

**Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences**

Bachelorarbeit

**Krabbel- statt Rindvieh: Insekten als Alternative für
den Fleischkonsum in Deutschland**

Eine systematische Literaturrecherche

Studiengang Gesundheitswissenschaften

Tag der Abgabe: 09. September 2019

Vorgelegt von: Till Horak ([REDACTED])

Gutachter/innen:

Herr Prof. Dr. Joachim Westenhöfer

betreuender Prüfer

Herr Prof. Dr. Wolf Polenz

zweiter Prüfer

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	IV
Abstract	V
1 Einleitung	6
2 Hintergrund	8
2.1 Insekten als Nahrungsmittel	8
2.1.1 Kulturhistorische Entwicklung	9
2.1.2 Ernährungsphysiologische Eignung	10
2.1.2.1 Proteine und Aminosäuren	11
2.1.2.2 Fette und Fettsäuren	13
2.1.2.3 Mikronährstoffe	15
2.1.3 Lebensmittelsicherheit	16
2.1.3.1 Biologische Risiken	16
2.1.3.2 Verunreinigungen und Produktionsrückstände	17
2.1.3.3 Allergene	18
2.2 Ökologische und ökonomische Bedeutung	18
2.2.1 Futtermittelverwertung	19
2.2.2 Umweltauswirkungen	21
2.2.2.1 Landfläche	21
2.2.2.2 Wasserfußabdruck	22
2.2.2.3 Emission von Treibhausgasen	23
2.2.3 Wirtschaftliches Potenzial	24
2.2.3.1 Insekten als Futtermittel	25
2.2.3.2 Alternative Chancen	25
2.3 Konsumentenakzeptanz	26
2.3.1 Einflussfaktoren auf die Konsumentenakzeptanz	26
2.3.2 Studienlage zur Akzeptanz essbarer Insekten in Europa	26
3 Implikation der Forschungsfrage	28
3.1 Problemstellung	28
3.2 Forschungsfrage	29
4 Methodik	30

4.1	Recherche in PubMed	31
4.2	Recherche in Livivo	32
4.3	Inhaltsanalyse und Selektion der Suchergebnisse	32
5	Darstellung der Ergebnisse	34
6	Diskussion	45
6.1	Diskussion der Arbeit zum Hintergrund	45
6.2	Diskussion der methodischen Vorgehensweise	46
6.3	Kritische Beurteilung der Ergebnisse	47
6.4	Beantwortung der Forschungsfrage	50
7	Fazit	52
	Literaturverzeichnis	VI
	Eidesstattliche Erklärung zur Arbeit	XII
	Anhang	XIII
	Anhang 1: Literaturrecherche Hintergrund	XIII
	Anhang 2: Darstellung der Recherche- sowie Analyseergebnisse in PubMed	XIV
	Anhang 3: Darstellung der Recherche- sowie Analyseergebnisse in Livivo	XV

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Proteingehalt [%] der Trockenmasse ausgewählter essbarer Insektenarten in typischerweise verzehrten Entwicklungsstadien	11
Tabelle 2: Gehalt essentieller Aminosäuren essbarer Insektenarten in mg/g Protein und die WHO-Empfehlung zum täglichen Bedarf eines Erwachsenen	12
Tabelle 3: Fettgehalt [% der Gesamtmasse] und Anteile der Fettsäuren [mg/g Fett] von ausgewählten essbaren Insekten im Vergleich zu Fleisch ausgewählter konventioneller Nutztiere	14
Tabelle 4: Mineralstoffgehalt von drei ausgewählten essbaren Insekten im Vergleich zum Fleisch von drei ausgewählten konventionellen Nutztieren in mg/100g Trockenmasse und die jeweiligen Empfehlungen für den täglichen Bedarf der DGE für Frauen (w) und Männer (m)	16
Tabelle 5: Suchergebnisse unterschiedlicher Suchstrings sowie Selektion nach entsprechenden Ausschlussparametern und Anzahl geeigneter Literatur in PubMed	XIV
Tabelle 6: Suchergebnisse unterschiedlicher Suchstrings sowie Selektion nach entsprechenden Ausschlussparametern und Anzahl geeigneter Literatur in Livivo	XV

Abstract

Essbare Insekten eignen sich aufgrund ihrer ernährungsphysiologischen Zusammensetzung als reichhaltiges Nahrungsmittel für Menschen sowie als Futtermittel für Nutztiere. Außerdem lassen sich essbare Insekten effizient und im Vergleich zu konventionellen Nutztieren umweltschonend züchten. Daher stellen sie in vielen Teilen der Welt bedeutende Bestandteile der Nahrungs- sowie Futtermittelproduktion dar. Lediglich in Europa und Nordamerika findet die Entomophagie, also das Verzehren von Insekten, nicht statt.

