebeutel	naku	aus natürlichem Kunststoff auf Basis von Pflanzen

Tabelle 7: Biomüllbeutel; Quelle: Jasmin Kerschbaumer

Bei der Endzählung am 31.10. wurden auch die aus den Müllbeuteln ausgeschnittenen Quadrate aus dem Terrarium 8 (2.0) entnommen und gereinigt, um zu überprüfen ob deutliche Fraßspuren der Mehlwürmer zu erkennen sind.



Abbildung 20: Fraßspuren an Biomüllbeuteln; Quelle: Jasmin Kerschbaumer

In der Grafik sind die Quadrate der verschiedenen Marken nach der Versuchszeit vom 29.07. bis zum 31.10. im Terrarium 8 (2.0) zu sehen. An den Rändern der Müllbeutel-Quadrate sind lediglich geringe Bisspuren von Mehlwürmern zu sehen, nur vereinzelt gibt es deutlichere Fraß-Stellen im Inneren. Die größte Biss-Spur weist ein Quadrat der Marke „naku“ auf.

7.1.2. ANZAHL

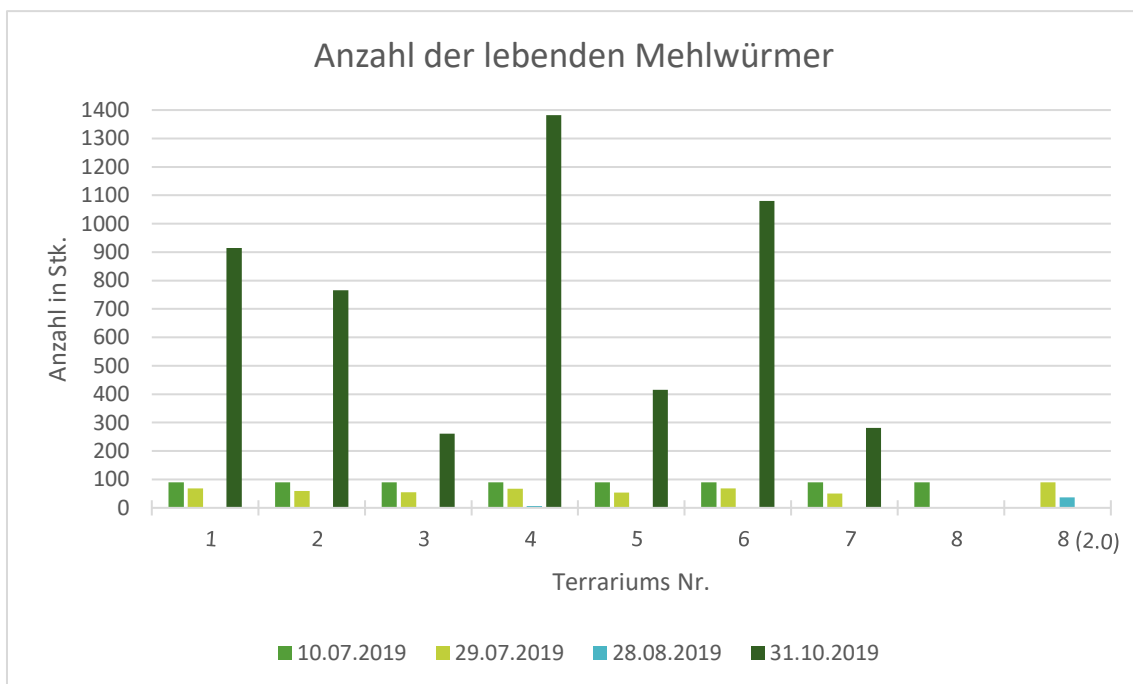


Abbildung 21: Anzahl der lebenden Mehlwürmer; Quelle: Jasmin Kerschbaumer

Bei diesem Säulendiagramm wurden lediglich die lebenden Mehlwürmer im Larvenstadium berücksichtigt. Beim Versuchsstart am 10.07. lag die Anzahl dieser bei allen Terrarien bei den 90 Stück, die in die jeweiligen Terrarien eingesetzt wurden.

Bei der ersten Zwischenzählung am 29.07. hatte sich die Anzahl der Mehlwürmer deutlich verringert, da sich viele Tiere bereits zu Puppen umgewandelt und vereinzelt auch bereits zu Käfern entwickelt hatten. Einige der Tiere waren auch bereits im Larvenstadium verstorben.

Am 28.08. bei der zweiten Zwischenzählung waren in den Terrarien keine bzw. nur noch wenige Mehlwürmer der gekauften Generation vorhanden. Zwar waren vereinzelt schon Mehlwürmer einer neuen Generation erkennbar, die aus den Eiern der bereits vorhandenen Käfer geschlüpft waren, diese waren jedoch aufgrund ihrer geringen Größe nicht zählbar und konnten deshalb nicht berücksichtigt werden.

Zum Zeitpunkt der Endauszählung am 31.10. waren keine Mehlwürmer im Larvenstadium oder als Puppen der „alten Generation“ vorhanden, diese hatten sich bereits zu Käfern entwickelt bzw. waren teilweise verstorben. Die gezählten Mehlwürmer entstammten alle der neuen Generation, die aus den abgelegten Eiern der Käfer geschlüpft waren. Hier sind eindeutig gravierende Unterschiede in der Anzahl der Mehlwürmer in den unterschiedlichen Terrarien zu erkennen. Die meisten Mehlwürmer (1382 Stück) waren in Terrarium 4, dem Terrarium mit Semmelbröseln als Einstreu, zu finden, die geringste Anzahl (261 Stück) wies das Terrarium Nummer 3 auf, hier wurden Haferflocken als Einstreu verwendet.

Wie in Punkt 4.1.1. bereits erwähnt, wurden die Terrarien 8 und 8 (2.0) nicht berücksichtigt.

Anhang 2: Tabelle Mehlwurmanzahl

7.1.3. GEWICHT

Ø GEWICHT PRO MEHLWURM

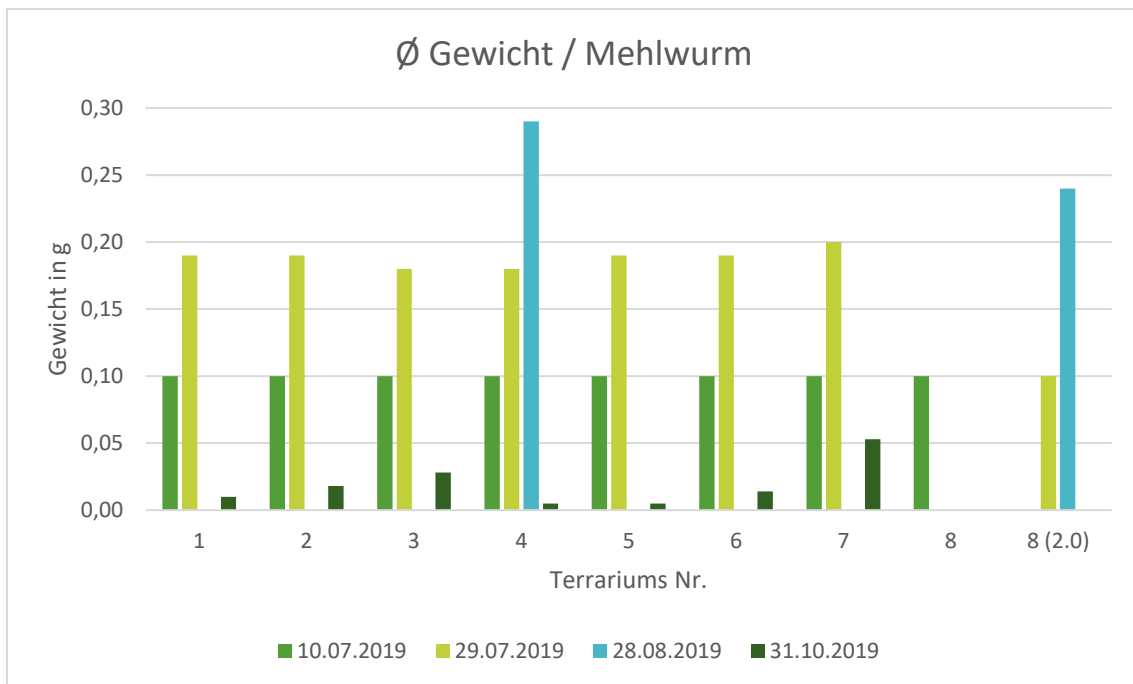


Abbildung 22: durchschnittliches Gewicht pro Mehlwurm; Quelle: Jasmin Kerschbaumer

In diesem Säulendiagramm ist das durchschnittliche Gewicht eines Mehlwurms in g in den jeweiligen Terrarien ersichtlich. Die Werte zeigen nur das Gewicht der Larven, die Puppen und Käfer wurden nicht in die Grafik miteinbezogen.

Am 10.07. beim Start des Versuches, lag das Durchschnittsgewicht eines Mehlwurms in allen Terrarien bei 0,10 g.

Bei der ersten Zwischenzählung am 29.07. sind bereits Unterschiede des Durchschnittsgewichtes in Bezug auf die Terrarien erkennbar. Die Mehlwürmer in Terrarium 7 hatten ihr Gewicht seit dem Versuchsstart bereits verdoppelt, wohingegen die Larven in den restlichen Terrarien mit durchschnittlich 0,18 bis 0,19 g pro Mehlwurm noch knapp davon entfernt waren.

Da bei der zweiten Zwischenzählung am 28.08. nur noch in den wenigsten Terrarien Mehlwürmer der eingesetzten Generation im Larvenstadium vorhanden waren und die neu geschlüpfte Generation aufgrund der geringen Größe noch nicht von der Einstreu

getrennt werden konnte, ergeben sich für diese Zählung keine zur Auswertung geeigneten Ergebnisse.

Die Endzählung am 31.10. zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Terrarien. Die Larven in Terrarium 7 hatten mit 0,053 g pro Mehlwurm ca. die halbe Masse der gekauften Mehlwürmer erreicht, die Terrarien 4 und 5 wiesen mit 0,005 g das geringste Gewicht auf.

Auch hier wurden die Terrarien 8 und 8 (2.0) nicht miteinbezogen.

GESAMTMASSE DER MEHLWÜRMER

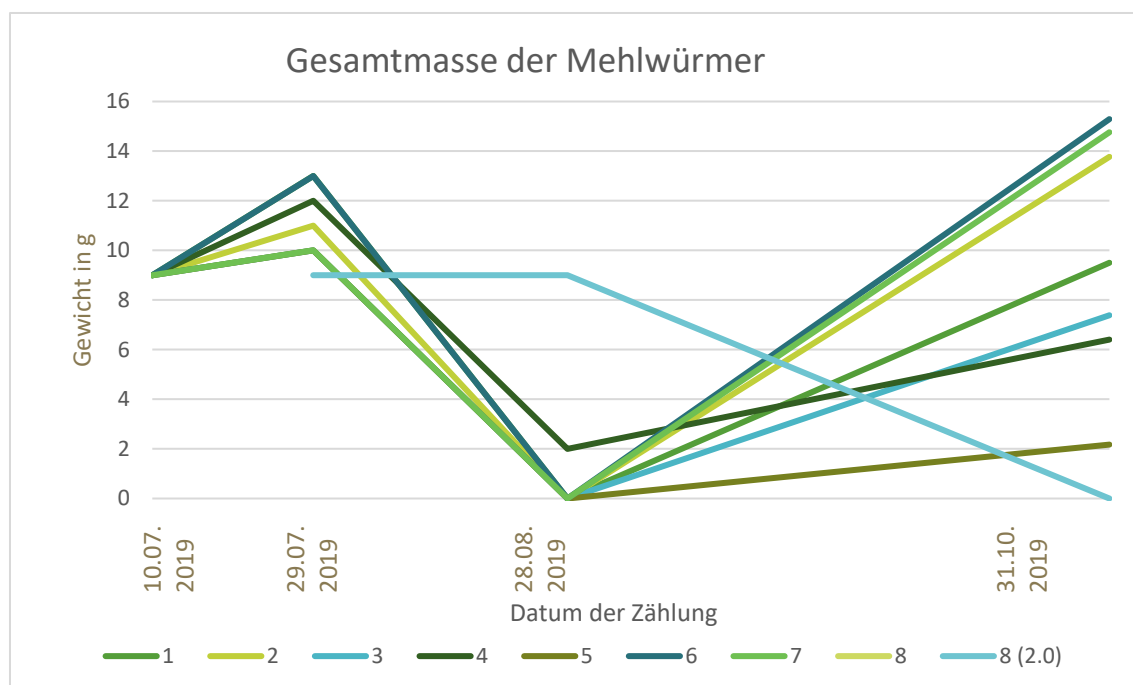


Abbildung 23: Gesamtmasse der Mehlwürmer; Quelle: Jasmin Kerschbaumer

Das Liniendiagramm zeigt nun die Gesamtmasse der Mehlwürmer in den einzelnen Terrarien, welche sich aus dem Durchschnittsgewicht und der Anzahl ergibt. Die Grafik bezieht sich ebenfalls nur auf die lebenden Mehlwürmer im Larvenstadium.

