



# Heuschrecken als geeignetes Nahrungsmittel für den Menschen

Betrachtung hinsichtlich Verdaulichkeit und Nährstoffgehalt

Autorinnen: Maria Bondarenko  
Lamitta Ibrahim  
Julia Lippert

Schule: Carl-Zeiss-Gymnasium Jena

Betreuerin: Frau Dr. Walther

# 1 Projektüberblick

Dieses Projekt beschäftigt sich mit zwei Aspekten von Heuschrecken als Nahrungsmittel für den Menschen. Einerseits wurde untersucht, ob sich der Nährstoffgehalt von Heuschrecken durch ihr Futter optimieren lässt. Dafür wurden zwei Gruppen von Heuschrecken über einen Zeitraum von drei Monaten mit verschiedenen Futtermitteln ernährt, welchen einen unterschiedlich hohen Gehalt an Spurenelementen aufwiesen. Anhand der massenspektrometrischen Analyse wurde festgestellt, dass sich der Nährstoffgehalt der Heuschreckengruppen unterschied, wodurch von einer Möglichkeit der Optimierung des Nährstoffgehalts unter bestimmten Bedingungen ausgegangen werden kann. Weiterhin wurde die Verdaulichkeit von Heuschrecken für den Menschen untersucht. Dabei wurde der Verdauungsprozess von Kohlenhydraten und Eiweißen mithilfe von Verdauungsenzymen *in vitro* nachgestellt und die Verdaulichkeit der Heuschrecke mit der von Brot bzw. Ei verglichen. Es wurde festgestellt, dass die Eiweiße sowie Kohlenhydrate der Heuschrecke gut verdaulich sind. Beide Teile der Arbeit bieten Anhaltspunkte für tiefergehende Forschung, und insbesondere das Experiment zur Optimierung des Nährstoffgehalts könnte noch verbessert und vertieft werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Projektüberblick</b>	<b>i</b>
<b>2</b>	<b>Fachliche Kurzfassung</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>2</b>
4.1	Natürliche Lebensweise . . . . .	2
4.2	Mikronährstoffgehalt der Nahrung . . . . .	2
4.3	Nährstoffgehalt von Heuschrecken . . . . .	3
<b>5</b>	<b>Praktischer Teil</b>	<b>4</b>
5.1	Zielstellung . . . . .	4
5.2	Heuschreckenzucht . . . . .	4
5.2.1	Haltungsbedingungen . . . . .	4
5.2.2	Beobachtungen . . . . .	5
5.3	Mikronährstoffe . . . . .	6
5.3.1	Analysierte Spurenelemente . . . . .	6
5.3.2	Vorbereitung der Proben für die Analyse und Durchführung . . . . .	6
5.3.3	Ergebnisse der Bestimmung der Spurenelemente . . . . .	7
5.3.4	Auswertung und Diskussion der Ergebnisse . . . . .	7
5.4	Verdaulichkeit . . . . .	8
5.4.1	Experiment zur Verdauung von Stärke . . . . .	8
5.4.2	Experiment zur Verdauung von Eiweiß . . . . .	10
<b>6</b>	<b>Ethische Betrachtung</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>14</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>15</b>
	<b>Internetquellen</b>	<b>16</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>Unterstützungsleistungen</b>	<b>19</b>

## 2 Fachliche Kurzfassung

Es wurde eine dreimonatige Heuschreckenzucht durchgeführt, bei der zwei Gruppen von Heuschrecken unterschiedlich gefüttert wurden. Eine Gruppe wurde mit Weizenras gefüttert, welches reich an den Spurenelementen Selen, Kobalt und Eisen ist, die andere wurde mit nährstoffärmeren Brombeerblättern gefüttert. Durch die anschließende massenspektrometrische Analyse der Heuschrecken wurden Unterschiede im Gehalt der Spurenelemente festgestellt. Nur bei einem untersuchten Spurenelement, dem Eisen, war der Gehalt wie erwartet bei der einen Gruppe im Vergleich zur anderen Gruppe höher. Bei den beiden anderen Spurenelementen Selen und Kobalt war der Gehalt wider Erwarten niedriger. Trotz dessen kann ausgesagt werden, dass das Futter eine Auswirkung auf den Nährstoffgehalt der Heuschrecken hat. Dies zeigt die Möglichkeit auf, Heuschrecken als Nahrungsmittel für den Menschen optimieren zu können.

Weiter konnte bei den Experimenten zur Verdaulichkeit der Kohlenhydrate und Proteine der Heuschrecke *in vitro* nachgewiesen werden, dass diese durch die im Menschen wirkenden Verdauungsenzyme zersetzbar sind. Jedoch befinden sich in Heuschrecken generell wenig Kohlenhydrate, und diese liegen zum Teil schon als gesplante Zucker vor.

## 3 Einleitung

Seit 2021 sind in der Europäischen Union Mehlwürmer und Heuschrecken als erste Insektennahrungsmittel zugelassen, 2023 folgten Grillen.<sup>1</sup> Dies führte zur Bildung erster Insektenfarmen in Europa und einem stetig wachsenden Angebot an Produkten, die Insekten enthalten, wie beispielsweise Proteinriegel mit Insekteneiweiß, Schokolade mit Mehlwürmern und Snacks wie gesalzene Heuschrecken. Aufgrund ihres hohen Proteingehalts und wichtiger Nährstoffe werden sie als „Superfood“ beworben. Dennoch herrscht in der deutschen Bevölkerung eine weitgehende Ablehnung von Insekten als Nahrungsmittel. Dabei essen in anderen Teilen der Welt rund zwei Milliarden Menschen regelmäßig Insekten, vor allem in Afrika und Asien.<sup>2</sup> Dort dienen sie als sichere Nahrungsquelle, denn sie sind weit verbreitet und können einfach gefangen und vielseitig verarbeitet werden. Von Vorteil ist dabei ebenfalls die schnelle Vermehrung von Insekten und die daraus folgende Nahrungssicherheit.<sup>3</sup>

Die genannten Eigenschaften zeigen, dass ein Umdenken in der westlichen Welt hinsichtlich des Insektenverzehr für die Zukunft notwendig ist. 2050 wird die Weltbevölkerung auf 9 Milliarden angestiegen sein.<sup>4</sup> Insekten müssen bei einer wachsenden Bevölkerungszahl noch intensiver und effektiver genutzt und gezüchtet werden.<sup>5</sup> Perspektivisch werden Alternativen zu bisherigen Ernährungsgewohnheiten auch zur Eindämmung des Klimawandels und der Ressourcenknappheit an Bedeutung gewinnen. Hinsichtlich Emissionen, Platz, Futtermittelverwertung und Wasserverbrauch ist die Insektenzucht wesentlich effizienter, vorteilhafter, und damit klimafreundlicher als Viehzucht.<sup>6</sup>

Aus diesen Gründen beschäftigt sich diese Arbeit mit Heuschrecken als geeignetes Nahrungsmittel für den Menschen. Die Heuschreckenart, die hierbei betrachtet wird, ist die Wüstenheuschrecke (*Schistocerca gregaria*). Um zur Auseinandersetzung über Insekten als Nahrungsmittel beizutragen, wurde einerseits der Nährstoffgehalt der Wüstenheuschrecke betrachtet. Dabei ist die Frage, ob der Nährstoffgehalt in Heuschrecken durch das Futter beeinflusst und optimiert werden kann, von zentraler Bedeutung. Der zweite Aspekt, der geprüft wurde, ist die Verdaulichkeit der Nährstoffe für den Menschen. Es sollte geklärt werden, ob der Mensch die Nährstoffe, die in Heuschrecken enthalten sind, trotz unverdaulicher Bestandteile aufnehmen und verwerten kann.

---

<sup>1</sup> Vgl. Hoffmann 2023.

<sup>2</sup> Vgl. Knackfuß 2016.

<sup>3</sup> Vgl. ebd.

<sup>4</sup> Vgl. Yen 2013.

<sup>5</sup> Vgl. Knackfuß 2016.

<sup>6</sup> Vgl. Chemnitz 2018, S. 44.