In dieser Arbeit wurde das Potenzial essbarer Insekten als Alternative zum Fleisch konventioneller Nutztiere untersucht, die ökologische Nachhaltigkeit der Landwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Die dafür analysierten Publikationen wurden anhand einer systematischen Literaturrecherche ausfindig gemacht.

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen ein hohes Potenzial essbarer Insekten auf, Bestandteil ökologisch nachhaltiger Biomassekreisläufe zu werden sowie als umweltschonende Alternative zu konventionellen Futter- und Nahrungsmitteln zu dienen. Insbesondere gegenüber der Produktion von Fleisch konventioneller Nutztiere zeigt die Produktion essbarer Insekten erhebliche Vorteile.

1 Einleitung

Schätzungen und Hochrechnungen zufolge wird die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2050 auf eine Zahl von 9,6 Milliarden ansteigen. In Anbetracht der Hungerkrisen auf der Welt und der wachsenden Weltbevölkerung wird der Bedarf an Nahrungsmitteln drastisch ansteigen müssen, insofern im Jahr 2050 der Nahrungsbedarf der Weltbevölkerung gedeckt werden soll (Gerber & FAO, 2013). So wird ebenfalls vermutet, dass der Bedarf an Fleisch – dem weltweiten Hauptlieferanten für tierisches Protein – um ca. 73% ansteigen wird (Gerber & FAO, 2013). Dieser Herausforderung steht entgegen, dass zum aktuellen Zeitpunkt einer von 6 auf dieser Erde lebenden Personen vermutlich an den Folgen von Hunger oder Unterernährung sterben wird (Premalatha et al., 2011). So ist die Beseitigung der Unterernährung und die bedarfsgerechte Verteilung von Nahrungsmitteln zu einer der relevantesten Aufgaben Welt geworden (Ghosh et al., 2017).

Die Ressourcen zur Produktion von Nahrungsmitteln sind jedoch begrenzt und schon zu großen Teilen ausgeschöpft (Poma et al., 2017; van Huis et al., 2013; Zielińska et al., 2015). Zudem gilt die konventionelle Landwirtschaft als Grundlage der Nahrungsmittelproduktion als ökologisch nicht nachhaltig (Smetana et al., 2016; Steinfeld et al., 2006). Gerade in europäischen Ländern wie auch in Nordamerika gilt das Fleisch konventioneller Nutztiere als wichtigste Proteinquelle (Zielińska et al., 2015). Dabei gilt die Produktion von Fleisch konventioneller Nutztiere als Teilbereich der Landwirtschaft mit den schwerwiegendsten Auswirkungen auf die Umwelt und das Klima (Smetana et al., 2016). So gilt der Verbrauch landwirtschaftlicher Fläche sowie sauberen Trinkwassers in der Zucht konventioneller Nutztiere schon seit Anfang des 21. Jahrhunderts als außerordentlich problematisch. Gleichzeitig trägt diese erheblich zum Ausstoß von Treibhausgasen bei (Steinfeld et al., 2006). Eine Reduzierung dessen würden den Beitrag der Landwirtschaft zum Klimawandel erheblich senken sowie immense Mengen der begrenzten Ressourcen Landfläche und Wasser freigeben (Smetana et al., 2016). Damit einher geht die Notwendigkeit innovativer Lösungen, die vorhandenen Ressourcen effizient und umweltfreundlich zu nutzen sowie dem Bedarf ernährungsphysiologisch günstiger Lebensmittel zu decken (Poma et al., 2017). So lässt sich in Europa ein steigendes Interesse an einer nachhaltigen Lebensführung erkennen (Looy et al., 2014). Als eine dieser innovativen Lösungen werden essbare Insekten als Futter- sowie Nahrungsmittel genannt (Ghosh et al., 2017; Poma et al., 2017). Diese sind zwar alles andere als innovativ – wird die Entomophagie doch bereits