Die höchste Gesamtmasse an Mehlwürmer erreicht das Terrarium 6 mit 15,29 g, gefolgt von Terrarium 7 mit 14,76 g und Terrarium 2 mit 13,77 g. Mit Abstand die geringste Gesamtmasse weist das Terrarium 5 mit 2,17 g auf.

Anhang 3: Tabelle Mehlwurmgewicht

7.1.4. ZUSAMMENHÄNGE UND INTERPRETATION

TERRARIUM 4

Im Terrarium 4 war am Ende der Versuchslaufzeit die größte Anzahl an Mehlwürmern zu finden, allerdings mit dem geringsten Durchschnittsgewicht pro Larve, wodurch auch die Gesamtmasse der Mehlwürmer eher im niedrigen Bereich liegt. Es trat die Vermutung auf, dass die große Anzahl auf einen Unterschied in den Nährwerten der Einstreu zurückzuführen ist, dies bewahrheitete sich jedoch nach Überprüfung der Nähstoffangaben der verwendeten Einstreuprodukte nicht.

TERRARIUM 5

Das Terrarium 5 wies sowohl eine verhältnismäßig geringe Anzahl an Mehlwürmern als auch ein auffallend niedriges Gewicht pro Larve auf, wodurch sich insgesamt die geringste Gesamtmasse an Mehlwürmern ergab (die Terrarien 8 und 8 (2.0) außer Acht gelassen). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass eine dauerhafte Belichtung einen möglichen Stressfaktor für die Tiere darstellt und so ihre Vermehrung und ihr Wachstum gebremst werden.

TERRARIUM 7

Die Mehlwürmer in Terrarium 7 haben mit Abstand das höchste durchschnittliche Gewicht pro Mehlwurm erreicht, dies ist auf die RGT-Regel zurückzuführen. Die Reaktions-Geschwindigkeits-Temperatur (kurz: RGT) -Regel besagt, dass Prozesse bei einer erhöhten Umgebungstemperatur schneller ablaufen. Diese Regel scheint auch auf das Wachstum von Insekten anwendbar zu sein.

TERRARIUM 8 (2.0)

Die Mehlwürmer dieses Terrariums wurden zwar nicht in die Anzahl und das Gewicht der Larven miteinbezogen, allerdings konnte ihr Fressverhalten in Bezug auf Biomüllbeutel beobachtet werden. Durch die geringen Fraßspuren an den Müllbeutel-Quadraten wird deutlich, dass Mehlwürmer zwar in der Lage sind das Material zu

fressen, dies bei den erwähnten Fütterungsmethoden allerdings nur in äußerst geringem Maße tun. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die Larven des Mehlkäfers pflanzliche Nahrung, gegenüber synthetisch hergestellten, wenn auch biologischen, Stoffen vorziehen, wenn ihnen diese zur Verfügung steht.

GESAMT

Insgesamt ist auffällig, dass sich in den meisten Terrarien entweder viele Larven von geringer Größe oder eine kleine Anzahl an großen Mehlwürmern entwickelten. Eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung können die kannibalistischen Züge sein, die Mehlwürmer an den Tag legen. Es ist durchaus denkbar, dass bei einer hohen Individuendichte in einem Terrarium kleinere Exemplare von größeren gefressen werden, wodurch sich im Laufe des Wachstums die Zahl verringert und die übrigen Tieren eine beachtliche Größe erreichen. Das würde bedeuten, dass das Terrarium 7 zeitlich am fortgeschrittensten war, das Terrarium 4 am weitesten zurück. Dieses Verhalten der Mehlwürmer konnte jedoch nicht überprüft werden und müsste durch eine eingehende Verhaltensbeobachtung belegt werden.

7.2. PROTEINANALYSE (JANA LEONHARTSBERGER)

7.2.1. ERGEBNISSE DER KJELDAHL-ANALYSE

MEHLWÜRMER

Probe	Verbrauch an HCl [ml]	eingewogene Probe [g]
BP	0,0	0,0
1	20,2	1,003
2	17,7	1,001
3	21,1	1,000

4	18,2	1,003
5	22,1	1,001
6	20	1,003
7	18,9	1,003

Tabelle 8: Ergebnisse der Kjeldahl-Analyse – Mehlwürmer; Quelle: Jana Leonhartsberger

Verweis: Bezeichnung der Proben; siehe 7.1.1. Aufschlüsselung der Terrarien

LEBENSMITTEL

Probe	Verbrauch an HCl [ml]	eingewogene Probe [g]
BP	0,0	0,0
Dinkelmehl	15	1,0017
Sojamehl	47,2	1,0020
Mandelkerne	25,2	1,0019
Kantwurst	27,2	1,0010

Tabelle 9: Ergebnisse der Kjeldahl-Analyse – Lebensmittel; Quelle: Jana Leonhartsberger

7.2.2. ERMITLLUNG DES PROTEINGEHALTES

BERECHNUNG DER STICKSTOFFMASSE

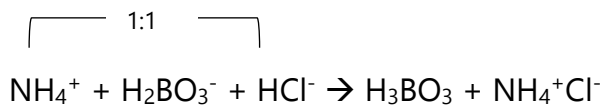
HCl:

$c = 0,1 \text{ mol/l} \rightarrow 0,1 \text{ mol} \dots\dots\dots 1000 \text{ ml}$

$x \dots\dots\dots 1 \text{ ml}$

$x = \underline{0,0001 \text{ mol HCl}}$

→ entspricht ebenso der Stoffmenge des Stickstoffes, aufgrund des 1:1 Verhältnisses



Um die Masse des Stickstoffes berechnen zu können, wird diese Formel verwendet:

$$m = n * M$$

$$m = 0,0001 \text{ mol} * 14 \text{ g/mol}$$

$$m = \underline{0,0014 \text{ g Stickstoff}}$$

FAKTOR

Der Faktor beträgt 5,4, da der Stickstoffanteil im Protein 16% beträgt.

DIE ANZUWENDEnde FORMEL

$$\%N = \frac{(\text{Verbrauch an HCl [ml]} - \text{Verbrauch an HCl bei Blindprobe [ml]}) * \text{Stickstoffmasse [g]}}{\text{eingewogene Probe [g]}} * 100 * \text{Faktor}$$

Beispielrechnung - Probe 1

$$\%N = \frac{(20,2 \text{ ml} - 0,0 \text{ ml}) * 0,0014 \text{ g}}{1,003 \text{ g}} * 100$$

$$\%N = 2,82 \% * 5,4 (\text{Faktor}) = \underline{15,23 \%} \text{ entspricht } 15,23 \text{ g/100 g}$$

Anhang 4: Berechnungen des Proteingehaltes der Mehlwurmproben

Anhang 5: Berechnungen des Proteingehaltes der Lebensmittel

7.2.3. PROTEINGEHALT DER MEHLWÜRMER – INTERPRETATION

Probe	Proteingehalt [%]
1 (Mehl)	15,23
2 (Grieß)	13,37
3 (Haferflocken)	15,95
4 (Semmelbrösel)	13,72
5 (Mehl, dauerhaft beleuchtet)	16,69
6 (Mehl, dauerhaft verdunkelt)	15,07
7 (Mehl, Heizmatte)	14,25

Tabelle 10: Proteingehalt der untersuchten Mehlwurmproben; Quelle: Jana Leonhartsberger

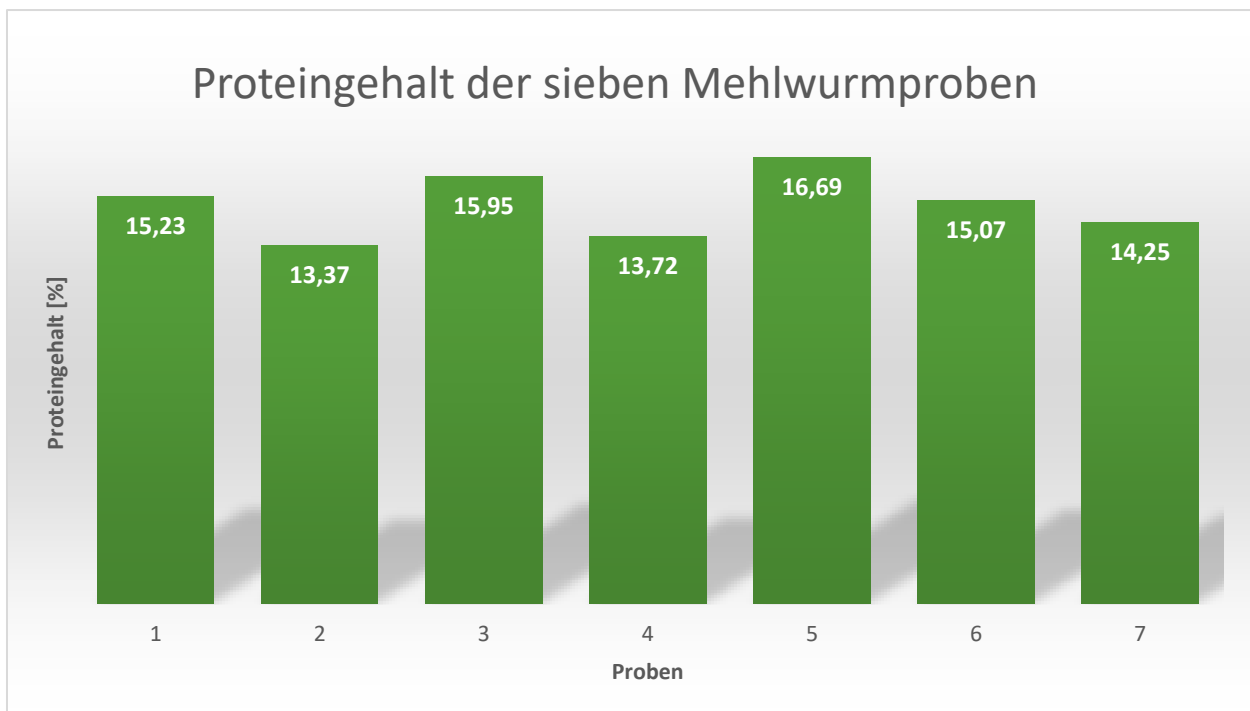


Abbildung 24: Darstellung des Proteingehaltes der sieben untersuchten Mehlwurmproben im Vergleich zueinander; Quelle: Jana Leonhartsberger

Dieses Diagramm zeigt die Ergebnisse der sieben analysierten Mehlwurmproben im Vergleich zueinander. Es ist ersichtlich, dass die Mehlwürmer, die in Mehl oder Haferflocken lebten (Probe 1, 3, 5 und 6), einen höheren Proteingehalt aufweisen als die Mehlwürmer, die in Grieß und Semmelbrösel lebten (Probe 2 und 3). Der höchste

analyisierte Proteingehalt liegt bei der Mehlwurmprobe 6 mit 16,69 % vor, den Mehlwürmern, die in Mehl gezüchtet worden sind. Die Mehlwürmer, die in Grieß gelebt haben, weisen den geringsten Proteingehalt mit 13,37 % auf.