# 4 Theoretische Grundlagen

## 4.1 Natürliche Lebensweise

Die Wüstenheuschrecke (lat. *Schistocerca gregaria*) ist in Teilen Afrikas, vor allem in der Sahelzone, und in Westasien verbreitet. Sie lebt in Wüsten, Halbwüsten und Steppen der tropischen und subtropischen Klimazone, wo arides beziehungsweise semiarides Klima herrscht.<sup>7</sup>

Heuschrecken sind, wie alle wirbellosen Tiere, poikilotherm (wechselwarm). Das bedeutet, dass die Körpertemperatur von der Umgebungstemperatur bestimmt wird.<sup>8</sup> Die Wüstenheuschrecke lebt daher in den Gebieten der Erde, wo die Umgebungstemperatur ihrem Optimum entspricht. Diese Temperatur liegt in einem Bereich von ca. 25 °C bis 30 °C.<sup>9</sup>

Die Wüstenheuschrecke ist für gewöhnlich ein Pflanzenfresser. Dabei fressen sie nicht nur eine bestimmte Pflanzenart, sondern ernähren sich von den verschiedensten Pflanzen aus unterschiedlichen Pflanzenfamilien, weshalb sie als polyphag gelten.<sup>10</sup>

In ihrer Heimat fressen sie verschiedene Kultur- und Nichtkulturpflanzen, wie beispielsweise Hirse, Reis, Mais, Zuckerrohr, Gerste, Baumwolle, Laub von Obstbäumen, Dattelpalmen, Gemüse, Gräser und Pinien.<sup>11</sup> Bestimmte Pflanzen sollten ihnen nicht als Futter gegeben werden, weil sie gesundheitsschädlich für die Heuschrecken sind. Zu diesen Pflanzen zählen sehr wasserhaltige Pflanzen, wie Tomaten, Gurken, Salat, oder Futter mit Pestiziden.<sup>12</sup> Nahrung, die giftige Repellentien enthält, ist ebenfalls ungeeignet. Dazu gehören vor allem Pflanzen der Familie der Hundsgiftgewächse.<sup>13</sup> Allgemein wird für die Zucht empfohlen, die Heuschrecken mit Brombeerblättern, Kräutern, Möhrenkraut, Weizenkeimen oder Haferflocken zu füttern, insbesondere weil diese Nahrung sowohl einfach zu besorgen ist, als auch von den Heuschrecken gern gefressen wird.<sup>14</sup>

## 4.2 Mikronährstoffgehalt der Nahrung

Untersuchungen zufolge enthalten Brombeerblätter von wilden Sträuchern verschiedenen Spurenelemente und Mikronährstoffe, wie Aluminium, Bor, Calcium, Kupfer, Kalium, Magnesium, Mangan, Natrium, Phosphor und Zink. Zudem enthalten sie Eisen mit einem Gehalt von 1,6 mg/ 100 g.<sup>15</sup> Dieser Wert ist pro Trockenmasse angegeben. Das heißt, dass frische Brombeerblätter, die den Heuschrecken für gewöhnlich als Futter gegeben werden, im Verhältnis zu ihrer Masse weniger Mineralstoffe enthalten.

Haferflocken enthalten Vitamine, wie beispielsweise Vitamin B1, aber auch verschiedenste Mineralstoffe.<sup>16</sup> Sie sind mit 5,5 mg Eisen pro 100g eine eisenreiche Nahrungsquelle.<sup>17</sup> Zudem sind Stoffe wie Selen mit einem Gehalt von 9,7 µg/ 100 g<sup>18</sup> und Kobalt mit einem Gehalt von 8 µg/ 100 g<sup>19</sup> enthalten, sowie Mangan, Phosphor, Kupfer, Magnesium und Zink.<sup>20</sup> Jedoch sollten Heuschrecken nicht ausschließlich von getrockneten Haferflocken ernährt werden, da sie ihren Wasserbedarf durch Nahrung decken.<sup>21</sup> Demzufolge würden sie kein Wasser aufnehmen, wenn ihre Nahrung nur aus trockenen Haferflocken besteht.

Des Weiteren bietet sich Weizengras als Heuschreckenfutter an. Bis zu 133,2 mg Eisen pro 100 g können

---

<sup>7</sup> Vgl. Lauterschlag 2021.

<sup>8</sup> Vgl. Ahlswede 2019, S. 314.

<sup>9</sup> Vgl. Deutscher Wetterdienst 1961-1990.

<sup>10</sup> Vgl. ebd.

<sup>11</sup> Vgl. Lauterschlag 2021.

<sup>12</sup> Vgl. Kottmann 2023.

<sup>13</sup> Vgl. Lauterschlag 2021.

<sup>14</sup> Vgl. Kottmann 2023.

<sup>15</sup> Vgl. Koczka 2018, S. 565.

<sup>16</sup> Vgl. Bjarnadottir 2019.

<sup>17</sup> Vgl. Buckstege 2019.

<sup>18</sup> Vgl. Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. 2021, S. 4.

<sup>19</sup> Vgl. Health and Science o.J. S. 4.

<sup>20</sup> Vgl. Zentrum der Gesundheit 2023, S. 1.

<sup>21</sup> Vgl. Kottmann 2023.

in frischem Weizen gras vorgefunden werden.<sup>22</sup> Zink, Magnesium, Mangan<sup>23</sup> und Selen, das mit einer Menge von 1,48 µg pro 100 g Frischmasse vorkommt, sind weitere wichtige Mineralstoffe, die in Weizen gras enthalten sind.<sup>24</sup> Der Kobaltgehalt von getrocknetem Weizen gras kann 4,83 – 9,57 µg pro 100 g betragen.<sup>25</sup>

### 4.3 Nährstoffgehalt von Heuschrecken

Der Proteingehalt von Heuschrecken lässt sich nicht allgemein angeben, da je nach Art die Menge an Proteinen, die in Heuschrecken vorkommt, variiert.

In Heuschrecken sind 14 – 18 g Protein pro 100 g enthalten, wenn die Angabe pro Frischmasse erfolgt.<sup>26</sup> Grundsätzlich kann der Proteinanteil von Heuschreckenpulver bis zu über 70,0 % der Trockenmasse betragen.<sup>27</sup>

In der Wüstenheuschrecke kommen alle essentiellen Aminosäuren vor, abgesehen von Tryptophan. Fast alle der vorliegenden Aminosäuren entsprechen einer Menge, welche den menschlichen Bedarf dieser Aminosäure deckt.<sup>28</sup> Im Vergleich zu anderen Proteinquellen, wie Fleisch, schneiden Heuschrecken hinsichtlich ihrer Aminosäurezusammensetzung sehr gut ab, denn sie enthalten das vier- bis sechsfache an essentiellen Aminosäuren verglichen mit Schweine-, Rind- und Lammfleisch.<sup>29</sup> In Wüstenheuschrecken sind verschiedene Mineralstoffe wie Calcium, Eisen, Zink, Natrium, Kalium, Magnesium, Mangan und Kupfer enthalten.<sup>30</sup> Auch Vitamine wie Vitamin A, B12, D und E sind in den Heuschrecken vorzufinden, wohingegen Fleisch wie Rind oder Schwein gar kein Vitamin A, D und E enthält.<sup>31</sup> Jedoch sind andere Vitamine wie Vitamin B1, B2, B3 und B6, die sonst in herkömmlichem Fleisch vorkommen, in der Wüstenheuschrecke nicht nachgewiesen.<sup>32</sup> Die Wüstenheuschrecke stellt eine gute Quelle für die gesundheitsfördernden Omega-n-Fettsäuren dar, denn sie enthält viele einfach und mehrfach ungesättigte Fettsäuren, darunter  $\alpha$ -Linolensäure und allgemein Omega-3- und Omega-6-Fettsäuren.<sup>33</sup>

---

<sup>22</sup> Vgl. Levecke 2016.

<sup>23</sup> Vgl. Fike o.J.

<sup>24</sup> Vgl. Tamás und Csapó 2015, S. 36.

<sup>25</sup> Vgl. Bains 2018, S. 36.

<sup>26</sup> Vgl. Mariod 2020, S. 260.

<sup>27</sup> Vgl. Brogan 2021.

<sup>28</sup> Vgl. Egonyu 2021, S. 4.

<sup>29</sup> Vgl. ebd., S. 6.

<sup>30</sup> Vgl. ebd., S. 3.

<sup>31</sup> Vgl. ebd., S. 3.

<sup>32</sup> Vgl. ebd., S. 3.

<sup>33</sup> Vgl. ebd., S. 3.

# 5 Praktischer Teil

## 5.1 Zielstellung

Ein Ziel des Projekts ist, durch die Zucht von Heuschrecken die Frage zu klären, ob der Nährstoffgehalt in Heuschrecken durch die Pflanzen, mit denen sie gefüttert werden, beeinflusst werden kann. Hierbei werden konkret die Spurenelemente Eisen, Selen und Kobalt betrachtet. Für einen Teil der untersuchten Heuschrecken wird Futter mit einem hohen Gehalt dieser Spurenelemente ausgewählt. Es wird erwartet, dass die Heuschrecken, die mit diesem Futter gehalten werden, über einen längeren Zeitraum einen höheren Eisen-, Selen- und Kobaltgehalt erreichen als die Gruppe, die mit durchschnittlichem Futter ohne außergewöhnlich hohen Gehalt der ausgewählten Spurenelemente gefüttert wird. Falls diese Erwartung zutrifft, erschließt sich daraus, dass die Aufnahme von Nährstoffen über das Futter gesteigert werden kann. Ein weiterer Aspekt, der im folgenden Teil untersucht wird, ist die Verdaulichkeit der Heuschrecken für den Menschen. Durch das Nachstellen der Verdauungsprozesse der Makronährstoffe Eiweiße und Kohlenhydrate soll geprüft werden, ob diese Stoffe mithilfe der im Menschen wirkenden Verdauungsenzyme zersetzt werden. Bestätigt sich diese Vermutung, kann angenommen werden, dass die in Heuschrecken enthaltenen Nährstoffe vom Körper aufgenommen und verwertet werden können.