von zwei Milliarden Menschen weltweit regelmäßig praktiziert und hat in der Vergangenheit auch in Zentraleuropa den Status als Bestandteil einer ausgewogenen Ernährung genossen – stellen jedoch aufgrund ihrer umweltfreundlichen Potenziale sowie ihrer günstigen Nährstoffkomposition eine Möglichkeit dar, den zuvor beschriebenen Problematiken eine Lösungsgrundlage zu bieten (van Huis et al., 2013). Insbesondere das Potenzial essbarer Insekten, essbares Protein unter geringeren Umweltbelastungen als Fleisch konventioneller Nutztiere zu liefern, rechtfertigt die Diskussion (Oonincx & de Boer, 2012; Oonincx et al., 2010).

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit essbaren Insekten als Alternative zu Fleisch von konventionellen Nutztieren. Dafür erfolgt infolge der kulturhistorischen Geschichte der Entomophagie eine umfangreiche Betrachtung der essbaren Insekten aus Perspektive der Ernährungsphysiologie. Die Aspekte zur Sicherheit als Lebensmittel werden dargestellt sowie der Parameter Konsumentenakzeptanz. Außerdem werden insbesondere die ökologischen Aspekte betrachtet, um mögliche Potenziale einer nachhaltigen Versorgung essbaren Proteins durch essbare Insekten anstelle von konventionellen Nutztieren zu identifizieren. So wird aufbauend auf der Darstellung des aktuellen Forschungsstandes eine systematische Literaturrecherche durchgeführt, um explizit das Potenzial zu einer ökologisch nachhaltigen Landwirtschaft mit essbaren Insekten auszumachen. Die dafür angewandte wissenschaftliche Methodik sowie die erhobenen Ergebnisse werden umfassend aufgeführt. Eine Diskussion der Darstellung des aktuellen Forschungsstandes, der methodischen Vorgehensweise zur Beantwortung der Forschungsfrage sowie der erhobenen Ergebnisse erfolgt. Abschließend wird ein Fazit gezogen, welches die Erkenntnisse dieser Arbeit zusammenfasst.

2 Hintergrund

Die in diesem Kapitel aufgeführten Aspekte zum Hintergrund der Thematik „Insekten als Nahrungsmittel und ihr Potenzial als Alternative für den Fleischkonsum in Deutschland“ beruhen auf aktueller wissenschaftlicher Literatur. Den hier verwendeten Quellen liegt eine unsystematische Literaturrecherche zugrunde. Die genaue Vorgehensweise zur Beschaffung der verwendeten Literatur ist in Anhang 1 aufgeführt.

Zunächst wird der Begriff Entomophagie definiert und erläutert, in wie fern Insekten ein Nahrungsmittel für Menschen darstellen. Darauf aufbauend werden die ernährungsphysiologischen sowie Aspekte zur Lebensmittelsicherheit von Insekten als Nahrung für den Menschen dargestellt. Weiter werden die Umweltauswirkungen der Insektenzucht sowie entsprechende Potenziale thematisiert, bevor das Kapitel 2 mit Faktoren der Konsumentenakzeptanz sowie Studien zur Akzeptanz essbarer Insekten in Europa abgeschlossen wird.