Vor der Proteinanalyse wurde die Vermutung aufgestellt, dass die Mehlwürmer die in Mehl gelebt haben und zusätzlich beheizt wurden (Probe 7), den höchsten Proteinanteil haben, weil diese Mehlwürmer am dicksten waren und das höchste durchschnittliche Gewicht mit 0,053 g pro Mehlwurm aufweisen. Jedoch stellte sich das Gegenteil heraus. Diese Mehlwürmer haben im Vergleich zu den anderen untersuchten Mehlwürmern einen niedrigen Proteingehalt. Daraus kann man schließen, dass ein größeres Durchschnittsgewicht nicht zwingend einen höheren Proteingehalt zur Folge hat. Ihre Größe könnte ebenso durch den hohen Fettanteil zu begründen sein.

Verglichen mit der Literatur enthalten Mehlwürmer durchschnittlich 23% Proteine (vgl. <https://www.diewurmfarm.at/aufzucht/>, 10.02.2020). Der mit der Kjeldahl-Analyse festgestellte Proteingehalt der Mehlwürmer beträgt also um 5,69% weniger. Das weist darauf hin, dass Mehlwürmer keinen konstanten Proteingehalt haben. Dieser hängt von der Art der Züchtung und von den Umwelteinflüssen ab, denen die Mehlwürmer ausgesetzt sind.

7.2.4. PROTEINGEHALT DER LEBENSMITTEL – INERPRETATION

Probe	Proteingehalt [%]	Proteingehalt nach Nährstofftabelle [%]	Proteingehalt nach Literatur [%]
Dinkelmehl	11,25	12	12,4
Sojamehl	35,54	40	40
Mandelkerne	21,20	22	24
Kantwurst	20,47	22	20,1

Tabelle 11: Proteingehalt der untersuchten Lebensmittel; Quelle: Jana Leonhartsberger

Quelle der Literaturwerte: <https://www.naehrwertrechner.de/>, 20.02.2020.

Der mit der Kjeldahl-Analyse festgestellte Proteingehalt der Lebensmittel weicht nur minimal von den Literaturwerten ab. Daraus lässt sich schließen, dass genau gearbeitet wurde.

Das Sojamehl sticht heraus mit einem Proteingehalt von 35,54 %, wohingegen Dinkelmehl weniger als die Hälfte des Proteingehaltes von Sojamehl aufweist. Mandelkerne und Kantwurst beinhalten nahezu um die Hälfte weniger Proteine.

7.2.5. INTERPRETATION - MEHLWÜRMER IM VERGLEICH ZU LEBENSMITTEL

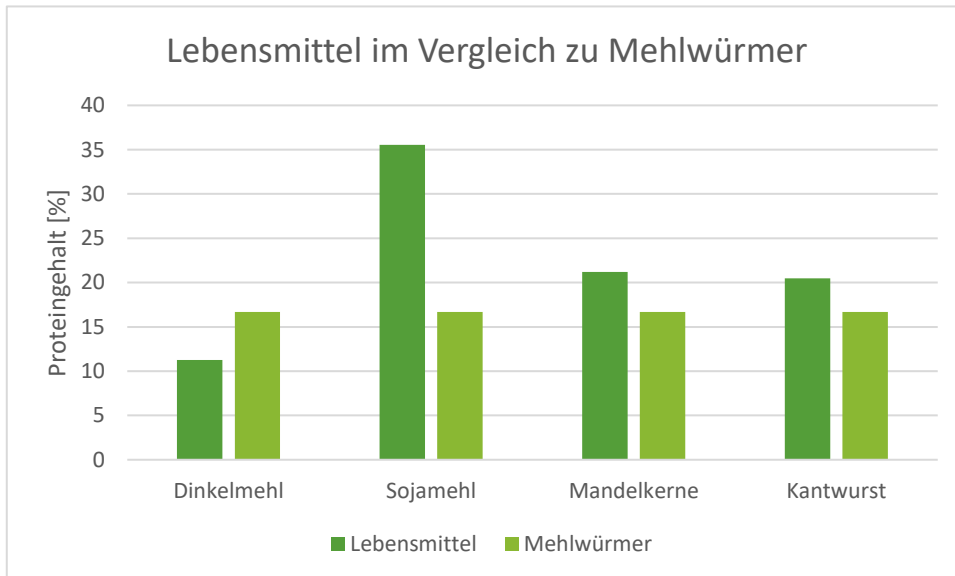


Abbildung 25: Darstellung des Proteingehaltes der untersuchten Lebensmittel jeweils im Vergleich zum Proteingehalt der Mehlwürmer; Quelle: Jana Leonhartsberger

Das Diagramm bezieht sich auf den Proteingehalt der untersuchten Lebensmittel und stellt diese jeweils in Vergleich zu den untersuchten Mehlwürmern dar. Dazu wird der höchste festgestellte Proteingehalt der Mehlwürmer herangezogen, der bei 16,69 % liegt.

Das Dinkelmehl hat mit einem Proteingehalt von 11,25 % weniger Proteine als Mehlwürmer. Die Kantwurst und die Mandelkerne haben mit einem Proteingehalt von 20,47 % und 21,20 % nicht viel mehr Proteine als Mehlwürmer. Das Sojamehl hat unter den untersuchten Lebensmitteln und auch im Vergleich zu den Mehlwürmern den höchsten Proteingehalt mit 35,54 %.

MEHLWÜRMER ALS ZUKÜNFTIGES NAHRUNGSMITTEL

Durch die chemische Analyse wird ersichtlich, dass Mehlwürmer, in Bezug auf deren Proteingehalt eine Alternative zu konventionellen Lebensmitteln darstellen. Die empfohlene Zufuhr von Proteinen liegt bei 0,8 – 1 g/kg Körpergewicht (vgl. <https://www.chemie.de/lexikon/Protein.html#Literatur>, 26.12.2019) und 100 g

Mehlwürmer enthalten 16,69 g Proteine, das heißt mit Mehlwürmern könnte ein großer Teil der empfohlenen Zufuhrmenge an Proteinen gedeckt werden.

Der Verzehr von Mehlwürmern stellt auch eine Möglichkeit dar, um den Fleischkonsum zu verringern, denn der Proteingehalt von Hackfleisch (Rind) liegt bei 22,5 % (vgl. <https://www.netdoktor.de/ernaehrung/eiweiss/eiweisshaltige-lebensmittel/>, 18.02.2020). Mehlwürmer weisen genauso viele Proteine auf, mit einem Proteingehalt von 23 % (vgl. <https://www.diewurmfarm.at/aufzucht/>, 10.02.2020).

ÖKOLOGISCHE BEDEUTUNG

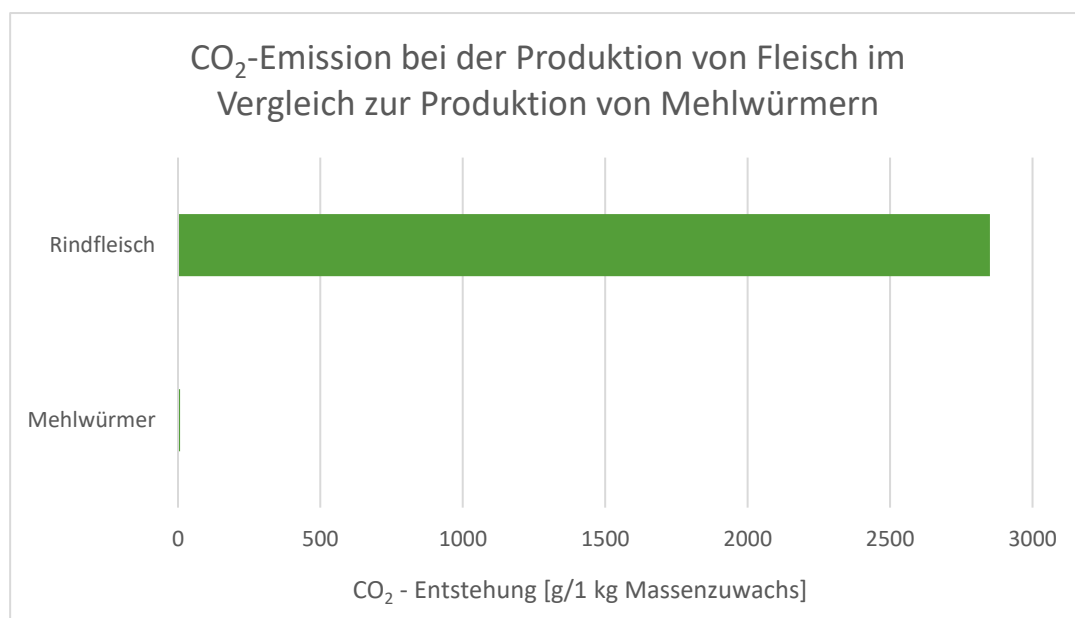


Abbildung 26: Vergleich der CO₂-Entstehung bei der Produktion von Rindfleisch zur Produktion von Mehlwürmern; Quelle: Jana Leonhartsberger

Dieses Diagramm zeigt den wesentlichen Unterschied zwischen der CO₂-Entstehung durch die Produktion von Rindfleisch und Mehlwürmern. Fleisch hat eine sehr schlechte Klimabilanz. Durch die Produktion von einem Kilogramm Rindfleisch entstehen bis zu 2.850 g CO₂-Äquivalente. Mehlwürmer sind eine ertragreiche Alternative, da diese nur ein Hundertstel der Emissionen verursachen (vgl. Fiebelkorn, 2017, 108).

Mehlwürmer können zudem auch noch ressourcenarm vermehrt werden, beanspruchen kaum Fläche und erzeugen bei der Zucht so gut wie gar kein CO₂. Das wirkt sich positiv auf die Umwelt und das Klima aus.

Mehlwürmer stellen nicht nur für den Menschen eine Proteinquelle dar, sondern auch für Tiere. Für Nutztiere ist eine proteinreiche Nahrung wichtig, weshalb Mehlwürmer ein potenzielles Tierfutter darstellen. Dadurch könnte auf herkömmliches proteinreiches Tierfutter, wie Soja, verzichtet werden. Somit könnte wiederum CO₂ eingespart werden, denn um Soja anbauen zu können, werden oft riesige Flächen an Regenwald gerodet.

7.3 DÜNGERANALYSE (JULIANE HAUSNER)

7.3.1 ERMITTLUNG DES PHOSPHORGEHALTS

ERSTELLUNG EINER EXTINKTIONSGERADE

Standard	Konzentration	Peakfläche
1	0,1	482,2
2	0,5	288
3	2,5	941

Tabelle 12: Messwerte Standards; Quelle: Juliane Hausner

Um eine sinnvolle und möglichst korrekte Extinktionsgerade zu erhalten, wird der erste Standard nicht berücksichtigt.

Mit Hilfe der Formel der Extinktionsgerade kann die von der ICP-OES detektierte Peakfläche in eine für die weitere Auswertung benötigte Konzentration in mg/l umgerechnet werden.