## 5.2 Heuschreckenzucht

### 5.2.1 Haltungsbedingungen

Ausgehend von der natürlichen Lebensweise der Wüstenheuschrecke wurde bei der Zucht auf die Herstellung möglichst gleicher Bedingungen geachtet.

Die Heuschrecken wurden willkürlich in zwei Gruppen aufgeteilt und in zwei Terrarien aus Glas gehalten. Die Terrarien waren 30 x 30 x 30 cm groß. Die Heuschrecken wurden im Internet bestellt und waren bei der Lieferung nach Angaben des Unternehmens ca. fünf Tage alt. Die Gruppe von Heuschrecken, die mit Haferflocken gefüttert wurde, bestand zu Beginn aus 18 Heuschrecken. Im anderen Terrarium wurden die restlichen 19 Heuschrecken mit Brombeerblättern gefüttert.

Die Terrarien standen im Biologieraum des Carl-Zeiss-Gymnasiums. Beide Terrarien wurden rund um die Uhr durch eine Wärmelampe bestrahlt, die für eine Temperatur von 30 °C im Terrarium sorgte. Diese Temperatur entspricht auch dem warmen, trockenen Klima des natürlichen Lebensraums der Wüstenheuschrecke. Auf die Tageslichtlampe wurde verzichtet, da die Terrarien am Fenster standen und das natürliche Tageslicht genutzt werden konnte, wie in Abbildung 5.1 zu erkennen ist.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 5.1: Terrarien Heuschreckenzucht

Die Heuschrecken wurden, außer an den Wochenenden, einmal pro Tag gefüttert, damit die Nahrung frisch blieb. Die eine Gruppe wurde mit herkömmlichem Futter (Brombeerblättern) gefüttert. Diese Pflanze wurde gewählt, da sie in Deutschland auch im Winter verfügbar ist, und gerne von den Heuschrecken gefressen wurde. Die andere Gruppe wurde mit Futter, welches reich an den Spurenelementen Eisen Selen und Kobalt ist, gefüttert (Haferflocken und Weizengras). Zu Beginn wurden diese Heuschrecken nur mit Haferflocken gefüttert, um sicherzugehen, dass sie tatsächlich die Haferflocken fraßen. In den ersten Wochen des Experiments änderte sich die Fütterungsweise aufgrund von bis dahin gemachten Beobachtungen. Haferflocken als alleinige Nahrungsquelle waren nicht für die Heuschrecken geeignet, denn sie benötigten zusätzlich frische Pflanzen (Weiteres dazu unter 5.2.2 Beobachtungen). Deshalb wurden die Heuschrecken, die mit Haferflocken gefüttert wurden, ab der fünften Woche mit Weizengras gefüttert, welches ebenfalls in den zu untersuchenden Spurenelementen einen hohen Gehalt aufweist. Das Weizengras wurde aus Weizensamen gezüchtet.

Einmal pro Woche wurden die Terrarien gesäubert.

Als die Heuschrecken ausgewachsen waren, wurden Schalen mit Substrat, welches leicht befeuchtet war, in die Terrarien gestellt. Die Heuschrecken waren im adulten Stadium geschlechtsreif und hätten sich fortpflanzen können. In das Substrat sollten die Eier gelegt werden. Da die Entwicklung der Eier von der Bodenfeuchte abhängig ist,<sup>34</sup> wurde darauf geachtet, dass das Substrat regelmäßig angefeuchtet wurde, jedoch nicht zu feucht war, da sich sonst Schimmel hätte bilden können.

Die Zucht fand im Zeitraum vom 07. November 2022 bis zum 03. Februar 2023, d.h. über drei Monate statt.

## 5.2.2 Beobachtungen

Während der Zucht entwickelten sich die Heuschrecken beider Gruppen vom Larvenstadium über das subadulte Stadium bis hin zum adulten Stadium. Die Heuschrecken, die mit Brombeerblättern gefüttert wurden, entwickelten sich schneller, denn sie wuchsen in den ersten Wochen mehr und waren demzufolge größer als die Heuschrecken, die mit Haferflocken gefüttert wurden. Nur eine Heuschrecke aus dem Terrarium mit Haferflocken entwickelte sich schneller, sie war genauso groß wie die Heuschrecken aus dem Terrarium mit Brombeerblättern. Manchmal konnten die Heuschrecken bei der Häutung beobachtet werden, oder Heuschreckenhaut wurde beim Füttern beziehungsweise Säubern der Terrarien gefunden. Vor allem in den ersten Wochen fraßen die Heuschrecken sehr viel, wobei sie, unabhängig davon wie viele Brombeerblätter im Terrarium waren, innerhalb eines Tages alles aufgefressen hatten. Zu Beginn der Zucht wurden alle Heuschrecken mit Brombeerblättern gefüttert, und eine Gruppe bekam zusätzlich Haferflocken. Allerdings wurde dabei nicht berücksichtigt, dass es nicht überprüfbar war, wie viele Haferflocken sie tatsächlich fraßen. Deswegen wurden dieser Gruppe nach der ersten Woche der Zucht keine Brombeerblätter, sondern nur noch Haferflocken, gefüttert.

Die Heuschrecken, die mit Haferflocken gefüttert wurden, konnten manchmal auf der damit befüllten Schale beobachtet werden. Allerdings wurde vermutet, dass Haferflocken als einzige Nahrungsquelle nicht ausreichend waren, denn die Heuschrecken waren, bis auf eine, alle kleiner als jene, die mit Brombeerblättern gefüttert wurden. Außerdem war in ihrem Terrarium weniger Kot. Zuletzt wurden in der dritten Woche zwei tote Heuschrecken im Haferflocken-Terrarium gefunden. Da Heuschrecken bei mangelndem Nahrungsangebot zu Kannibalismus neigen und ihre Artgenossen fressen,<sup>35</sup> wurde vermutet, dass die eine große Heuschrecke begonnen hatte, die anderen beiden Heuschrecken zu fressen. Die Haferflocken waren als alleinige Nahrungsquelle demzufolge nicht ausreichend, und die Heuschrecken benötigten zusätzlich Grünfutter. Um das Experiment trotzdem fortführen zu können, wurde die Ernährung auf Weizengras umgestellt, welches gern von den Heuschrecken gefressen wurde.

Die Heuschrecken versammelten sich oft unter der Wärmelampe. Es ist zu vermuten, dass dort der wärmste

---

<sup>34</sup> Vgl. Spektrum Verlag o. J.

<sup>35</sup> Vgl. Guttal 2012, S. 1 f.

Platz im Terrarium war und die Temperatur dort dem Optimum der Heuschrecken am nächsten kam. Nach etwa anderthalb Monaten waren die Heuschrecken ausgewachsen und das Geschlecht konnte bestimmt werden. Bei Wüstenheuschrecken sind Männchen und Weibchen vor allem durch ihre ungleiche Größe zu unterscheiden, wobei die Männchen deutlich kleiner sind als die Weibchen. Außerdem besitzen Weibchen am Hinterleib eine Legeröhre. Im Terrarium mit den Brombeerblättern waren zwei Männchen und zehn Weibchen, im Terrarium mit den Haferflocken waren sieben Männchen und drei Weibchen. Für die Fortpflanzung war diese Aufteilung aufgrund der Ungleichheit eher ungünstig, allerdings war es zu diesem Zeitpunkt des Experiments zu spät, die Heuschrecken umzusiedeln.

Die Heuschrecken konnten einige Male dabei beobachtet werden, wie sie auf dem Substrat saßen, allerdings wurden keine Eier gelegt. Die Zucht über mehrere Generationen war demnach nicht möglich, weshalb die gekauften Heuschrecken auf die Spurenelemente untersucht wurden. Dafür wurden die Heuschrecken nach 13 Wochen in Plastikbüchsen in einer herkömmlichen Gefriertruhe der Schule eingefroren.

## 5.3 Mikronährstoffe

### 5.3.1 Analytierte Spurenelemente

Die drei Spurenelemente Eisen, Selen und Kobalt wurden zur Analyse auf ihren Gehalt in den gezüchteten Heuschrecken ausgewählt, da sie laut Recherche in unterschiedlichen Mengen in den zwei ausgewählten Futtermitteln enthalten sind. Zudem erfüllen diese Mikronährstoffe wichtige Funktionen im menschlichen Körper. Aufgrund der Annahme, dass Weizengras im Vergleich zu Brombeerblättern diese Spurenelemente zu großen Mengen enthält, wurde vermutet, dass sie gut für das Experiment geeignet sind, um eine mögliche Veränderung im Nährstoffgehalt der Heuschrecken hervorzurufen.