2.1 Insekten als Nahrungsmittel

Die Klasse der Insekten gehört zur artenreichsten der Tierwelt (van Huis et al., 2013). Während über 1.000.000 Arten beschrieben sind, wird die Gesamtzahl der Insektenarten auf bis zu 30.000.000 geschätzt (Florian Fiebelkorn, 2017). Damit könnten mehr als 90% aller tierischen Lebensformen den Insekten angehören. Insekten pflanzen sich sehr schnell fort und leben in großen Populationen (van Huis et al., 2013). So können Schwärme der *Schistocerca gregaria* (Wüstenheuschrecke) eine Größe von 40 Milliarden Lebewesen erreichen (Fiebelkorn, 2017). Sie sind in annähernd allen Umgebungen der Erde zu finden – lediglich in den Ozeanen kommen sie in geringen Maßstäben vor (van Huis et al., 2013). In ihrer natürlichen Lebensweise sind Insekten vor allem für das Bestäuben von Pflanzen und das Zersetzen von Biomasse zuständig (Fiebelkorn, 2017). Das Konsumieren von Insekten wird als Entomophagie bezeichnet. Dabei setzt sich der Begriff aus den griechischen Wörtern εντομος (entomos - „Insekt“) und φαγειν (phagein – „essen“) zusammen. Dieser gilt außerdem für alle Spezies gleichermaßen; der Verzehr von Insekten durch Menschen wird als Anthro-Entomophagie bezeichnet (Meixner & Mörl von Pfalzen, 2018). Im Folgenden wird auf den kürzeren Begriff der Entomophagie zurückgegriffen, da er sich in dieser Arbeit ausschließlich auf Menschen bezieht.

Die Organisation für Ernährung und Landwirtschaft der Vereinten Nationen geht in ihrem Bericht über essbare Insekten von 2013 von ca. 1.900 unterschiedlichen Arten aus (van Huis et al., 2013). Die Anzahl der regelmäßig verspeisten Insektenarten variiert je nach Literatur

zwischen mindestens 1.400 nach Johnson (2010) bis zu 2.111 Arten nach Jongema (2017). Unterschiede in der Anzahl der essbaren Insektenarten je nach Publikation können zum einen daraus resultieren, dass eine Insektenart mittels eines kulturgesellschaftlichen, nicht aber ihres lateinischen Namens in der Literatur genannt wird (van Huis et al., 2013). Dadurch könnte eine Insektenart mehrfach gezählt werden. Zum anderen werden fast täglich neue Insektenarten bekannt (Florian Fiebelkorn, 2017). Es ist also möglich, dass im Laufe der Zeit neue essbare Insektenarten entdeckt wurden.

Sortiert man die Arten ihren Ordnungen zu, so fällt auf, dass Käfer (31%) am häufigsten verzehrt werden. Es folgen Raupen von Schmetterlingen und Faltern (18%), Ameisen, Bienen und Wespen (15%), Heuschrecken (14%) sowie Wanzen und Zikaden (11%). Weitere verzehrte Insekten (12%) gehören zahlreichen unterschiedlichen Ordnungen an und sind aufgrund ihrer geringen Anteile am Gesamtverzehr nicht nennenswert (Meixner & Mörl von Pfalzen, 2018).

2.1.1 Kulturhistorische Entwicklung

Bereits seit einigen tausend Jahren dienen Insekten als Produzenten verschiedener Rohstoffe, die bekanntesten darunter sind Honig und Seide. Archäologischen Funden zufolge könnten Insekten zudem bereits vor 7.000 Jahren als Nahrungsquelle für Menschen genutzt worden sein. Mittlerweile essen mehr als zwei Milliarden Menschen aus über 130 verschiedenen Ländern regelmäßig Insekten (van Huis et al., 2013). Vorrangig werden diese in Afrika, Süd- sowie Mittelamerika und Asien verzehrt (Ghosh et al., 2017; Rumpold & Schlüter, 2013b). Die meisten unterschiedlichen Insektenarten werden in Mexiko (549), China (187) und Thailand (150) verspeist. Europa und Nordamerika weisen nur sehr vereinzelt Daten zur Praxis der Entomophagie auf (Florian Fiebelkorn, 2017). Eine besonders große Rolle spielt der Verzehr von Insekten in Südostasien. Beispielsweise haben im Jahr 2011 ca. 20.000 thailändische Landwirte eine Gesamtmenge von 7.500 Tonnen Heuschrecken zum menschlichen Verzehr produziert (Hanboonsong, Jamjanya & Durst, 2013).