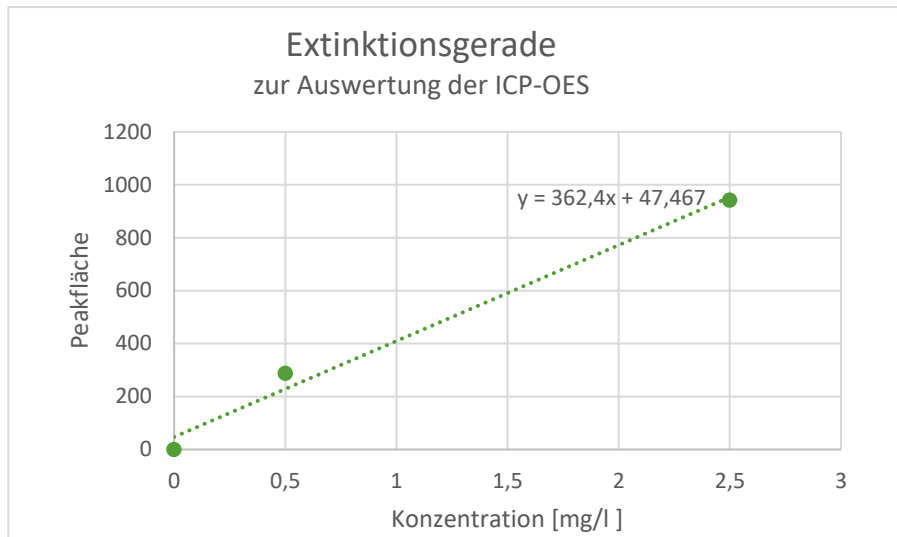


Abbildung 27: Extinktionsgerade; Quelle: Juliane Hausner

Funktion der Extinktionsgerade: $y = 362,4x + 47,467$

$$\text{Konzentration in mg/l} = \frac{\text{Peakfläche} - 47,467}{362,4}$$

Beispielrechnung

Konzentration in mg/l des aufgeschlossenen Mehlwurmkots:

$$\text{Konzentration} = \frac{9865,8 - 47,467}{362,4} = 27,09 \text{ mg/l}$$

BERECHNUNG DES P-GEHALTES

$$P - \text{Gehalt in \%} = \left(\frac{\text{Konzentration in } \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{\text{Verhältnis zum Ausgangsvolumen}} \right) * 100 : \text{Einwaage in mg}$$

Beispielrechnung

P-Gehalt in % des aufgeschlossenen Mehlwurmkotes:

$$P - \text{Gehalt} = \left(\frac{27,09 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{20} \right) * 100 : 101,5 \text{ mg} = 1,33 \%$$

GESAMT-P (AUFSCHLUSS)

Aufschluss	Düngemittel	Peakfläche	Konzentration in mg/l*	Einwaage [g]	P-Gehalt** in %
	Mehlwurmkot	9865,8	27,09	0,1015	1,33
	Blaukorn	14893,3	40,97	0,1001	2,05
	Naturdünger	6252,6	17,12	0,1012	0,85
	Guano	18795,6	51,73	0,1017	2,54

Tabelle 13: Werte der aufgeschlossenen Proben; Quelle: Juliane Hausner

* bei einem Ausgangsvolumen von 50 ml

**bezogen auf 1 l

→ Verhältnis zum Ausgangsvolumen: 1:20

IM WASSER GELÖSTER PHOSPHOR

Wasserextraktion	Düngemittel	Peakfläche	Konzentration in mg/l*	Einwaage [g]	P-Gehalt** in %
	Mehlwurmkot	33970,9	93,61	4,999	0,94
	Blaukorn	59762,8	164,78	5,001	1,65
	Naturdünger	5847,2	16,0	4,999	0,16
	Guano	22120,2	60,91	5,006	0,61

Tabelle 14: Werte der Proben aus der Wasserextraktion; Quelle: Juliane Hausner

* bei einem Ausgangsvolumen von 500 ml

** bezogen auf 1 l

→ Verhältnis zum Ausgangsvolumen: 1:2

IN ZITRONENSÄURE GELÖSTER PHOSPHOR

Säureextraktion	Düngemittel	Peakfläche	Konzentration in mg/l*	Einwaage [g]	P-Gehalt** in %
	Mehlwurmkot	27121	74,71	5,001	0,75
	Blaukorn	67617	186,45	5,015	1,86
	Naturdünger	21626,4	59,54	5,001	0,60
	Guano	66586,7	183,61	5,000	1,84

Tabelle 15: Werte der Proben aus der Zitronensäureextraktion; Quelle: Juliane Hausner

* bei einem Ausgangsvolumen von 500 ml

** bezogen auf 1 l

→ Verhältnis zum Ausgangsvolumen: 1:2

7.3.2. DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

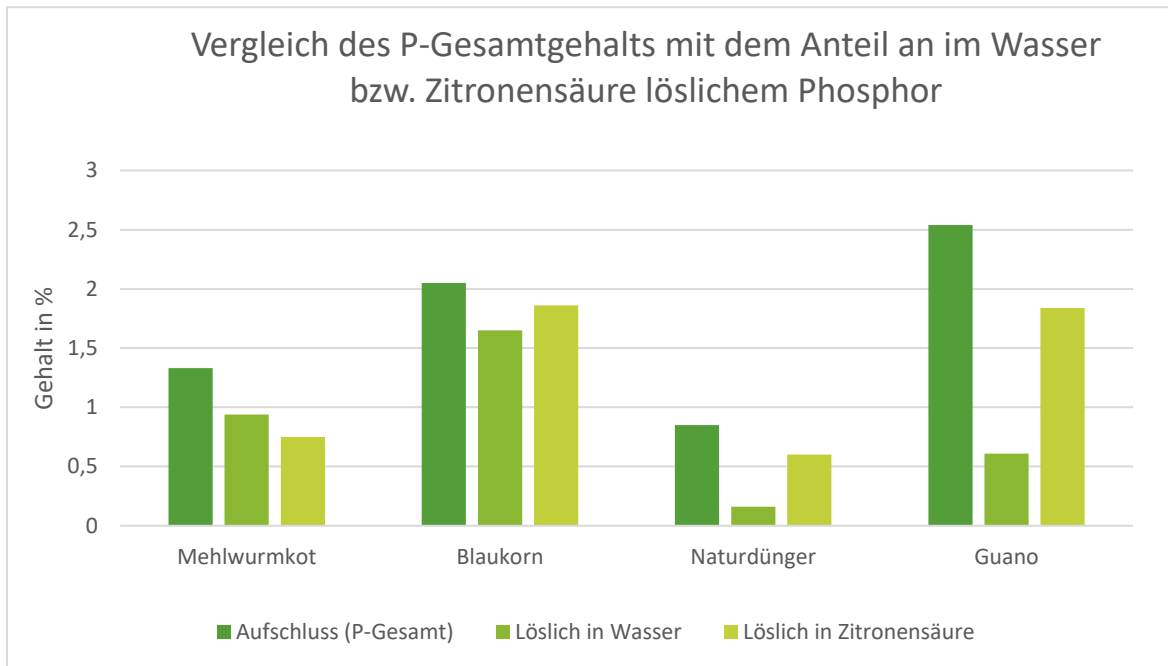


Abbildung 28: Graphische Darstellung der Phosphor-Gehalte der jeweiligen Düngemittel; Quelle: Juliane Hausner

Diese Darstellung zeigt einen Vergleich vom Gesamt-Phosphor-Gehalt, dem Gehalt an in Wasser löslichem Phosphor sowie dem Gehalt an in Zitronensäure löslichem Phosphor, in Bezug auf das jeweilige Düngemittel.

Der Mehlwurmkom weist mit 1,33 % einen P-Gehalt im mittleren Bereich auf, ein größerer Teil davon, 0,94 %, ist in Wasser gut löslich, ein etwas kleinerer in Zitronensäure.

Mit 2,05 % zeigt das Blaukorn einen hohen P-Gehalt, und den höchsten unter den untersuchten Düngemitteln. 1,65 % sind bereits in Wasser löslich, ein weiterer kleiner Teil zusätzlich in Zitronensäure.

Der Naturdünger mit 0,85 % hat einen sehr geringen P-Gehalt, der meiste Phosphor ist in Zitronensäure löslich, nur ein kleiner Teil von 0,16 % in Wasser.

Der Guano Dünger besitzt mit 2,54 % den höchsten P-Gehalt der untersuchten Düngemittel. Dabei ist ein großer Anteil in Zitronensäure löslich, nur ein geringer Anteil in Wasser.

7.3.3 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

Der Naturdünger und der Guano sind aufgrund ihres geringen wasserlöslichen Phosphoranteils im Vergleich zu Blaukorn und Mehlwurmkot am schlechtesten für die Pflanzen verfügbar. Ein großer Teil des Phosphors kann erst nach einer Vegetationsperiode als Nährstoff von der Pflanze aus der Bodenlösung aufgenommen werden, nur ca. 1/8 des gesamten Phosphors sind sofort für die Pflanze verfügbar. Somit kann der Phosphor im Boden leichter angereichert werden, wodurch es auf Dauer zu einem Überschuss kommen kann.

Beim Blaukorn ist ein großer Teil in Wasser, ein weiterer Teil erst in Zitronensäure löslich, das bedeutet, der meiste Phosphor ist für die Pflanze sofort verfügbar, aber auch langfristig (im Zeitraum einer Vegetationsperiode) ist er im Boden für die Pflanze vorhanden.

Im Vergleich dazu besitzt auch der im Mehlwurmkot enthaltene Phosphor gut lösliche Eigenschaften und ist kurzfristig für die Pflanze verfügbar. Ein etwas kleiner Teil ist erst nach einer Vegetationsperiode für die Pflanze verfügbar. Somit zeigt sich hier das Gegenteil zu den anderen untersuchten Düngern, da die Löslichkeit des Mehlwurmkots in Wasser höher ist als die in Zitronensäure und der kurzfristig verfügbare Phosphoranteil größer ist als der über eine Vegetationsperiode verfügbare.

Somit sind der Biodünger sowie der Guano-Dünger eher für Böden geeignet, welche ein saures Bodenmilieu besitzen. Zwar sind sie eher ungeeignet, wenn ein schnelles Wachstum erforderlich ist, dafür geben sie den Dünger nach und nach in kleinen Rationen an die Bodenlösung ab. Deshalb verringert sich die Gefahr, dass zu viel Dünger nutzlos verloren geht, und ein schonender Umgang mit dem Nährstoff Phosphor ist möglich. Wird hingegen ein rasches Wachstum benötigt, so sind mineralische Dünger wie der analysierte Blaukorn von Vorteil, da sie einen Großteil des Phosphors der Pflanze sofort zur Verfügung stellen.

EINSCHÄTZUNG DES POTENTIALS DES MEHLWURMKOTS DURCH DEN VERGLEICH MIT DEN KONVENTIONELLEN DÜNGEMITTELN

Im Punkt Gesamtgehalt an Phosphor liegt der Mehlwurm Kot zwar im unteren Bereich, dennoch liefert der Kot mehr unmittelbar verfügbaren Phosphor als Biodünger und Guano-Dünger, und ist auch eine gute langfristige Phosphorquelle im Vergleich zu mineralischen Düngern. Somit hat Mehlwurm Kot großes Potential als Düngemittel, welches gegenüber konventionellen Düngern konkurrenzfähig ist. Allerdings wird eine relativ große Menge im Vergleich zu konventionellen, mineralischen Düngern benötigt.

Die Annahme, dass eine hohe Menge benötigt wird, ergibt sich daraus, dass der Mehlwurm Kot ein sehr geringes Gewicht im Verhältnis zu seinem Volumen besitzt.

7.3.4. ANWENDBARKEIT IN DER PRAXIS

OPTIMALE KREISLAUFWIRTSCHAFT

Die Gewinnung von Mehlwurm Kot könnte in eine ausgeglichene Kreislaufwirtschaft eingebunden werden, wodurch die hohe benötigte Menge an diesem Kot, um eine sinnvolle Düngung durchführen zu können, erwirtschaftet werden kann. Die Würmer werden dabei gezüchtet, bei dieser Züchtung fällt Dünger an. Die Würmer selbst können als Futtermittel für Hühner eingesetzt werden. Hühner liefern dem Menschen Nahrungsmittel im Sinne von Fleisch, der gewonnene Kot kann wiederum als Dünger zur Nahrungsmittelproduktion verwendet werden.