### 5.3.2 Vorbereitung der Proben für die Analyse und Durchführung

Beim Unternehmen Analytik Jena wurden die gezüchteten Heuschrecken hinsichtlich ihrer Inhaltsmenge der Spurenelemente Selen, Eisen und Kobalt massenspektrometrisch untersucht. Für die Messungen mussten die Proben zunächst aufgeschlossen werden. Dies geschah durch ein nasschemisches Aufschlussverfahren, wobei das allgemeine Ziel die vollständige Zersetzung der festen Proben und die Lösung der in ihnen enthaltenen Elemente war. Die Probenvorbereitung erfolgte durch das Mikrowellendruckaufschlussystem „speedwave XPERT“ der Firma „Berghof“ in den Hochdruckgefäßen „DAK 100“. Da die Heuschrecken sich bei der Abgabe für die Untersuchungen im gefrorenen Zustand befanden, wurden sie zunächst aufgetaut und anschließend für 20 min bei 50 °C im Trockenschrank angetrocknet. Dieser Schritt diente dazu, das Kondenswasser von der Oberfläche zu beseitigen. Daraufhin wurden die Heuschrecken mithilfe eines Mörsers so weit wie möglich homogenisiert.

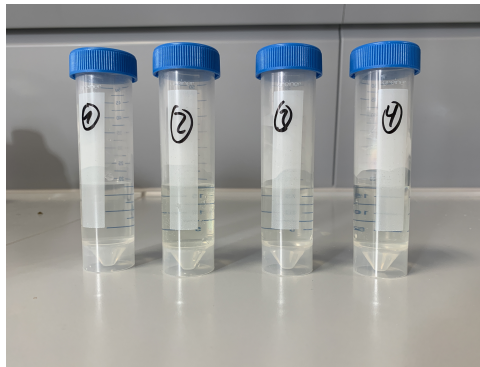
Von beiden Ansätzen wurden anschließend in je vier Aufschlussgefäße je 1,0 g der homogenisierten Probe genau eingewogen. Zusätzlich wurden je 7,0 ml Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) und 2,0 ml Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) hinzugegeben. Die Funktion der Säuren bestand in der Zersetzung der organischen Probenbestandteile.<sup>36</sup> Es lagen somit insgesamt acht zu untersuchende Proben vor. Diese Zersetzungprozesse erfolgen nur bei hohen Temperaturen.<sup>37</sup> Deshalb wurden die Aufschlussgefäße verschlossen und in die genannte Mikrowellenapparatur. In dieser Apparatur wurden die Proben mittels der Absorption der Mikrowellenstrahlung direkt erwärmt. Diese Methode sorgte für eine schnelle und gleichzeitige Erwärmung der acht Proben. Nach Erreichen der nötigen Temperatur liefen die Zersetzungsprozesse ab und die Feststoffe wurden auf diese Weise in flüssige Form gebracht. Die Heuschreckenproben wurden auf die beschriebene Art und Weise für 30 min auf 230 °C erwärmt. Nach dem Abkühlen wurden die Aufschlussgefäße geöffnet und die Lösungen in graduierte Autosamplergefäße umgefüllt. Diese wurden mit entionisiertem Wasser auf 20 ml aufgefüllt, um anschließend durch eine massenspektrometrische Methode auf die Analytelemente untersucht werden

---

<sup>36</sup> Vgl. Analytik Jena 2010, S. 11 f.

<sup>37</sup> Vgl. ebd., S. 11

zu können. Die klaren rückstandslosen Lösungen waren ein Zeichen dafür, dass der Aufschluss vollständig funktioniert hatte. In Abbildung 5.2 sind vier bereits verdünnte Aufschlüsse gezeigt.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 5.2: Vollständige Aufschlüsse der Proben

Die Aufschlüsse wiesen eine hohe Säurekonzentration auf und mussten deshalb nochmals verdünnt werden, bevor sie mithilfe eines Messgeräts analysiert werden konnten. Für die Untersuchung hinsichtlich der Elemente Selen und Kobalt wurden die Lösungen mit entionisiertem Wasser verdünnt. Die Lösungen für die Bestimmung des Eisengehalts wurden mit 2%-iger Salpetersäure versetzt. Die Analyse erfolgte mit Hilfe des Messgeräts PlasmaQuant MS von Analytik Jena. Das PlasmaQuant MS beruht auf Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS). Das Gerät ionisiert die Proben, so dass die Teilchen in mehreren Schritten selektiert werden. Am Ende erreichen nur die Atomkerne mit einem bestimmten Masse-zu-Ladungs-Verhältnis den Detektor, welcher ihre Menge ermittelt.

### 5.3.3 Ergebnisse der Bestimmung der Spurenelemente

Die Tabelle 5.1 zeigt die durchschnittlich gemessenen Selen-, Eisen- und Kobaltwerte der zwei Heuschreckengruppen. Dabei sind die Massenanteile der Spurenelemente in frischen Heuschrecken mit einfacher Standardabweichung aus jeweils vier Parallelaufschlüssen dargestellt. Weiter werden unter Berücksichtigung des Aufschlusses und der Verdünnung die methodische Nachweis- und Bestimmungsgrenze beachtet.

Tabelle 5.1: Durchschnittliche Ergebnisse der Messungen mit dem Plasmaquant MS

	Selen ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Eisen ( $\text{mg}/\text{kg}$ )	Kobalt ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Weizen grasgruppe	$169 \pm 3$	$17,1 \pm 0,6$	$8,1 \pm 1,3$
Brombeerblättergruppe	$216 \pm 12$	$11,0 \pm 0,5$	$11,8 \pm 0,8$
Methodische Nachweisgrenze	2,5	0,006	0,20
Methodische Bestimmungsgrenze	8,5	0,021	0,68

Im Vergleich der Messwerte ergibt sich bei den Selenwerten, dass der Gehalt der mit Weizen gras gefütterten Heuschreckengruppe in Bezug auf die mit Brombeerblättern gefütterte Gruppe um 21,8 % kleiner ist. Beim Spurenelement Eisen ist der Wert um 55,5 % gestiegen und bei Kobalt ist er um 31,4 % gesunken.

### 5.3.4 Auswertung und Diskussion der Ergebnisse

Bei der Analyse der Heuschreckenproben bei Analytik Jena konnten Veränderungen der Selen-, Eisen- und Kobaltwerte festgestellt werden.

Bei der Planung des Experiments wurde aufgrund von ausführlicher Recherche mit der Annahme vorgegangen, dass Weizen gras einen hohen Gehalt der genannten Spurenelemente hat und die Brombeerblätter

nicht. Deshalb wurde die Vermutung aufgestellt, dass bei der Heuschreckengruppe, die mit Weizenras gefüttert wurde, höhere Selen-, Eisen- und Kobaltwerte gemessen werden. Bei den Messungen zeigte sich, dass der Eisengehalt von der Heuschreckengruppe, die mit Weizenras gefüttert wurde, höher ist als der Wert von der mit Brombeerblättern gefütterten Gruppe. Beim Vergleich der Selen- und Kobaltwerte ist der Wert bei der mit Weizenras gefütterten Gruppe kleiner.

Das Ergebnis des Experiments zeigt, dass der Nährstoffgehalt des Futters Auswirkungen auf den Nährstoffgehalt der Heuschrecken hat. Das lässt sich daraus erschließen, dass bei allen drei gemessenen Spurenelementen bei dem Vergleich der zwei Heuschreckengruppen signifikante Veränderungen festzustellen sind. Bei der Betrachtung der Eisenwerte stimmen die Ergebnisse mit der Erwartung überein. So kann hier angenommen werden, dass die Heuschrecken das Eisen aus der Nahrung aufnehmen und speichern können.

In den Werten von Selen und Kobalt decken sich die Ergebnisse nicht mit der Erwartung, da eine Verringerung des Gehalts der Spurenelemente erkennbar ist. Mit dem Experiment kann so nicht gezeigt werden, dass die Heuschrecken das Selen und Kobalt aus dem Weizenras aufgenommen und gespeichert haben. Aufgrund der z.T. unerwarteten Ergebnissen muss der Versuchsaufbau auf Fehlerquellen untersucht werden. Zu Beginn ist es dabei wichtig die recherchierten Nährstoffangaben der Futterquellen hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Fehlerlosigkeit zu hinterfragen. Weiter kann das Fressverhalten der Heuschrecken eine Rolle gespielt haben, da es nicht möglich war, zu überprüfen wie viel einzelne Heuschrecken fraßen. So ist es möglich, dass eine Gruppe insgesamt weniger gefressen hat. Zudem ist möglich, dass Heuschrecken bestimmte Nährstoffe aus dem Futter besser aufnehmen können als andere. Im Falle des Experiments würde das heißen, dass Eisen besser von den Heuschrecken aufgenommen werden kann als Selen und Kobalt.

Um die Aussagekraft des Experiments zu maximieren, ist es nötig die Vorgehensweise zu optimieren. Eine denkbare Möglichkeit ist auch Proben der beiden Futterquellen hinsichtlich des Gehalts der betrachteten Spurenelemente zu untersuchen. Damit könnte mit erhöhter Genauigkeit bestimmt werden, wo welche Spurenelemente in höherem Maße enthalten sind.

Abschließend kann festgehalten werden, dass das Experiment grundlegend gelungen ist, da deutliche Unterschiede im Nährstoffgehalt zwischen den beiden Heuschreckengruppen festgestellt wurden. Die Ergebnisse konnten dabei die Erwartungen zum Teil bestätigen.