Andere Staaten weisen bezüglich ihres Insektenkonsums ebenfalls große Dimensionen auf: In Südafrika werden schätzungsweise zehn Milliarden Raupen jährlich verspeist. 90% der in Simbabwe lebenden Menschen essen regelmäßig Insekten (Shelomi, 2015). Diese Beispiele spiegeln einen Teil der Realität in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern wider. Tatsächlich werden Insekten in vielen weiteren Staaten und in unzähligen Kulturen regelmäßig verzehrt. Dabei reichen die Beweggründe von der Hungersnot bis zum geschmacklich wertvollen Grundnahrungsmittel; ein Stigma der Armut oder Primitivität liegt jedoch ebenso in einigen

kulturellen Kreisen vor (Shelomi, 2015; van Huis et al., 2013). Zudem geht der Konsum von Insekten in einigen Ländern bereits zurück. Als Auslöser für diesen Wandel der Ernährungsgewohnheiten wird die Verwestlichung einiger Entwicklungs- und Schwellenländer gesehen. So werden heutzutage beispielsweise kaum noch Insekten in Indien verzehrt, während sie zu präkolonialen Zeiten noch ein geschätztes Nahrungsmittel auf der indischen Halbinsel waren (Shelomi, 2015).

In Deutschland wird der Verzehr von Insekten derzeit über die sogenannte Novel Food-Verordnung geregelt. Ihr zugrunde liegt die Gesetzgebung der EU, die in der „Novel Food Regulation“ (2015/2283) von 2015 den Verkauf neuartiger Lebensmittel und darauf basierende Produkte innerhalb der EU regelt. Unter diese neuartigen Lebensmittel fallen demnach auch essbare Insekten. Seit Jahresbeginn 2018 ist diese Verordnung auch in Deutschland rechtskräftig (EUR-Lex, 2015). Im Zusammenhang mit der Novel Food-Verordnung hat die European Food Safety Authority (EFSA) eine Risikoanalyse bezüglich des Verzehrs von Insekten erstellt, aus der eine Liste von zwölf Insektenarten hervorgeht. Diese haben nach Einschätzung der EFSA das größte Potenzial, sich in der EU als Nahrungs-, oder Futtermittel zu etablieren. Dieser Liste gehören drei Mehlwurmart, zwei Fliegenarten, zwei Mottenarten, zwei Grillenarten, die Raupe des Seidenspinners, eine Heuschreckenart und eine Grashüpferart an (EFSA, 2015).

2.1.2 Ernährungsphysiologische Eignung

Zum Verzehr bestimmte Insekten enthalten reichlich Nährstoffe. Aufgrund ihres hohen Gehalts an Proteinen, Fetten, Vitaminen, Mineral- sowie Ballaststoffen eignen sie sich generell gut als Nahrungsmittel (Heather Looy, Dunkel, & Wood, 2014). Da sich die verschiedenen Arten untereinander deutlich in ihrem Nährstoffgehalt unterscheiden, unterscheiden sie sich ebenso deutlich in ihrer ernährungsphysiologischen Bedeutung als Nahrungsmittel (Rumpold & Schlüter, 2013b). Außerdem entscheidend für den Nährstoffgehalt ist neben der Art auch das Entwicklungsstadium, die Umgebung sowie die Ernährung der Insekten (Kinyuru et al., 2015). In den vorliegenden Publikationen werden ernährungsphysiologische Daten zu einigen der zwölf essbaren Insektenarten der EFSA-Liste aufgeführt. Darunter sind: *Acheta domesticus* (Hausgrille), *Bombyx Mori* (Raupe des Seidenspinners), *Galleria mellonella* (Große Wachsmotte), *Grylloides sigillatus* (Kurzflügelgrille), *Musca domestica* (Stubenfliege), *Schistocerca gregaria* (Wüstenheuschrecke) und *Tenebrio molitor* (Mehlwurm). Dabei weisen die vorliegenden Quellen übereinstimmend auf, dass sich der Gesamtenergiegehalt von Insekten (390-650kcal pro 100g Trockenmasse) mit dem konventioneller Nutztiere sowie Fisch (165-750kcal

pro 100g Trockenmasse) vergleichen lässt (Meixner & Mörl von Pfalzen, 2018; Mlcek et al., 2014; Rumpold & Schlüter, 2013b; Zielińska et al., 2015).