BERECHNUNG ZU EINER OPTIMALEN KREISLAUFWIRTSCHAFT

Die Berechnung erfolgt gemäß den Angaben eines führenden österreichischen Geflügelproduzenten.

INDUSTRIELLE UMSETZUNG



Abbildung 29: Industrielle Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft; Quelle: Juliane Hausner

Ein Huhn liefert 2,2 kg Fleisch und benötigt dafür 3,7kg Futter. Unter der Annahme, dass bei der Fütterung von 15.000 Hühnern in einem Futterzyklus von 34 Tagen 10 % des Futters durch Mehlwürmer ersetzt werden, würde die produzierte Menge an Mehlwurm Kot der Düngermenge von 1800 kg mineralischen Phosphatdünger entsprechen. Dieser Dünger kann wiederum für die Nahrungsmittelerzeugung für den Menschen verwendet werden.

PRIVATE UMSETZUNG

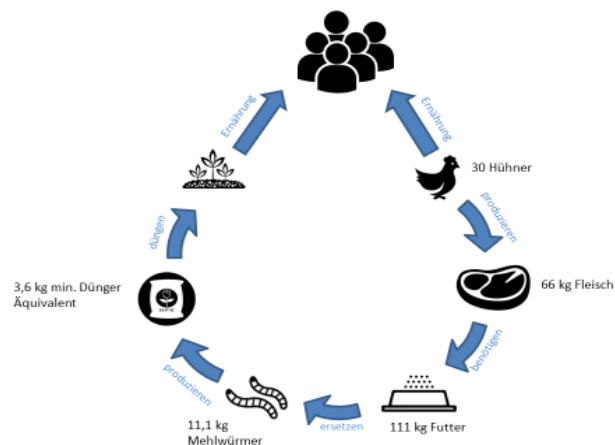


Abbildung 30: Private Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft; Quelle: Juliane Hausner

Auch im privaten Rahmen kann das Modell dieser Kreislaufwirtschaft umgesetzt werden. Dies könnte vor allem Haushalten in ärmeren, von der Landwirtschaft und Selbstversorgung abhängigen Erdteilen zu Gute kommen.

30 Hühner würden 66 kg Fleisch produzieren. Dafür werden 111 kg Futter benötigt, wovon 11,1 kg durch Mehlwürmer ersetzt werden könnten, welche wiederum Dünger liefern, der einer Menge von 3,6 kg mineralischem Dünger entspricht. Dieser Dünger kann zum Anbau für die Basis von Grundnahrungsmitteln verwendet werden.

SCHLUSSFOLGERUNG

Die Düngung mit Mehlwurmkot wäre ein sehr effizienter Weg, um der Knappheit an Phosphordüngemittel entgegen zu lenken und die mineralischen Phosphoreserven zu schonen.

8. DANKSAGUNG

Wir bedanken uns bei unseren betreuenden Professoren DI Dr. Angelika Pfeifer und DI Johannes Bichl für ihre tatkräftige Unterstützung. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchten wir uns herzlich bedanken.

9. QUELLENVERZEICHNIS

- Kahlstatter, Fiona: Gesunde Ernährung, Insekten essen, 1. Auflage. Kempten: Panis Verlag, 2018.
- Schaden, Lisa-Marie: Biologische Aufzucht unserer Mehlwürmer. Online im Internet: <https://www.diewurmfarm.at/aufzucht/>, 10.02.2020.
- Berg, Christian; Hartung, Manuel J.: Welt retten für Einsteiger, 30 Gründe für ein gutes Gewissen. München: Deutscher Taschenbuch Verlag, 2007.
- Köckeritz, Monika: Mehlwürmer züchten und nutzen. Norderstedt: BoD – Books on Demand, 2015.
- Online im Internet: <https://www.naehrwertrechner.de/>, 20.02.2020.
- Bense, Ulrich; Geigenmüller, Katrin; Trautner, Jürgen: Käfer, beobachten · bestimmen, Band 1. Melsungen: Verlag J. Neumann-Neudamm, 1989.
- Fiebelkorn, Florian: Entomophagie - Insekten als Nahrungsmittel der Zukunft. In: Biologie in unserer Zeit, 47, 2017, 104 -110.
- Online im Internet: <https://www.chemie.de/lexikon/Protein.html#Literatur>, 26.12.2019.
- Felchner, Carola: Eiweißhaltige Lebensmittel. Online im Internet: <https://www.netdoktor.de/ernaehrung/eiweiss/eiweisshaltige-lebensmittel/>, 18.02.2020.
- Hepp, Alexander: Zusatzinformation zum Anorganisch Chemischen Grundpraktikum. Online im Internet: https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/anorganische_und_analytische_chemie/lehre/chemie/anorganische_chemie/grundpraktikum/kjeldahlsche_stickstoffbestimmung.pdf, 29.12.2019.
- Online im Internet: <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie-abitur/artikel/proteine-aufbau-und-eigenschaften>, 20.02.2020.
- Finck, Arnold: Pflanzenernährung und Düngung. in Stichworten. Stuttgart: Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 2007.

- Wiesler Franz, Armbruster Martin: Auf die Pflanzenverfügbarkeit kommt es an. Online im Internet: <https://www.lw-heute.de/-pflanzenverfuegbarkeit-kommt-an>, 20.09.2019.
- Montag David et. al.: Phosphor-Recycling. Düngemittel mit Recycling-P. Online im Internet: https://www.kompost.de/fileadmin/docs/HuK/5.4.6_Position_P-Recycling_oktober_2013.pd, 20.09.2019.
- Kratz Sylvia, Schnug Ewald: Zur Frage der Löslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor in Düngemitteln, Stuttgart: Eugen Ulmer KG, 2008.
- Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates Düngemittelverordnung der EU, Amtsblatt der Europäischen Union, 304/2003.
- Dürkop Axel; Kochmann Sven: Chromogene Komplexbildung. Online im Internet: https://www-app.uni-regensburg.de/Fakultaeten/CHP/Analytische_Chemie/web/dateien/hirsch/Praktikumsskript%20ANC%20II%20-%20WS2010-11.pdf, 19.02.2020.

10. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Mehlwurmkolonie; Quelle: Köckeritz, 2015, 8	17
Abbildung 2: Lebenszyklus des Mehlkäfers; Quelle: Köckeritz, 2015, 7	18
Abbildung 3: Mehlwurm während der Häutung; Quelle: Köckeritz, 2015, 5	20
Abbildung 4: Chemische Struktur einer Aminosäure; Quelle: Jana Leonhartsberger ...	22
Abbildung 5: Aminosäuren die zu einer Kette durch eine Peptidbindung verbunden sind; Quelle: Jana Leonhartsberger	23
Abbildung 6: Strukturebenen eines Proteins; Copyright 2001 Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg	23
Abbildung 7: Natriumdihydrogenphosphat; Quelle: Juliane Hausner	28
Abbildung 8: Übersicht Mobilisierung-Immobilisierung, Quelle: Juliane Hausner	33
Abbildung 9: Grundaufbau einer Plasmaeinheit; Quelle: Juliane Hausner	36
Abbildung 10: Aufbau Terrarium 5; Quelle: Jasmin Kerschbaumer	38
Abbildung 11: Aufbau Terrarium 6; Quelle: Jasmin Kerschbaumer	39
Abbildung 12: Aufbau Terrarium 7; Quelle: Jasmin Kerschbaumer	39
Abbildung 13: Proben im Aufschlussblock; Quelle: Jana Leonhartsberger	44
Abbildung 14: Destillationsanlage; Quelle: Jana Leonhartsberger	45
Abbildung 15: Titrierte Probe; Quelle: Jana Leonhartsberger	46
Abbildung 16: Destillierte Probe; Quelle: Jana Leonhartsberger	46
Abbildung 17: Mehlwurmkot; Quelle: Juliane Hausner	47
Abbildung 18: Abbildungen der benötigten Utensilien; Quelle: Juliane Hausner	48
Abbildung 19: Temperaturverlauf; Quelle: Jasmin Kerschbaumer	55
Abbildung 20: Fraßspuren an Biomüllbeuteln; Quelle: Jasmin Kerschbaumer	57
Abbildung 21: Anzahl der lebenden Mehlwürmer; Quelle: Jasmin Kerschbaumer	58

Abbildung 22: durchschnittliches Gewicht pro Mehlwurm; Quelle: Jasmin Kerschbaumer	60
Abbildung 23: Gesamtmasse der Mehlwürmer; Quelle: Jasmin Kerschbaumer	61
Abbildung 24: Darstellung des Proteingehaltes der sieben untersuchten Mehlwurmproben im Vergleich zueinander; Quelle: Jana Leonhartsberger.....	66
Abbildung 25: Darstellung des Proteingehaltes der untersuchten Lebensmittel jeweils im Vergleich zum Proteingehalt der Mehlwürmer; Quelle: Jana Leonhartsberger.....	69
Abbildung 26: Vergleich der CO ₂ -Entstehung bei der Produktion von Rindfleisch zur Produktion von Mehlwürmern; Quelle: Jana Leonhartsberger	70
Abbildung 27: Extinktionsgerade; Quelle: Juliane Hausner.....	72
Abbildung 28: Graphische Darstellung der Phosphor-Gehalte der jeweiligen Düngemittel; Quelle: Juliane Hausner.....	75
Abbildung 29: Industrielle Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft; Quelle: Juliane Hausner	78
Abbildung 30: Private Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft; Quelle: Juliane Hausner.	78

11. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Nährwerte von Insekten; Quelle: Kahlstatter 2018, 35.....	14
Tabelle 2: Ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren für die Produktion von Insekten und konventionellen Nutztieren; Quelle: Florian Fiebelkorn, 2017, 108.....	15
Tabelle 3: Dauer der Entwicklungsstadien; Quelle: Köckeritz 2015, 8	19
Tabelle 4: Eiweißhaltige Lebensmittel; Quelle: https://www.netdoktor.de/ernaehrung/eiweiss/eiweisshaltige-lebensmittel/ , 18.02.2020.....	27
Tabelle 5: Kurzbeschreibung der im Zuge der Diplomarbeit untersuchten Dünger; Quelle: Juliane Hausner	47
Tabelle 6: Aufschlüsselung der Terrarien; Quelle: Jasmin Kerschbaumer	54
Tabelle 7: Biomüllbeutel; Quelle: Jasmin Kerschbaumer	57
Tabelle 8: Ergebnisse der Kjeldahl-Analyse – Mehlwürmer; Quelle: Jana Leonhartsberger.....	63
Tabelle 9: Ergebnisse der Kjeldahl-Analyse - Lebensmittel; Quelle: Jana Leonhartsberger.....	64
Tabelle 10: Proteingehalt der untersuchten Mehlwurmproben; Quelle: Jana Leonhartsberger.....	66
Tabelle 11: Proteingehalt der untersuchten Lebensmittel; Quelle: Jana Leonhartsberger.....	68
Tabelle 12: Messwerte Standards; Quelle: Juliane Hausner	71
Tabelle 13: Werte der aufgeschlossenen Proben; Quelle: Juliane Hausner.....	73
Tabelle 14: Werte der Proben aus der Wasserextraktion; Quelle: Juliane Hausner	74

Tabelle 15: Werte der Proben aus der Zitronensäureextraktion; Quelle: Juliane Hausner74

12. LEBENSLÄUFE



Lebenslauf

ANGABEN ZUR PERSON **Juliane Hausner**



📍 Steinwandweg 18, 3671 Marbach (Österreich)

☎ 0680 207 85 62

✉ jhausner@hluwyspताल.ac.at

BERUFSERFAHRUNG

04.06.2018–24.08.2018 **Praktikum in den Bereichen Labor und Verwaltung**
GAV Amstetten

SCHUL- UND BERUFSBILDUNG

07.09.2015–Heute
Höhere Lehranstalt für Umwelt und Wirtschaft, Yspertal (Ö)