## 5.4 Verdaulichkeit

### 5.4.1 Experiment zur Verdauung von Stärke

Das Experiment zur Untersuchung der Verdaulichkeit der gebundenen Stärke in Heuschrecken für den Menschen wurde durchgeführt, um den Verdauungsprozess der Kohlenhydrate im menschlichen Körper außerhalb des Körpers nachzustellen, und so den Verdauungsprozess von getrockneten Heuschrecken nachzuahmen. Damit eine Aussage getroffen werden kann, wie gut die Kohlenhydratverdauung der Heuschrecke funktioniert, wurde diese mit einer nachgestellten Verdauung einer anderen Kohlenhydratquelle, wie Brot, verglichen.

Die Verdauung der Kohlenhydrate beginnt in der Mundhöhle, wo durch die mechanische Zerkleinerung der Nahrung und die Speichel-Amylase die Polysaccharide in Disaccharide (Maltose) gespalten werden. Die entstandene Maltose kann im Dünndarm mithilfe von weiteren Enzymen verdaut werden. Für das Experiment bedeutet daher der Nachweis der entstandenen Maltose, dass die Kohlenhydrate der Heuschrecke für den Menschen verwertbar sind. Das Disaccharid wird mit der Fehling-Probe nachgewiesen. In dieser Untersuchung wurde der Fokus auf die Speichel-Amylase gelegt. Da die Wirkungsfähigkeit eines Enzyms von Faktoren wie der Temperatur oder dem pH-Wert abhängt, mussten diese Bedingungen möglichst nachgeahmt werden. In der Mundhöhle liegt die Körpertemperatur vor, welche ca. 36 °C beträgt.

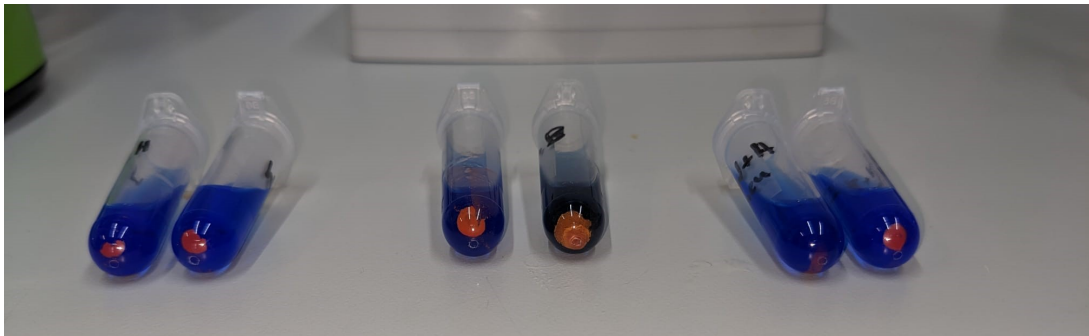
Der pH-Wert im Speichel ist neutral,<sup>38</sup> was nicht überprüft werden musste, weil der eigene menschliche Speichel verwendet wurde.

Im Folgenden wird die Durchführung näher beschrieben. Zuerst wurden die getrockneten Heuschrecken mit einem Mörser zerkleinert, ähnlich wie die Zerkleinerung durch das Kauen stattfinden würde. Für die erste Probe wurde 0,5 g Heuschreckenmasse abgewogen und in 5 ml Speichel gelegt. Als Vergleich zu dieser Probe wurde die gleiche Masse an Heuschrecken in 5 ml Wasser gegeben. Das Gleiche wurde wiederholt, jedoch wurde statt getrockneter Heuschreckenmasse ein Stück Brot der gleichen Masse verwendet, welches ebenfalls zerkleinert und jeweils in 5 ml Speichel und Wasser gelegt wurde. Die vier Proben wurden mithilfe eines Thermoschüttlers auf 36 °C erwärmt. Nach 24 h wurden die Proben aus dem Thermoschüttler entnommen.

Für die Fehling-Probe wurde Fehling-I-Lösung mit Fehling-II-Lösung im gleichen Verhältnis vermischt. Zudem wurden zwei weitere Proben neu angesetzt, die jeweils 0,5 g Heuschreckenmasse und 0,5 g Brot in 5 ml Wasser enthalten, um eine weitere Vergleichsgruppe zu erhalten. 1 ml der Fehlingprobe und 0,1 ml der Lösungen der Proben wurden jeweils in ein Reagenzgefäß gegeben. Damit die chemische Reaktion der Fehling-Probe mit den Substraten aktiviert werden konnte, wurden die Proben mithilfe eines Thermoschüttlers für einige Minuten auf 80 °C erwärmt.

Um das entstandene Kupferoxid optisch besser zu erkennen, wurden die Proben eine Minute lang zentrifugiert. Durch die Zentrifugalkraft legten sich die schweren Kupferoxidteilchen am Boden der Reagenzgefäße ab. Anschließend wurden die Proben ausgewertet.

Am Boden der Brot-Speichel-Probe war die rotbraune Verfärbung am deutlichsten zu sehen (s. Abb. 5.3, vierte Probe). Die Lösung dieser Probe hatte sich insgesamt dunkler verfärbt. Die Heuschrecken-Speichel-Probe wies eine leichte rotbraune Verfärbung am Boden des Reagenzgefäßes auf, ohne dass eine Verfärbung der Lösung erkennbar war (s. Abb. 5.3, dritte Probe). Bei den in Wasser eingelegten Proben war ein rotbrauner Niederschlag in sehr geringen Maßen festzustellen.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 5.3: Alle sechs Proben, in der Mitte Speichel-Proben

Die rotbraune Farbe ist ein Indikator für das entstandene Kupfer(I)-oxid. Die Fehling-Probe war bei allen sechs Proben positiv, womit die Bildung von reduzierenden Zucker nachgewiesen wurde. Das bedeutet, dass wie zu erwarten, beim Brot im Speichel die meisten Zuckermoleküle vorliegen, da durch die Speichelamylase Maltose abgespalten wurde. Ebenso waren in der Heuschrecken-Speichel-Probe reduzierende Zuckermoleküle vorhanden, die im Vergleich zu der Brot-Speichel-Probe in geringeren Mengen ausfallen. Trotz der fehlenden Amylase wurden in den Proben, die in Wasser eingelegt waren, reduzierende Zuckermoleküle in kleinen Mengen nachgewiesen.

Ein Grund für den geringen Niederschlag bei der Heuschrecken-Speichel-Probe kann der niedrige Wert an Kohlenhydraten in Heuschrecken sein. In Wüstenheuschrecken können die Werte von 1,7 % bis zu 19,0 %

<sup>38</sup> Vgl. Blech o. J.

betragen. Brot hingegen kann von 36 g bis zu 49 g je 100 g Kohlenhydrate enthalten.<sup>39</sup> Dadurch reagieren weniger Zuckermoleküle in der Heuschrecken-Speichel-Probe mit der Fehling-Probe, als in der Brot-Speichel-Probe. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, dass die Kohlenhydrate der Heuschrecken für den menschlichen Körper schwer verdaulich sein könnten, da das Experiment nur auf qualitativen Ergebnissen beruht und nicht ausgesagt werden kann, ob die Enzyme tatsächlich alle vorhandenen Kohlenhydrate gespalten haben.

Die Entstehung des Kupferoxids in allen Proben wird dadurch verursacht, dass andere Kohlenhydrate ebenfalls die charakteristische Aldehydgruppe des reduzierenden Zuckers besitzen. Beispielsweise weist die Fehling-Probe Glukose nach,<sup>40</sup> welche in Brot und Heuschrecken bereits vorzufinden ist.<sup>41</sup> Deshalb lässt sich vermuten, dass die vier Proben, die in Wasser eingelegt waren, aufgrund der Glukose mit der Fehling-Probe reagieren. Im Vergleich zu den Speichel-Proben fällt weniger Kupferoxid als Niederschlag aus, weil in den Lösungen keine Maltose vorliegt, während in den Speichel-Proben sowohl Glukose als auch Maltose vorzufinden ist.

Das Experiment zeigt, dass die Verdauung der Kohlenhydrate der Heuschrecken im menschlichen Körper wahrscheinlich stattfinden kann. Im Vergleich zu der Verdauung von Brot entsteht bei der Verdauung von Heuschrecken insgesamt weniger Disaccharose. Es kann nicht eindeutig ausgesagt werden, ob die Kohlenhydrate in Heuschrecken für den Menschen ebenso gut verdaulich sind wie die in Brot. Heuschrecken sind zudem eine kohlenhydratarme Nahrungsquelle, weshalb sie nicht als Hauptkohlenhydratquelle für den Menschen geeignet sind.

#### 5.4.2 Experiment zur Verdauung von Eiweiß

Zur Untersuchung der Verdaulichkeit der Eiweiße von Heuschrecken wurde ein Experiment durchgeführt. Dabei sollte die Zersetzung der in Heuschrecken enthaltenen Proteine durch das im Menschen vorkommende Verdauungsenzym Pepsin nachgestellt werden und mit der Zersetzung der Proteine von gekochtem Eiweiß eines Eis verglichen werden.