2.1.2.1 Proteine und Aminosäuren

Wie in Tabelle 1 zu erkennen bestehen essbare Insekten zu einem Großteil aus Proteinen. Dabei ist auffällig, dass jene Insekten, die im Erwachsenenstadium verzehrt werden, einen durchschnittlich höheren Proteingehalt aufweisen als diese, die im Larvenstadium verzehrt werden. Die Wüstenheuschrecke weist dabei den höchsten Proteingehalt in Trockenmasse auf, während sich die Große Wachsmotte durch den geringsten Anteil an Proteinen auszeichnet. Insgesamt variiert dieser von 39% bis 76% in der Trockenmasse.

Tabelle 1: Proteingehalt [%] der Trockenmasse ausgewählter essbarer Insektenarten in typischerweise verzehrten Entwicklungsstadien

	Entwicklungsstadium	Proteingehalt (%)
Acheta domesticus	Erwachsen	64-73
Bombyx mori	Larve	54-70
Galleria mellonella	Larve	39-42
Grylloides sigillatus	Erwachsen	70
Musca domestica	Larve	47-64
Schistocerca gregaria	Erwachsen	76
Tenebrio molitor	Larve	47-58

(in Anlehnung an: Meixner & Mörl von Pfalzen, 2018, S. 13)

Der in Tabelle 1 dargestellte Proteingehalt essbarer Insekten entspricht einem Proteingehalt ähnlich dem von konventionellen Nutztieren. Bei den herkömmlichen Erfassungsmethoden des Proteingehalts von essbaren Insekten wird im Regelfall Chitin als Protein fälschlicherweise miterfasst, welches zwischen 5 und 20% der Gesamtproteinmasse ausmachen kann. Dies ist

jedoch ein unverdauliches Kohlenhydrat und wird somit zum häufigsten Ballaststoff in essbaren Insekten (Kouřimská & Adámková, 2016; Mlcek et al., 2014). Es gilt jedoch als umstritten, ob und inwiefern Chitin vom menschlichen Körper verwertet werden kann (Shelomi, 2015). Für eine exaktere Bestimmung des Proteingehalts sind daher neue Methoden notwendig (Meixner & Mörl von Pfalzen, 2018). Von ernährungsphysiologischer Bedeutung ist der Menge an Protein, die ein Nahrungsmittel enthält, auch die Qualität der enthaltenen Proteine. Diese wird über die Menge und das Verhältnis der enthaltenen Aminosäuren bestimmt. Eine besondere Bedeutung spielen dabei die neun essentiellen Aminosäuren, die der Mensch zwingend benötigt, jedoch nicht selbst herstellen kann, weshalb er diese über die Nahrung aufnehmen muss (Zielińska et al., 2015).

Tabelle 2: Gehalt essentieller Aminosäuren essbarer Insektenarten in mg/g Protein und die WHO-Empfehlung zum täglichen Bedarf eines Erwachsenen

	Isoleucin in mg/g	Leucin in mg/g Pro-	Lysin in mg/g	Methio- nin in	Phe- nylalanin	Threonin in mg/g	Tryp- tophan in	Valin in mg/g Pro-
Acheta domesticus	36-46	66-100	51-54	15-20	30-32	31-36	6,7-7,6	48-52
Bombyx mori	32-33	49-53	47-50	12-14	28-29	28-31	6,8-7,5	40-41
Galleria mellonella	42-45	71-88	56-57	16-27	37-38	36-42	8,5-8,7	48-54
Grylloides sigilla- tus	27	58	38	16	22	37	k.A.	47
Schistocerca gre- garia	28	78	35	8,2	19	36	k.A.	57
Tenebrio molitor	44-50	78-106	44-65	13-20	26-44	34-42	8-11	59-69
Täglicher Bedarf Mensch	30	59	45	16	30	23	6	39

(in Anlehnung an: Meixner & Mörl von Pfalzen, 2018, S. 15)

In den vorliegenden Publikationen wurden Daten zum Gehalt essentieller Aminosäuren zu sechs der zuvor beschriebenen sieben Insektenarten gefunden. Die acht untersuchten

Aminosäuren sind Isoleucin, Leucin, Lysin, Methionin, Phenylalanin, Threonin, Tryptophan und Valin. Diese wurden in Tabelle 2 in Zusammenhang mit den Empfehlungen zur täglichen Aufnahme essentieller Aminosäuren eines durchschnittlichen Erwachsenen der WHO gesetzt (Meixner & Mörl von Pfalzen, 2018). Die Ergebnisse zeigen auf, dass die ausgewählten Insektenarten ein hohes Potenzial zur Bedarfsdeckung des Menschen an essentiellen Aminosäuren aufweisen.