09.2011–06.2015
Hauptschule, Persenbeug (Österreich)

09.2007–06.2011
Volksschule, Marbach (Österreich)

PERSÖNLICHE FÄHIGKEITEN

Muttersprache(n) Deutsch

Fremdsprache(n)	VERSTEHEN		SPRECHEN		SCHREIBEN
	Hören	Lesen	An Gesprächen teilnehmen	Zusammenhängendes Sprechen	
Englisch	B2	B2	B2	B2	B2
Französisch	A1	A2	A1	A1	A2

Niveaus: A1 und A2: Elementar - B1 und B2: Selbstständig - C1 und C2: Kompetent
Gemeinsamer Europäischer Referenzrahmen für Sprachen - Raster zur Selbsteinschätzung

Sonstige Fähigkeiten

- Ausbildung zur Sicherheitsvertrauensperson
- Ausbildung zur Gefahrgutbeauftragten
- Staplerführerschein
- Mitglied im Musikverein Marbach

Führerschein AM, B

ANGABEN ZUR PERSON **Jasmin Kerschbaumer**



📍 Markt 18, 4391 Waldhausen (Österreich)
 📞 0677 6177 0462 jasmin-
 ✉ kerschbaumer@aon.at

BERUFSERFAHRUNG

- 08.08.2016–02.09.2016 **Ferialpraktikum**
Capatect Baustoffindustrie GmbH, Perg (Österreich)
- 10.07.2017–04.08.2017 **Ferialpraktikum**
Capatect Baustoffindustrie GmbH, Perg (Österreich)
- 11.06.2018–06.07.2018 **Pflichtpraktikum**
HUECK FOLIEN Ges.m.b.H., Baumgartenberg (Österreich)
- 10.07.2018–01.09.2018 **Pflichtpraktikum**
Eva Schartner, Altaussee (Österreich)
- 05.08.2019–30.08.2019 **Ferialpraktikum**
HUECK FOLIEN Ges.m.b.H., Baumgartenberg (Österreich)

SCHUL- UND BERUFSBILDUNG

- 2007–2011
Volksschule, Waldhausen (Österreich)
- 2011–2015
Hauptschule, Waldhausen (Österreich)
- 2015–Heute
Höhere Lehranstalt für Umwelt und Wirtschaft, Yspertal (Österreich)

PERSÖNLICHE FÄHIGKEITEN

Muttersprache(n) Deutsch

Fremdsprache(n)

	VERSTEHEN		SPRECHEN		SCHREIBEN
	Hören	Lesen	An Gesprächen teilnehmen	Zusammenhängendes Sprechen	
Englisch	B2	B2	B2	B2	B2
Spanisch	A2	A2	A2	A2	A2

Niveaus: A1 und A2: Elementar - B1 und B2: Selbstständig - C1 und C2: Kompetent
 Gemeinsamer Europäischer Referenzrahmen für Sprachen - Raster zur Selbsteinschätzung

Digitale Fähigkeiten

ECDL Computerführerschein


Sonstige Fähigkeiten Ehrenamtliche Mitarbeit in der öffentlichen Bibliothek Waldhausen, Ausbildung zur Sicherheitsvertrauensperson, Ausbildung zur Gefahrgutbeauftragten

Führerschein B

ANGABEN ZUR PERSON **Jana Leonhartsberger**



 Weinschenk 36, 4391 Waldhausen (Österreich)

 jleonhartsberger@hluwyspental.ac.at

SCHUL- UND BERUFSBILDUNG

- 07.09.2015–19.06.2020 **Reife- und Diplomprüfung**
Höhere Lehranstalt für Umwelt und Wirtschaft, Ysper (Österreich)
- 12.09.2011–10.07.2015
Hauptschule, Waldhausen (Österreich)
- 10.09.2007–08.07.2011
Volksschule, Waldhausen (Österreich)

BERUFSERFAHRUNG

- 03.09.2018–28.09.2018 **Labor und Verwaltung**
Gemeindeabwasserverband, Amstetten (Österreich)
- 06.08.2018–31.08.2018 **Labor**
TIGER coatings GmbH & Co. KG, Wels (Österreich)
- 04.06.2018–29.06.2018 **Verwaltung**
HLUW, Ysper (Österreich)
- 03.07.2017–28.07.2017 **Verwaltung**
Bulmor industries GmbH, Perg (Österreich)

PERSÖNLICHE FÄHIGKEITEN

Muttersprache(n) Deutsch

Fremdsprache(n)	VERSTEHEN		SPRECHEN		SCHREIBEN
	Hören	Lesen	An Gesprächen teilnehmen	Zusammenhängendes Sprechen	
Englisch	B2	B2	B2	B2	B2
Spanisch	A1	A2	A2	A1	A2

Niveaus: A1 und A2: Elementar - B1 und B2: Selbstständig - C1 und C2: Kompetent
Gemeinsamer Europäischer Referenzrahmen für Sprachen - Raster zur Selbsteinschätzung

- Kommunikative Fähigkeiten**
- Gute kommunikative Fähigkeit, die ich im Zuge meiner schulischen Ausbildung erworben habe
 - Ausgezeichnete Kontaktfähigkeit mit Kindern, die ich als Älteste von vier Geschwistern erworben habe

- Organisations- und Führungstalent**
- Gute Fähigkeit zur Teamleitung, die ich im Zuge meiner schulischen Ausbildung aufgrund Leitung von Projekten erworben habe
 - Gute Organisationsfähigkeit, erworben als Praktikantin; ich war oft verantwortlich für die Organisation von Veranstaltungen

- Berufliche Fähigkeiten**
- Hohe Zielstrebigkeit: Mir war es immer schon wichtig, die von mir gesetzte Ziele zu erreichen
 - Hohes Verantwortungsbewusstsein: Als Älteste von vier Geschwistern habe ich schon früh gelernt Kompromisse zu erarbeiten und alltägliche Abläufe zu organisieren

SELBSTBEURTEILUNG

Daten- verarbeitung	Kommunikation	Erstellung von Inhalten	Sicherheit	Problemlösung
Kompetente Verwendung	Kompetente Verwendung	Selbstständige Verwendung	Kompetente Verwendung	Kompetente Verwendung

- Digitale Fähigkeiten** Digitale Fähigkeiten - Raster zur Selbstbewertun

ECDL (Kenntnisse in Microsoft Word, Excel, Power Point und IT- Security)

- Sonstige Fähigkeiten**
- Gefahrgutbeauftragte: Ich bin im Rahmen einer Schulung als Gefahrgutbeauftragte zertifiziert
 - Sicherheitsvertrauensperson : Ich bin im Rahmen einer SVP-Ausbildung (Kurs nach der SVP-Verordnung BGBl. Nr. 172/96) als Sicherheitsvertrauensperson zertifiziert

13. ANHANGSVERZEICHNIS

Anhang 1: Tabelle des Temperaturverlaufes	94
Anhang 2: Tabelle Mehlwurmanzahl	96
Anhang 3: Tabelle Mehlwurmgewicht	98
Anhang 4: Berechnungen des Proteingehaltes der Mehlwurmproben	65
Anhang 5: Berechnungen des Proteingehaltes der Lebensmittel.....	65

Anhang 1: Tabelle des Temperaturverlaufes

Temperaturverlauf			
Datum	Raumtemperatur [°C]	Mehltemperatur Terrarium 7 [°C]	Lufttemperatur Terrarium 7 [°C]
10.07.2019	23	31,4	23
12.07.2019	22	29,8	21,5
13.07.2019	22	31,5	22
15.07.2019	22	32,9	22
17.07.2019	22	22,7	22
19.07.2019	22	23,5	22
21.07.2019	22	23	21
22.07.2019	22	22	22
24.07.2019	23	24,7	23
26.07.2019	23,5	24,1	22,5
28.07.2019	24	24	24
30.07.2019	23	23	23
02.08.2019	23,5	33,1	24
05.08.2019	23	32,4	23
11.08.2019	23	29,3	23
20.08.2019	23	33	24
24.08.2019	23	30,8	23
29.08.2019	24	33,4	24,5
01.09.2019	24,5	33,5	24,5
05.09.2019	23	33,1	23,5
08.09.2019	22,5	32,3	22,5
12.09.2019	22	32,8	22
15.09.2019	22	33,5	22
19.09.2019	22,5	32,7	22,5
23.09.2019	22	32,1	22,5
26.09.2019	21,5	32	22
28.09.2019	21	32,3	21
02.10.2019	20,5	31,8	21
05.10.2019	21	31,5	21
09.10.2019	20,5	30,9	20,5

13.10.2019	19	30,7	19,5
16.10.2019	20	31	20
19.10.2019	19	30,5	19
22.10.2019	19	30,2	19
25.10.2019	18,5	30,4	19
28.10.2019	19	30,3	19
31.10.2019	19,5	30	19,5

Anhang 2: Tabelle Mehlwurmanzahl

Terrarium	Entwicklungsstadium	10.07.2019	29.07.2019	28.08.2019	31.10.2019
1	Mehlwürmer lebend	90	69	2	914
	Mehlwürmer tot	0	12	5	0
	Puppen lebend	0	8	0	0
	Puppen tot	0	1	15	0
	Käfer lebend	0	0	45	31
	Käfer tot	0	0	8	10
2	Mehlwürmer lebend	90	59	0	766
	Mehlwürmer tot	0	15	9	0
	Puppen lebend	0	14	0	0
	Puppen tot	0	1	23	0
	Käfer lebend	0	1	9	18
	Käfer tot	0	0	7	3
3	Mehlwürmer lebend	90	55	0	261
	Mehlwürmer tot	0	17	5	0
	Puppen lebend	0	13	0	0
	Puppen tot	0	1	17	0
	Käfer lebend	0	4	33	20
	Käfer tot	0	0	7	10
4	Mehlwürmer lebend	90	67	7	1382
	Mehlwürmer tot	0	12	3	0
	Puppen lebend	0	9	2	0
	Puppen tot	0	2	26	0
	Käfer lebend	0	0	27	21
	Käfer tot	0	0	4	0
5	Mehlwürmer lebend	90	54	1	416
	Mehlwürmer tot	0	25	10	10
	Puppen lebend	0	4	0	0
	Puppen tot	0	6	3	0
	Käfer lebend	0	1	10	28
	Käfer tot	0	0	7	4
6	Mehlwürmer lebend	90	69	2	1080
	Mehlwürmer tot	0	14	0	0
	Puppen lebend	0	7	0	0
	Puppen tot	0	0	15	0
	Käfer lebend	0	0	46	37
	Käfer tot	0	0	7	7
7	Mehlwürmer lebend	90	51	0	281
	Mehlwürmer tot	0	17	5	8
	Puppen lebend	0	17	0	0
	Puppen tot	0	4	18	0
	Käfer lebend	0	1	34	12
	Käfer tot	0	0	7	4

8	Mehlwürmer lebend	90	Entfällt		
	Mehlwürmer tot	0			
	Puppen lebend	0			
	Puppen tot	0			
	Käfer lebend	0			
	Käfer tot	0			
8 (2.0)	Mehlwürmer lebend	Entfällt	90	37	-
	Mehlwürmer tot		0	33	8
	Puppen lebend		0	10	0
	Puppen tot		0	4	15
	Käfer lebend		0	7	12
	Käfer tot		0	0	6