Pepsin ist ein Enzym, welches im Magen den Spaltungsprozess von Proteinen beginnt. Dementsprechend wirkt das Enzym bei einem pH-Wert von 2,2 und 3<sup>42</sup> und bei 36 °C, d. h. Körpertemperatur. Der saure pH-Wert kommt zustande, da der im Magen enthaltene Magensaft zu 0,5 %<sup>43</sup> aus Salzsäure besteht. Im Magensaft liegt das Enzym Pepsin in einer Konzentration von 0,5 – 1,0 mg/ ml vor.<sup>44</sup>

In diesem Experiment sollten diese Bedingungen nachgestellt werden. Dafür wurden getrocknete Heuschrecken zermörsert, um die mechanische Zerkleinerung im Mund nachzuahmen und jeweils 1 g in zwei Reagenzgläser gegeben. Im ersten Reagenzglas wurden 20 ml einer Lösung hinzugefügt, welche zu 0,5 % aus Salzsäure und zu 0,1 % aus Pepsin bestand. Zur Kontrolle der Ergebnisse wurden im zweiten Reagenzglas zu der gleichen Menge an getrockneten Heuschrecken 20 ml Wasser hinzugefügt. Um den Versuchsaufbau auf Richtigkeit und Wirksamkeit zu überprüfen, wurde in zwei weiteren Reagenzgläsern jeweils 20 ml der Pepsin-Salzsäure-Lösung bzw. Wasser und dazu jeweils 1 g Eiweiß eines gekochten Eis hinzugegeben. So entstanden vier verschiedene Proben, die mit Hilfe eines Thermoschüttlers auf 36 °C für 24 h erwärmt wurden.

Nach dieser Zeit war bereits optisch zu erkennen, dass sowohl das Ei, als auch die Heuschrecken, die in der Pepsin-Salzsäure-Lösung eingelegt waren, zersetzt wurden (s. die beiden Proben links in Abb. 5.4). Hingegen war bei den zwei anderen Proben mit Wasser keine Zersetzung mit dem Auge sichtbar (s. die beiden Proben rechts in Abb. 5.4).

---

<sup>39</sup> Vgl. Kütscher o.J.

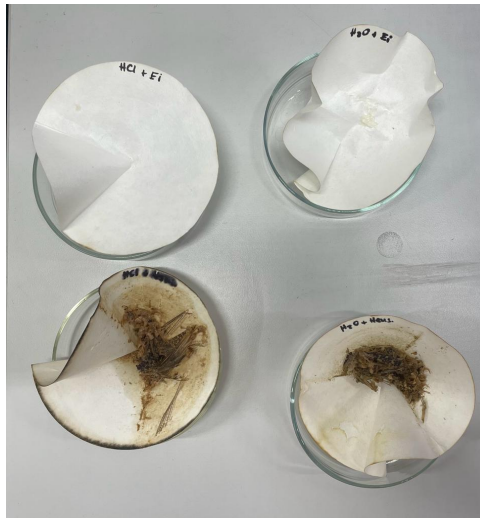
<sup>40</sup> Vgl. Asselborn 2010, S. 436.

<sup>41</sup> Vgl. Gehring o. J.

<sup>42</sup> Vgl. Söhl 2015, S. 63.

<sup>43</sup> Vgl. Seilnacht o. J.

<sup>44</sup> Vgl. Liu 2015, S. 6.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 5.4: Proben in Filtern

Die Proben wurden dennoch filtriert, damit anhand der Massenänderung ausgesagt werden konnte, ob eine Zersetzung stattgefunden hatte.

In der Tabelle 5.2 sind die ermittelten Massen der Proben angegeben. Sie bestätigen die Beobachtung, dass die Heuschrecke und das Ei, die in der Pepsin-Salzsäure-Lösung eingelegt waren, zersetzt wurden, da ihre Massen im Vergleich zu ihren Kontrollproben kleiner waren.

Tabelle 5.2: Massen der Proben

	Heuschrecken in Lösung	Heuschrecken in Wasser	Ei in Lösung	Ei in Wasser
Ursprungsmasse in g	1	1	1	1
Trockenmasse in g	0,64	0,76	0,03	0,06
Massendifferenz zur Ursprungsmasse in g	0,36	0,24	0,97	0,94
Massendifferenz in g	0,12		0,03	

Beim Ei muss beachtet werden, dass am Anfang des Experiments die frische Masse bestimmt wurde, aber zum Schluss nur die Trockenmasse ermittelt werden konnte, weshalb der große Massenunterschied beim Vorher- und Nachher-Wiegen des Eis entstand, da die Masse des Wassers im Ei entfiel.

Zusammengefasst kann ausgesagt werden, dass sowohl die Proteine in Heuschrecken als auch die Proteine aus anderen herkömmlichen Quellen vom Menschen verdaut werden können. Die Enzyme, die für die Zersetzung und somit für die Verdauung der Proteine im menschlichen Körper sorgen, können die Proteine in Heuschrecken trotz des Chitins zersetzen. Somit sind Heuschrecken als Proteinquelle für den Menschen geeignet.

## 6 Ethische Betrachtung

Der Grundsatz des Tierschutzgesetzes in Deutschland besagt, dass niemand einem Tier ohne vernünftigen Grund Schmerzen, Leiden oder Schäden zufügen darf.<sup>45</sup> Bei diesem Projekt war es deshalb erforderlich, zu prüfen, ob es eine tierfreie Alternative für die Beantwortung der Forschungsfrage gibt.

Um zu klären, ob ein Unterschied in der Fütterung von Heuschrecken Auswirkungen ihren Nährstoffgehalt hat, müssen Heuschrecken gezüchtet werden, da erst durch die Zucht und die darauffolgende Auswertung im Labor sichtbar wird, ob die Nährstoffe der pflanzlichen Nahrung von ihnen aufgenommen und gespeichert werden. Die theoretische Betrachtung des Verdauungsprozesses würde nicht ausreichen, da weiterhin nicht geklärt werden kann, ob durch einen Unterschied in der Fütterung bedeutend mehr Spurenelemente aufgenommen werden, sodass im Nährstoffgehalt ein sichtbarer und wesentlicher Unterschied zur herkömmlichen Fütterung entsteht.

Die Notwendigkeit der Arbeit mit Tieren ergibt sich aus der Forschungsfrage. Es muss zudem abgewogen werden, ob die Wirkung und der Beitrag dieser Forschungsfrage für die Betrachtung von Heuschrecken als Nahrungsmittel für den Menschen einen Tierversuch rechtfertigt.

Der Mensch muss durch die Nahrung ausreichend und verschiedene Nährstoffe aufnehmen, die für biologische Prozesse im Körper essentiell sind. Bei Unterversorgung mit Spurenelementen können Mangelerscheinungen auftreten. Deshalb sind Nahrungsmittel, die einen hohen Gehalt an Spurenelementen aufweisen, sehr wichtig für den Körper. Bei wachsender Weltbevölkerung sind Alternativen für die in der westlichen Welt herkömmlichen Nahrungsquellen für Spurenelemente erforderlich. Dabei ist es unerlässlich, dass diese Alternativen den Menschen mit den nötigen Nährstoffen versorgen. Eine Optimierung des Nährstoffgehalts durch pflanzliches Futter wäre ein bedeutender Faktor bei der Nützlichkeit von Heuschrecken für den Menschen. Die Forschungsfrage, die im Rahmen dieses Projekts geklärt wird, kann dazu beitragen, eine Möglichkeit der Optimierung des Nährstoffgehalts zu eröffnen oder zu widerlegen und könnte damit bedeutsam für die Entwicklung von Heuschrecken zur zukünftigen Nahrungsquelle für Spurenelemente sein. Insofern ist es sinnvoll, für dieses Projekt Heuschrecken zu halten.

Nach der Zucht müssen die Heuschrecken getötet werden, um sie im Labor zu untersuchen. Auf die Tötung kann nicht verzichtet werden, da im Labor Proben untersucht werden, und dementsprechend keine lebendigen Tiere verwendet werden können. Es gibt allerdings auch keine Alternative zur Untersuchung im Labor, da für die Gehaltsbestimmung von Spurenelementen vor allem Messtechniken wie Massenspektrometrie, die zuverlässig und empfindlich sind, eingesetzt werden. Eine Gehaltsbestimmung mit einer anderen Messtechnik, die kein professionelles Vorgehen im Labor benötigt, wäre zu aufwändig, ungenau und nicht aussagekräftig.

Die Arbeit mit Tieren und der schädigende Eingriff sind begründet, sinnvoll und notwendig für diese Forschungsarbeit. Dennoch sind nach dem Tierschutzgesetz „Tierversuche im Hinblick auf die den Tieren zuzufügenden Schmerzen, Leiden [...] auf das unerlässliche Maß zu beschränken [...]“.<sup>46</sup>

Bei der Zucht der Heuschrecken muss deshalb darauf geachtet werden, den Heuschrecken so wenig Schaden wie möglich zuzufügen, d.h. die Zucht so genau wie möglich an die natürliche Lebensweise anzupassen, dafür zu sorgen, dass kein Futtermangel besteht, und das Optimum der Umgebungstemperatur der Wüstenheuschrecke einzuhalten. All dies wurde durch ausführliche Recherche und Anpassungen der Zucht aufgrund von Beobachtungen im höchstmöglichen Maß beachtet.