Anhang 3: Tabelle Mehlwurmgewicht

Gewicht der Mehlwürmer					
Terrarium	Gewicht in g	10.07.2019	29.07.2019	28.08.2019	31.10.2019
1	Gesamtgewicht	9,00	15,00	9,00	14,10
	Gewicht Mehlwürmer	9,00	13,00	0,00	9,50
	Ø Gewicht / Wurm	0,10	0,19	0,00	0,010
	Ø Gewicht / Tier	0,10	0,19	0,19	0,015
2	Gesamtgewicht	9,00	13,00	6,00	16,40
	Gewicht Mehlwürmer	9,00	11,00	0,00	13,77
	Ø Gewicht / Wurm	0,10	0,19	0,00	0,018
	Ø Gewicht / Tier	0,10	0,18	0,19	0,021
3	Gesamtgewicht	9,00	13,00	7,00	10,21
	Gewicht Mehlwürmer	9,00	10,00	0,00	7,39
	Ø Gewicht / Wurm	0,10	0,18	0,00	0,028
	Ø Gewicht / Tier	0,10	0,18	0,21	0,036
4	Gesamtgewicht	9,00	13,00	6,00	9,14
	Gewicht Mehlwürmer	9,00	12,00	2,00	6,41
	Ø Gewicht / Wurm	0,10	0,18	0,29	0,005
	Ø Gewicht / Tier	0,10	0,17	0,17	0,007
5	Gesamtgewicht	9,00	11,00	8,00	6,15
	Gewicht Mehlwürmer	9,00	10,00	0,00	2,17
	Ø Gewicht / Wurm	0,10	0,19	0,00	0,005
	Ø Gewicht / Tier	0,10	0,19	0,24	0,014
6	Gesamtgewicht	9,00	14,00	10,00	20,57
	Gewicht Mehlwürmer	9,00	13,00	0,00	15,29
	Ø Gewicht / Wurm	0,10	0,19	0,00	0,014
	Ø Gewicht / Tier	0,10	0,18	0,21	0,018
7	Gesamtgewicht	9,00	12,00	8,00	16,11
	Gewicht Mehlwürmer	9,00	10,00	0,00	14,76
	Ø Gewicht / Wurm	0,10	0,20	0,00	0,053
	Ø Gewicht / Tier	0,10	0,17	0,24	0,055
8	Gesamtgewicht	9,00	Entfällt		
	Gewicht Mehlwürmer	9,00			
	Ø Gewicht / Wurm	0,10			
	Ø Gewicht / Tier	0,10			
8 (2.0)	Gesamtgewicht	Entfällt	9,00	11,00	2,02

	Gewicht Mehlwürmer		9,00	9,00	0,00
	Ø Gewicht / Wurm		0,10	0,24	0,00
	Ø Gewicht / Tier		0,10	0,20	0,17

Anhang 4: Berechnungen des Proteingehaltes der Mehlwurmproben

PROBE 1

$$\%N = \frac{(20,2 \text{ ml} - 0,0 \text{ ml}) * 0,0014 \text{ g}}{1,003 \text{ g}} * 100$$

$$\%N = 2,82 \% * 5,4 \text{ (Faktor)} = \underline{15,23 \%} \text{ entspricht } 15,23 \text{ g/100 g}$$

PROBE 2

$$\%N = \frac{(17,7 \text{ ml} - 0,0 \text{ ml}) * 0,0014 \text{ g}}{1,001 \text{ g}} * 100$$

$$\%N = 2,48 \% * 5,4 = \underline{13,37 \%}$$

PROBE 3

$$\%N = \frac{(21,1 \text{ ml} - 0,0 \text{ ml}) * 0,0014 \text{ g}}{1,000 \text{ g}} * 100$$

$$\%N = 2,95 \% * 5,4 = \underline{15,95 \%}$$

PROBE 4

$$\%N = \frac{(18,2 \text{ ml} - 0,0 \text{ ml}) * 0,0014 \text{ g}}{1,003 \text{ g}} * 100$$

$$\%N = 2,54 \% * 5,4 = \underline{13,72 \%}$$

PROBE 5

$$\%N = \frac{(22,1 \text{ ml} - 0,0 \text{ ml}) * 0,0014 \text{ g}}{1,001 \text{ g}} * 100$$

$$\%N = 3,09 \% * 5,4 = \underline{16,69 \%}$$

PROBE 6

$$\%N = \frac{(20 \text{ ml} - 0,0 \text{ ml}) * 0,0014 \text{ g}}{1,003 \text{ g}} * 100$$

$$\%N = 2,79 \% * 5,4 = \underline{\underline{15,07 \%}}$$

PROBE 7

$$\%N = \frac{(18,9 \text{ ml} - 0,0 \text{ ml}) * 0,0014 \text{ g}}{1,003 \text{ g}} * 100$$

$$\%N = 2,64 \% * 5,4 = \underline{\underline{14,25 \%}}$$

Anhang 5: Berechnungen des Proteingehaltes der Lebensmittel

DINKELMEHL

$$\%N = \frac{(15 \text{ ml} - 0,1 \text{ ml}) * 0,0014 \text{ g}}{1,0017 \text{ g}} * 100$$

$$\%N = 2,08 \% * 5,4 \text{ (Faktor)} = \underline{\underline{11,25 \%}}$$

SOJAMEHL

$$\%N = \frac{(47,2 \text{ ml} - 0,1 \text{ ml}) * 0,0014 \text{ g}}{1,002 \text{ g}} * 100$$

$$\%N = 6,58 \% * 5,4 = \underline{\underline{35,54 \%}}$$

MANDELKERNE

$$\%N = \frac{(28,2 \text{ ml} - 0,1 \text{ ml}) * 0,0014 \text{ g}}{1,0019 \text{ g}} * 100$$

$$\%N = 3,93 \% * 5,4 = \underline{\underline{21,20 \%}}$$

KANTWURST

$$\%N = \frac{(27,2 \text{ ml} - 0,1 \text{ ml}) * 0,0014 \text{ g}}{1,0010 \text{ g}} * 100$$

$$\%N = 3,79 \% * 5,4 = \underline{\underline{20,47 \%}}$$

14. PROJEKTHANDBUCH

1. Eckdaten

Projekt Diplomarbeit	
Projektstart: <ul style="list-style-type: none">• Themenfindung und erste Abgabe der Themenausarbeitung• 18.12.2018	
Projektende <ul style="list-style-type: none">• Abgabe der Diplomarbeit• Ende 2019	
Ziele der Diplomarbeit: <ul style="list-style-type: none">• Vergleich der Mehlwurmzucht unter unterschiedlichen Bedingungen• Feststellung des Proteingehalts der Mehlwürmer in Bezug auf verschiedene Zuchtmethoden und im Vergleich zu üblichen Lebensmitteln• Analyse des Insektenkots als potentieller Dünger	
Nicht-Ziele der Diplomarbeit: <ul style="list-style-type: none">• Entwicklung geeigneter Zuchtmethoden für den Hausgebrauch• Feststellung der Eignung von Mehlwürmern als Nahrungsmittel oder als Ersatz für sonstiges Fleisch	
DiplomarbeitsbetreuerInnen: <ul style="list-style-type: none">• Dipl. Ing. Dr. Angeika Pfeifer• Dipl. Ing. Johannes Bichl	

2. Projektorganisation

PROJEKTORGANISATION PROJEKTAUFTRAG PROJEKTUMFELD		
Projektrolle	Aufgabenbereiche/ Skills	Name
ProjektauftraggeberIn	Genehmigung des Themas	Landesschulrat / HLUW Yspertal
Projektteam- mitgliederInnen	Chemie; Proteinanalyse Chemie; Düngemittelanalyse Biologie; Analyse der Zuchtbedingungen	Jana Leonhartsberger Juliane Hausner Jasmin Kerschbaumer
ProjektpartnerInnen		-
ProjektmitarbeiterInnen (Falls es Personen gibt, die zusätzlich bei der Arbeit mitwirken)		
Sonstige Personen oder Organisationen im Umfeld des Projektes		

3. Projektmeilensteinplan

(beinhaltet wichtige Termine bei deren Nichteinhaltung das ganze Projekt verzögert wird oder scheitert)

PROJEKT- MEILENSTEINPLAN				
Meilenstein	Plantermin * Fertigstellung	Ist- Termin Fertigstellung	Wurde der Termin eingehalten?	Wer ist für die Termineinhaltung verantwortlich?
Genehmigung des Themas:				
• Themenfindung	18.12.2018	18.12.2018	ja	Jasmin Kerschbaumer, Juliane Hausner, Jana Leonhartsberger
• Erste Abgabe der Themenausarbeitung	18.12.2018	18.12.2018	ja	Jasmin Kerschbaumer, Juliane Hausner, Jana Leonhartsberger
• Abgabe der überarbeiteten Themenausarbeitung	28.02.2019	28.02.2019	ja	Jasmin Kerschbaumer, Juliane Hausner, Jana Leonhartsberger
Literaturrecherche:				
• Zum Thema Haltung und Zucht von Mehlwürmern	18.07.2019	16.06.2019	ja	Jasmin Kerschbaumer
• Zum Thema Kjeldahl- Analyse und Proteingehalten von Lebensmitteln	18.07.2019	10.07.2019	ja	Jana Leonhartsberger
• Zum Thema Nährstoffanalyse und Nährstoffe in Düngemitteln	18.07.2019	11.07.2019	ja	Juliane Hausner
Praktische Arbeiten:				
• Haltung und Zucht von Mehlwürmern unter verschiedenen Bedingungen	30.09.2019	31.10.2020	nein	Jasmin Kerschbaumer
• Analyse des Proteingehalts von Mehlwürmern und anderen Lebensmitteln	30.09.2019	12.11.2019	nein	Jana Leonhartsberger
• Analyse des Düngepotentials von Mehlwurmkot	07.10.2019	09.11.2019	nein	Juliane Hausner
Theoretische Arbeiten:				
• Schriftliche Erfassung der praktischen Arbeiten	30.10.2019	13.11.2019	nein	Jasmin Kerschbaumer, Juliane Hausner, Jana Leonhartsberger
• Verfassung der Theorie	vor Weihnachten 2019	31.12.2019	nein	Jasmin Kerschbaumer, Juliane Hausner, Jana Leonhartsberger
Zwischenbericht:				
	30.10.2019	14.11.2019	nein	Jasmin Kerschbaumer, Juliane Hausner, Jana Leonhartsberger
Erstabgabe der Diplomarbeit				
	vor Weihnachten 2019	31.12.2019	nein	Jasmin Kerschbaumer, Juliane Hausner, Jana Leonhartsberger

*Termine chronologisch nach Planterminen reihen!

4. Projektfunktionendiagramm (Verantwortlichkeitsmatrix)

PROJEKT-FUNKTIONEN-DIAGRAMM						
Rollen und Umwelten	Projektauftraggeber: Landesschulrat / HLUW	Diplomarbeitbetreuerin: Dr. Dipl. Ing. Angelika Pfeifer	Diplomarbeitbetreuer: Dipl. Ing. Johannes Bichl	Projektteammitglied: Jana Leonhartsberger	Projektteammitglied: Juliane Hausner	Projektteammitglied: Jasmin Kerschbaumer
Meilenstein-Bezeichnung						
Genehmigung des Themas:						
• Themenfindung		I	I	D	'D	D
• Erste Abgabe der Themenausarbeitung				D	D	D
• Abgabe der überarbeiteten Themenausarbeitung				D	D	D
Literaturrecherche:						
• Zum Thema Haltung und Zucht von Mehlwürmern						D
• Zum Thema Kjeldahl-Analyse und Proteingehalten von Lebensmitteln				D		
• Zum Thema Nährstoffanalyse und Nährstoffe in Düngemitteln					D	
Praktische Arbeiten:						
• Haltung und Zucht von Mehlwürmern unter verschiedenen Bedingungen				M	M	D
• Analyse des Proteingehalts von Mehlwürmern und anderen Lebensmitteln				D	M	M
• Analyse des Düngepotentials von Mehlwurmkot				M	D	M
Theoretische Arbeiten						
• Schriftliche Erfassung der praktischen Arbeiten				D	D	D
• Verfassung der Theorie				D	D	D
Zwischenbericht:				D	D	D
Erstabgabe der Diplomarbeit:				D	D	D

Funktionen (in Tabelle „D“ oder „M“ oder „I“ eintragen)

D Durchführung, Verantwortliche/r
M Mitarbeit
I Information

5. Aufzeichnungen über den Arbeitseinsatz

Juliane Hausner:

Eingesetzte Arbeitszeit in Stunden

Seite 1 von 2 Seiten

Datum	Art der Tätigkeit	Dauer
03.12.2018	QSUS, Besprechung des Projektmanagement-Plans	3,33 h
6.12. 2019	Diplomarbeitsbesprechung	0,5 h
15.12. 2019	Diplomarbeitsbesprechung – Themenfindung und Formulierung der Forschungsfragen	0,5 h
25.02. 2019	Diplomarbeitsbesprechung - Überarbeitung Diplomarbeitsformular	0,5 h
14.05. 2019	Besprechung Projektmanagement-Plan	0,5 h
24.05. 2019	Laboreinführung Kjeldhalanalyse	4 h
10.07. 2019	Literaturrecherche, Einlesen in die Thematik	2 h
11.07. 2019	Literaturrecherche, Einlesen in die Thematik	0,5 h
29.07. 2019	Siebung der Mehlwürmer, Gewinnung des Mehlwurmkots	3,5 h
31.07. 2019	Anlegung neuer Mehlwurmterrarien	0,33 h
09.08. 2019	Fütterung der Mehlwürmer und Säuberung der Terrarien	0,25 h
20.08. 2019	Kjeldhalanalyse – Aufschluss von Proteingehaltigen Lebensmitteln und Mehlwürmer	5 h
25.08. 2019	Fütterung der Mehlwürmer und Säuberung der Terrarien	0,25 h
20.09. 2019	Diplomarbeitsbesprechung	0,25 h
20.09. 2019	Siebung der Mehlwürmer - Mehlwurmkotgewinnung	1,5 h
25.09. 2019	Aufschluss des Mehlwurmkots und anderen Dünger	1 h
30.10.2019	Suche nach passenden Analysemethoden zur Extraktion	2
02.11.2019	Abschließende Auszählung der Mehlwürmer	3,5
04.11.2019	Verfassung der Durchführung	2
05.11.2019	Aufschluss Mehlwurmkot und andere Düngemittel	4,5
09.11.2019	Extraktionen der Düngemittel und ICP	9
10.11.2019	Bearbeitung der Durchführung	3
13.11.2019	DA-Besprechung	1
14.11.2019	ICP	2,5
19.11.2019	Photometrische Messungen zur Überprüfung	2
29.11.2019	Berechnungen Phosphorgehalt	2
12.12.2019	Diplomarbeitsbesprechung	0,75

23.12.2019	Darstellung der Ergebnisse	2
27.12.2019	Verfassung und Recherche Theorie	3
28.12.2019	Verfassung Theorie	5
29.12.2019	Interpretation der Ergebnisse, Formatierungen	4
30.12.2019	Formatierung, Erstellung der Zusammenfassung, Zusammenfügen der DA für Erstabgabe	4
09.01.2020	Ergebnisse	3
18.01.2020	Theorie - Recherche	2
06.02.2020	Erweiterung Interpretation	2
11.02.2020	DA-Besprechung	1
13.02.2020	Erweiterung Theorie	1
16.02.2020	Interpretation	2
19.02.2020	Überarbeitung Theorie, sonst. Formatierungen	2
22.02.2020	Überarbeitung Theorie und Interpretation, Erstellen einer Grafik	3
23.02.2020	Überarbeitung gesamte Diplomarbeit	4
24.02.2020	Zusammenfassung	3
25.02.2020	Korrekturlesen, Zusammenfassung	3
26.02.2020	Korrekturlesen, Ausbesserungsarbeiten	3
	Gesamte Arbeitszeit	103,66

Jasmin Kerschbaumer:
Eingesetzte Arbeitszeit in Stunden
Seite 1 von 2 Seiten

Datum	Art der Tätigkeit	Dauer
03.12.2018	QSUS, Besprechung des Projektmanagement-Plans	3,33 h
06.12.2018	Diplomarbeitsbesprechung	0,5 h
14.05. 2019	Diplomarbeitsbesprechung	0,5 h
14.05.2019	Besprechung Projektmanagement-Plan	0,66 h
24.05. 2019	Einführung in das Chemielabor, Proteinanalyse von Ameisen mittels Kjeldhal-Analyse	4 h
16.06.2019	Literaturrecherche, einlesen in die Thematik	2 h
01.07.2019	Anschaffung der für die praktische Arbeit notwendigen Arbeitsmittel	1,5 h
03.07.2019	Vorbereitung der Terrarien, Kauf der Mehlwürmer	3,5 h
04.07.2019	Aufbau der Terrarien, Zählen und wiegen der Mehlwürmer	5 h
05.-10.07. 2019	Kalibrierung der Heizung	0,5 h
10.07.2019	Versuchsstart, Einsetzen der Würmer in die Terrarien, Fütterung	2 h
13.07.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,5 h
28.07.2019	Entfernen der Futterreste, Temperaturmessung	0,25 h
29.07.2019	Wechseln der Einstreu, Zwischenzählung der Mehlwürmer	3,5 h
30.07.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung, Protokollieren der Ergebnisse der Zählung, Glühbirne kaufen	1 h
31.07.2019	Neustart des Versuchs in Terrarium 8	1,5 h
02.08.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,5 h
05.08.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
11.08.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,5 h
15.08.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
20.08.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung, Digitalisierung der gesammelten Daten	2,75 h
24.08.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
28.08.2019	Wechseln der Einstreu, Zwischenzählung der Mehlwürmer	2,5 h
29.08.2019	Wechseln der Einstreu, Zwischenzählung der Mehlwürmer	2,5 h
01.09.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
05.09.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
08.09.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
12.09.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
15.09.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h

19.09.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
23.09.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
26.09.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung, Datendigitalisierung	2 h
28.09.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung, Probezweischenzählung eines Terrariums	1 h
02.10.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
05.10.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
09.10.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
13.10.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
16.10.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
19.10.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
22.10.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
25.10.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
28.10.2019	Entfernen der Futterreste und Fütterung, Temperaturmessung	0,25 h
31.10.2019	Endgültige Zählung der Mehlwürmer, (Sieben, Zählen, Abwiegen, Einfrieren der Würmer)	4,5 h
02.11.2019	Endgültige Zählung der Mehlwürmer, (Sieben, Zählen, Abwiegen, Einfrieren der Würmer, Reinigung der Gefäße)	3,5 h
06.11.2019	Digitalisierung der gesammelten Daten	1,5 h
09.11.2019	Tag der offenen Tür (Laborarbeiten)	6 h
12.11.2019	Verfassen der Diplomarbeit (Erstellen der Paint-Grafiken, Durchführung)	5 h
22.11.2019	Verfassen der Diplomarbeit (Durchführung, Diagramme)	3 h
26.11.2019	Diplomarbeitsbesprechung	1,5 h
29.11.2019	Verfassen der Diplomarbeit (Überarbeitungen)	1 h
27.12.2019	Verfassen der Diplomarbeit (Ergebnisse)	3 h
28.12.2019	Verfassen der Diplomarbeit (Theoretische Grundlagen)	4 h
29.12.2019	Verfassen der Diplomarbeit (Theoretische Grundlagen, Interpretation)	6 h
30.12.2019	Verfassen der Diplomarbeit (Zusammenfügen, Zusammenfassung, Einleitung)	5 h
11.01.2020	Tag der offenen Tür (Laborarbeiten)	6 h
21.01.2020	Diplomarbeitsbesprechung	1 h
25.01.2020	Verfassen der Diplomarbeit (Überarbeitungen)	2 h
22.02.2020	Verfassen der Diplomarbeit (Abstract, Verzeichnisse, Lebenslauf)	6 h
23.02.2020	Verfassen der Diplomarbeit (Interpretation, Überarbeitungen)	2 h
26.02.2020	Verfassen der Diplomarbeit (Überarbeitungen)	4 h
	Gesamte Arbeitszeit	111,74 h

Jana Leonhartsberger:
Eingesetzte Arbeitszeit in Stunden
Seite 1 von 2 Seiten

Datum	Art der Tätigkeit	Dauer
03.12.2018	QSUS, Besprechung des Projektmanagement-Plans	3,33
6.12. 2018	Diplomarbeitsbesprechung	0,5
15.12. 2018	Diplomarbeitsbesprechung – Themenfindung und Formulierung der Forschungsfragen	0,5
25.02.2019	Diplomarbeitsbesprechung - Überarbeitung Diplomarbeitsformular	0,5
14.05. 2019	Besprechung Projektmanagement-Plan	0,5
14.05. 2019	Diplomarbeitsbesprechung	0,5
24.05. 2019	Einführung in das Chemielabor, Proteinanalyse von Ameisen mittels Kjeldhal-Analyse	4
10.07. 2019	Literaturrecherche zum Thema Kjeldahl-Analyse und Proteingehalt von Lebensmittel	2,5
15.07. 2019	Fütterung der Mehlwürmer und Aufzeichnung der Parameter (Temperatur)	0,25
17.07. 2019	Fütterung der Mehlwürmer und Aufzeichnung der Parameter (Temperatur)	0,50
19.07. 2019	Fütterung der Mehlwürmer und Aufzeichnung der Parameter (Temperatur)	0,25
20.08. 2019	Proteinanalyse mittels Kjeldahl-Methode. Analyse von vier Proben (Dinkelmehl, Sojamehl, Mandelkerne und Wurst)	7
22.08.2019	Erfassung der Ergebnisse der Proteinanalyse – Berechnung	3
20.09.2019	Diplomarbeitsbesprechung	0,25
29.08.2019	Zwischenzählung der Mehlwürmer	2,5
31.10.2019	Endgültige Zählung der Mehlwürmer (Sieben, Zählen, Abwiegen, Einfrieren der Würmer)	4,5
9.11. 2019	Proteinanalyse von fünf Mehlwurmproben mittels Kjeldahl-Analyse	9
11.11. 2019	Proteinanalyse von drei Mehlwurmproben mittels Kjeldahl-Analyse	7
12.11.2019	Erfassung der praktischen Arbeit –Durchführung	3
13.11.2019	Diplomarbeitsbesprechung	1
23.12. 2019	Darstellung der Ergebnisse – Berechnung des Proteingehaltes	3,5
25.12.2019	Überarbeitung der Durchführung	2
26.12.2019	Diplomarbeitsbesprechung	1,5

26.12.2019	Verfassung der Theorie	5
27.12.2019	Interpretationsansätze verfassen	2
29.12.2019	Überarbeitung der Theorie – Formatierung	3,5
30.12.2019	Formatierung, Erstellung der Zusammenfassung, Zusammenfügen der Diplomarbeit für Erstabgabe	4
21.01.2020	Diplomarbeitsbesprechung	1
06.02.2020	Erweiterung der Interpretation und Ergebnisse	4
10.02.2020	Überarbeitung der Theorie	2,5
11.02.2020	DA-Besprechung	1
15.02.2020	Überarbeitung der Interpretation	2
18.02.2020	Theorie - Recherche und Erfassung	4
21.02.2020	Erstellung von Diagrammen – Ergebnisse überarbeiten	2,5
22.02.2020	Inhaltliche Überarbeitung der gesamten Diplomarbeit	7
23.02.2020	Formatierung und Gliederung der Diplomarbeit	3
24.02.2020	Überarbeitung der Zusammenfassung	2
24.02.2020	Korrekturlesung der Interpretation und Ergebnisse - Ausbesserungsarbeiten	3
25.02.2020	Überarbeitung der Zusammenfassung in Englisch	2
25.02.2020	Erfassung des Lebenslaufs Abbildungsverzeichnis, Tabellenverzeichnis und Quellenverzeichnis erneuern	4
26.02.2020	Ausbesserungsarbeiten, Überarbeitung des Projekthandbuches, letzte Korrekturlesung	6
	Gesamte Arbeitszeit	116,08