Jedoch muss vor allem der schädigende Eingriff, also die Tötung der Heuschrecken, tiefgehend reflektiert werden. Die Einhaltung des Tierschutzgesetzes muss auch hier zwingend berücksichtigt werden.

Dabei ist ein zentraler Punkt der Schmerz, den die Heuschrecken bei der Tötung empfinden könnten. Das Schmerzempfinden von Tieren zu definieren und zu erforschen ist sehr schwer, da Schmerz subjektiv wahrgenommen wird und nicht gemessen werden kann. Selbst beim Menschen ist es nur sehr schwer

---

<sup>45</sup> §1 TierSchG.

<sup>46</sup> § 7 Absatz 1 Satz 1 TierSchG.

möglich, den empfundenen Schmerz einzuschätzen. Zwei Menschen in der gleichen Situation nehmen den Schmerz aufgrund individueller Erfahrungen und dem Umgang mit ihm unterschiedlich intensiv wahr. Die Einschätzung des Schmerzes von Tieren durch den Menschen kann ebenfalls nicht oder nur sehr schwer erfolgen und gerechtfertigt werden. Was ein Tier fühlt, kann von einer Person genauso wenig wahrgenommen werden, wie die Gefühle eines anderen Menschen. Ob Tiere Schmerz genauso wahrnehmen wie Menschen kann wissenschaftlich nicht beantwortet werden. Dennoch gibt es Anzeichen, die zeigen, dass Tiere in bestimmten Situationen etwas fühlen.

Das Vorhandensein von Nozizeptoren ist beispielsweise eine Voraussetzung für das Schmerzempfinden, da erst durch sie eine Überschreitung der Toleranzschwelle eines bestimmten Reizes festgestellt und infolgedessen ein Signal ausgelöst und an das Gehirn geleitet werden kann. Zudem sind ein Nervensystem und die folgende Verarbeitung im Gehirn, insbesondere im Neocortex, der für eine bewusste Wahrnehmung und ein aktives Schmerzempfinden zuständig ist, Voraussetzungen.<sup>47</sup>

Zudem gibt es Anzeichen wie Abwehr- und Schutzreaktionen, die bei Tieren ohne Nozizeptoren, Zentralnervensystem oder Neocortex auf eine bewusste Wahrnehmung des Schmerzes hindeuten. Darunter zählen physiologische Reaktionen, wie eine erhöhte Atem- und Herzfrequenz, und verhaltensbezogene Reaktionen, wie z. B. Zuckungen, Reiben oder Fluchtversuche.<sup>48</sup> Auf Heuschrecken treffen viele Bedingungen nicht zu, sie besitzen keine Nozizeptoren und können aufgrund ihres weniger komplexen Gehirns keinen Schmerz aktiv wahrnehmen. Typische Verhaltensweisen, wie Abwehr oder Flucht werden bei schädigenden Reizen nicht angewendet, beispielsweise rührt sich eine Heuschrecke nicht, wenn sie von einer Gottesanbeterin gefressen wird.<sup>49</sup>

Bei der endgültigen Bewertung spielt die moralische Frage, ob der Mensch auf die Empfindungen von Tieren schließen kann, die entscheidende Rolle. Im Rahmen dieses wissenschaftlichen Projekts wurde sich dazu entschlossen, die rationalen Anzeichen zu bewerten, die darauf hindeuten, dass Heuschrecken keine aktive Schmerzempfindung besitzen.

Über die Bewertung des Schmerzempfindens und die Methodik der Tötung der Heuschrecken wurde mit dem Max-Planck-Institut für chemische Ökologie Rücksprache gehalten. Es wurde sich dazu entschlossen, die Heuschrecken einzufrieren, da dieser Weg schnell und schonend ist. Da Heuschrecken wechselwarm sind, setzt bei niedriger Temperatur die Reizweiterleitung aus, wodurch die Heuschrecken ihren Tod nicht fühlen. Bei der Forschung mit Insekten ist diese Methode laut den Forscher:innen der gängige Weg. Es wird darauf geachtet, dass der Prozess so schnell wie möglich abläuft, weshalb zum Einfrieren kein isoliertes Gefäß verwendet wird. Um mit den zur Verfügung stehenden Mitteln eine möglichst tiefe Temperatur zu erreichen, wurde eine Gefriertruhe verwendet.

Bei der Zucht sowie der Tötung wurden die Alternativen, die ethische Betrachtung und die angewendete Methodik umfassend reflektiert, um die Eingriffe an den Heuschrecken zu minimieren und erforderliche Eingriffe wissenschaftlich auszuführen.

---

<sup>47</sup> Vgl. Lummer 2010.

<sup>48</sup> Vgl. Pfitzmann 2022.

<sup>49</sup> Vgl. Lummer 2010.

## 7 Fazit und Ausblick

In diesem Jugend forscht Projekt wurde sich damit auseinandergesetzt, inwieweit die Wüstenheuschrecke als Nahrungsmittel für den Menschen geeignet ist, da sie als potentiell Lebensmittel viele Vorteile bieten würde, wie beispielsweise einen geringeren Ressourcenverbrauch bei der Zucht, eine hohe Verfügbarkeit und Nahrungssicherheit, sowie eine sehr gute Nährstoffzusammensetzung im Vergleich zu herkömmlichem Fleisch oder Fisch.

Im ersten Teil wurden selbst gezüchtete Heuschrecken, die auf unterschiedliche Weise gefüttert wurden, hinsichtlich ihres Gehalts von drei ausgewählten Spurenelementen verglichen. Bei der massenspektrometrischen Analyse konnten signifikante Veränderungen in den Werten festgestellt werden. Deshalb kann ausgesagt werden, dass die Futterquelle der Heuschrecken eine Auswirkung auf deren Nährstoffgehalt hat. Ausblickend ist diese Erkenntnis von großer Bedeutung. Denn daraus lässt sich schließen, dass durch weitere Forschung und die Untersuchung verschiedener Futterquellen, Heuschrecken als Nahrungsmittel für den Menschen hinsichtlich ihres Nährstoffgehalts optimiert werden können.

Weiter wurden im zweiten Teil die Verdauungsprozesse von Kohlenhydraten und Eiweißen experimentell nachgestellt. Mithilfe der Verwendung der menschlichen Verdauungsenzyme wurde gezeigt, dass die in Heuschrecken enthaltenen Makronährstoffe für den Menschen zugänglich und verdaulich sind. Damit konnte die Grundlage für die Ernährung durch Heuschrecken untersucht werden und es konnte nachgewiesen werden, dass Heuschrecken hinsichtlich der Verdauung ein geeignetes Nahrungsmittel darstellen.

Zusammenfassend wurde in diesem Projekt versucht, wichtige Fragen bezüglich des Potenzials, welches Heuschrecken als Nahrungsmittel haben, durch Experimente in Grundzügen zu beantworten. In der bisherigen Forschung wurden die Thesen nicht in diesem Ausmaß betrachtet, weshalb neue Anhaltspunkte in der Betrachtung von Heuschrecken als Nahrungsmittel geliefert wurden. Allerdings ist zur vollständigen Untersuchung noch intensivere und tiefergehende Forschung nötig. Darüber hinaus sind weitere Fragen offen, unter anderem zu dem Aspekt Chitin. Denn bisher ist die genaue Bedeutung von Chitin aus Insekten als Bestandteil menschlicher Nahrung nicht vollständig klar.

Grundsätzlich kann aber nach intensiver Recherche und experimentellen Untersuchungen gesagt werden, dass die Wüstenheuschrecke ein durchaus gesundes Nahrungsmittel für den Menschen darstellt. Denn sie ist eine wertvolle Proteinquelle, die aus vielen wichtigen essentiellen Aminosäuren und Fettsäuren zusammengesetzt ist und zudem auch Mikronährstoffe, wie z.B. Vitamine, enthält. Daher ist die Bezeichnung der Insekten als sogenanntes „Nahrungsmittel der Zukunft“ durchaus berechtigt. Allerdings bleibt die Problematik bestehen, dass Insekten bisher als Lebensmittel in der westlichen Welt auf eher wenig Akzeptanz treffen. Daher muss ein Umdenken gefördert werden, damit die vorteilhaften Aspekte einer Ernährung mit Insekten, wie beispielsweise eine effizientere Zucht und Ressourceneinsparung, langfristig umgesetzt werden können.

# Literaturverzeichnis

- Ahlsweide, Heike et al. (2019). *Biologie Oberstufe Gesamtband*. 3. Auflage. Cornelsen Verlag GmbH.
- Analytik Jena (2010). *Richtlinien zur Methodenentwicklung mit dem Mikrowellenaufschluss-System TOPwave®*. Analytik Jena AG.
- Asselborn, Wolfgang et al. (2010). *Chemie heute SII Gesamtband*. Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH.
- Bains, Kiran et al. (2018). „Effect of drying procedures on nutritional composition, bioactive compounds and antioxidant activity of wheatgrass (*Triticum aestivum* L)“. In: *J Food Sci Technol*. (21.09.2023), S. 491–496. URL: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6342778/pdf/13197\\_2018\\_Article\\_3473.pdf](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6342778/pdf/13197_2018_Article_3473.pdf).
- Brogan, Emily N. et al. (2021). „Characterization of protein in cricket (*Acheta domestica*), locust (*Locusta migratoria*), and silk worm pupae (*Bombyx mori*) insect powders“. In: *LWT—Food Science and Technology* 152. (02.01.2023). URL: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112314>.
- Chemnitz, Christine (2018). *Fleischatlas. Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel*. 2. Auflage. Heinrich-Böll-Stiftung.
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (2021). *Ausgewählte Fragen und Antworten zu Selen*. (20.09.23). URL: <https://www.dge.de/gesunde-ernaehrung/faq/selen/>.
- Deutscher Wetterdienst (1961-1990). *Klimadiagramm von Ouagadougou / Burkina Faso*. (02.01.2023). URL: [https://www.dwd.de/DWD/klima/beratung/ak/ak\\_655030\\_di.pdf](https://www.dwd.de/DWD/klima/beratung/ak/ak_655030_di.pdf).
- Egonyu, James P. et al. (2021). „Global overview of locusts as food, feed and other uses“. In: *Global Food Security* 31. (02.01.2023). URL: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100574>.
- Guttal, Vishweshia et al. (2012). *Cannibalism can drive the evolution of behavioural phase polyphenism in locusts*. Blackwell Publishing Ltd.
- Koczka, Noémi et al. (2018). „Element Composition, Total Phenolics and Antioxidant Activity of Wild and Cultivated Blackberry (*Rubus fruticosus* L.) Fruits and Leaves during the Harvest Time“. In: *Notulae botanicae Horti agrobotanici Cluj-Napoca* 46.2. (27.03.2023), S. 563–569. URL: <https://doi.org/10.15835/nbha46210993>.
- Liu, Yu et al. (2015). „Digestion of Nucleic Acids Starts in the Stomach“. In: *Scientific Reports* 5.11936. URL: <https://www.nature.com/articles/srep11936/>.
- Mariod, Abdalbasit A. (2020). „Nutrient Composition of Desert Locust (*Schistocerca gregaria*)“. In: *Adam Mariod, A. (eds) African Edible Insects As Alternative Source of Food, Oil, Protein and Bioactive Components*. (02.01.2023), S. 257–263. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5_18).
- Söhl, Christina (2015). *Biologie für Ahnungslose, Eine Einstiegshilfe für Studierende*. 2. Auflage. S. Hirzel Verlag.
- Tamás, M. und János Csapó (2015). „Examination of the selenium content of wheat grasses produced in different soil types in Csik Basin“. In: *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria* 8. (20.09.2023), S. 30–44. URL: [https://www.researchgate.net/publication/282550545\\_Examination\\_of\\_the\\_selenium\\_content\\_of\\_wheat\\_grasses\\_produced\\_in\\_different\\_soil\\_types\\_in-Csik\\_Basin](https://www.researchgate.net/publication/282550545_Examination_of_the_selenium_content_of_wheat_grasses_produced_in_different_soil_types_in-Csik_Basin).
- Zentrum der Gesundheit (2023). *Mineralstoffe und Spurenelemente in Haferflocken*. (20.09.23). URL: <https://www.zentrum-der-gesundheit.de/ernaehrung/lebensmittel/getreide-uebersicht/haferflocken>.

# Internetquellen

- Bjarnadottir, Adda (2019). *Oats 101: Nutrition Facts and Health Benefits*.  
<https://www.healthline.com/nutrition/foods/oatsvitamins-and-minerals>. (28.03.23).
- Blech, Reinhard (o. J.). *pH Wert*.  
<https://studyflix.de/chemie/ph-wert-1939>. (06.01.23).
- Buckstegge, Diane (2019). *Eisenhaltige Lebensmittel: Die 10 besten Eisen-Lieferanten*.  
<https://www.gofeminin.de/abnehmen/eisenhaltige-lebensmittel-s1838191.html#:~:text=Eisenhaltige%20Lebensmittel%3A%20Haferflocken%20Auch%20Haferflocken%20sind%20hervorragende%20eisenhaltige,Eisen.%20Esst%20also%20mal%20wieder%20Haferflocken%20zum%20Fr%C3%BCst%3%BCck%21>. (28.03.23).
- Fike, John (o.J.). *How Wheatgrass and Selenium Can Increase Your Immune System*.  
<https://wheatgrasslove.com/blogs/the-wheatgrasslove-blog/wheatgrass-and-immunity-selenium#:~:text=Wheatgrass%20has%20hundreds%20of%20other%20vitamins%2C%20minerals%20and,for%20selenium%20is%2055%20mcg%20daily%20for%20adults..> (28.03.23).
- Gehring, Dr. Werner G. (o. J.). *Lebensmittelliste Glucose*.  
<https://www.eucell.de/ernaehrung/lebensmittellisten/makro-und-mikronaehrstoffgehalt/kohlenhydrate/glucose>. (07.01.23).
- Health and Science (o.J.). *Kobalt (Co)*.  
<https://healthandscience.eu/de/vitamine-und-mineralstoffe-ratgeber/579-kobalt-co>. (12.01.2024).
- Hoffmann, Solvejg (2023). *Grillenmehl in Lebensmitteln: EU erlaubt Beimischung von Insektenpulver*.  
<https://www.geo.de/wissen/ernaehrung/insekten-in-lebensmitteln-jetzt-in-der-eu-zugelassen-33115156.html>. (17.08.23).
- Knackfuß, Günter (2016). *Weltweit essen mehr als zwei Milliarden Menschen Insekten*.  
<https://www.springerprofessional.de/umwelt/nachhaltigkeit/-weltweit-essen-mehr-als-zwei-milliarden-menschen-insekten-/10048168>. (19.08.23).
- Kottmann, Dennis (2023). *Wüstenheuschrecken*.  
<https://www.drta-archiv.de/wuestenheuschrecken/>. (27.03.23).
- Kütscher, Bernd (o.J.). *ZAHLEN UND FAKTEN ZU BROT*.  
<https://www.brotinstitut.de/brotinstitut/zahlen-und-fakten-zu-brot/>. (02.09.2023).
- Lauterschlag, Enrico (2021). *Wüstenheuschrecke (Schistocerca gregaria)*.  
<https://verminscout.de/heuschrecken/kurzfuehlerschrecken/wuestenheuschrecke/>. (27.03.23).
- Levecke, Bettina (2016). *Wie gesund ist Weizengras wirklich?*  
<https://www.spiegel.de/gesundheit/ernaehrung/weizengras-neues-superfood-erobert-biolaeden-a-1081620.html>. (28.03.23).
- Lummer, Susanne (2010). *Wie geht's dem Wurm am Haken?*  
<https://www.sueddeutsche.de/wissen/schmerz-lass-nach-wie-geht-s-dem-wurm-am-haken-1.912296>. (27.05.23).
- Pfitzmann, Alexandra (2022). *Empfinden alle Tiere Schmerz?*  
<https://www.tierrettungsmuenchen.de/ratgeber/aus-der-tiermedizin/artikel/empfinden-alle-tiere-schmerz>. (27.05.23).
- Seilnacht, Thomas (o. J.). *Salzsäure*.  
[https://seilnacht.com/Chemie/ch\\_hcl.htm](https://seilnacht.com/Chemie/ch_hcl.htm). (19.03.23).
- Spektrum Verlag (o. J.). *Wanderheuschrecken*.  
<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/wanderheuschrecken/70133>. (27.03.23).
- Yen, Alan L. (2013). *Insekten essen*.  
[https://www.kulturaustausch.de/de/archiv?tx\\_amkulturaustausch\\_pi1%5Bauaid%5D=1594&](https://www.kulturaustausch.de/de/archiv?tx_amkulturaustausch_pi1%5Bauaid%5D=1594&)

tx\_ankulturaustausch\_pi1%5Bview%5D=ARTICLE&cHash=9689a29bfd433a2d0252e0355f125200.  
(21.08.23).

# Abbildungsverzeichnis

5.1 Terrarien Heuschreckenzucht . . . . .	4
5.2 Vollständige Aufschlüsse der Proben . . . . .	7
5.3 Alle sechs Proben, in der Mitte Speichel-Proben . . . . .	9
5.4 Proben in Filtern . . . . .	11

## 8 Unterstützungsleistungen

Das Jugend forscht Projekt wurde unterstützt von:

Frau Dr. Walther vom Schülerforschungszentrum Jena durch die Betreuung unseres Projekts,

Frau Overmeyer (Mitarbeitende) und Frau Dr. Groten (Projektgruppenleiterin) vom Max-Planck-Institut für chemische Ökologie Jena bei der Arbeit mit Tieren im Rahmen des Tierschutzes, sowie

Herrn Becker und Herrn Faßbender (Mitarbeitende) von Analytik Jena bei der Bestimmung der Nährstoffgehalte der Heuschrecken, dazu zählt die Erläuterung der Messtechnik, der Aufschluss und die Analyse der Proben.