2.1.2.2 Fette und Fettsäuren

Fett bildet neben Proteinen den zweiten Hauptbestandteil von Insekten. Es liefert Energie und kann sich als strukturelle Komponente sowie als Geschmacksträger positiv auf das Esserlebnis auswirken. Insekten liefern im Vergleich zu konventionellen Nutztieren wie Rindern, Schweinen und Geflügel hohe Mengen an wertvollen Fettsäuren (Ghosh et al., 2017). Dies wird in Tabelle 3 veranschaulicht, die den Gesamtfettgehalt sowie die jeweiligen Anteile der Fettsäuren von drei essbaren Insektenarten und drei konventionellen Nutztieren darstellt. Die Fettsäuren können anhand ihres Sättigungsgrades unterschieden werden. Im ernährungsphysiologischen Kontext gelten dabei gesättigte Fettsäuren als ungünstig. Günstiger, weil mit positiven Effekten auf den menschlichen Körper in Verbindung stehend, gelten die ungesättigten Fettsäuren (Schabel, 2010). Bei der Betrachtung der Werte fällt auf, dass Insekten einen vergleichsweise niedrigeren Gesamtfettgehalt haben. So bestehen die ausgewählten Insektenarten zwischen ca. 13% bis ca. 25% aus Fettmasse, wohingegen die drei ausgewählten konventionellen Nutztiere Fettanteile der Gesamtmasse von ca. 44% bis ca. 70% haben. Zudem sind die für den Menschen im regelmäßigen Verzehr ungünstigen gesättigten Fettsäuren tendenziell geringer anteilig, wenn auch nur geringfügig. In Relation zur Gesamtmasse nimmt man bei dem Verzehr von 100g Insekten jedoch deutlich weniger gesättigte Fettsäuren zu sich als bei einem ähnlichen Verzehr von Fleisch konventioneller Nutztiere (Ghosh et al., 2017; Zielińska et al., 2015). Aufgrund der begünstigenden Faktoren eines reichhaltigen Verzehrs gesättigter Fettsäuren auf die Entstehung von Übergewicht kann der Verzehr von Insekten anstelle von Fleisch konventioneller Nutztiere demnach begünstigende Auswirkungen auf die Entwicklung des Körpergewichts haben (Ghosh et al., 2017; Zielińska et al., 2015). Außerdem ist der Anteil der für den Menschen wertvollen mehrfach ungesättigten Fettsäuren bei dem Fleisch konventioneller Nutztiere mitunter deutlich geringer als bei Insekten. Während Geflügelfleisch noch einen Anteil von etwa 234mg/g Fett enthält, ist dieser bei Schweinen (118mg/g Fett) schon deutlich geringer, bei Rindern mit nur 43mg/g Fettmasse am geringsten. Demnach

sind Insekten mit etwa 260 -320mg mehrfach ungesättigten Fettsäuren pro Gramm Fettmasse deutlich reichhaltiger bezüglich der qualitativ hochwertigen Bestandteile der Fettmasse als das Fleisch konventioneller Nutztiere (Ghosh et al., 2017; Zielińska et al., 2015). Die aus der Tabelle entnommenen Werte deuten darauf hin, dass essbare Insekten ein günstiger Lieferant für Fett und Fettsäuren sein können.

Tabelle 3: Fettgehalt [% der Gesamtmasse] und Anteile der Fettsäuren [mg/g Fett] von ausgewählten essbaren Insekten im Vergleich zu Fleisch ausgewählter konventioneller Nutztiere

	Gesamtfettanteil in %	Anteil gesättigter Fettsäuren in mg/g Fett	Einfach ungesät- tigte Fettsäuren in mg/g Fett	Mehrfach unge- sättigte Fettsäu- ren in mg/g Fett
Grylloides sigilla- tus	24,7	253,2	432,7	313,7
Schistocerca gre- garia	12,97	353	383,5	262,8
Tenebrio molitor	18,23	337,4	343,3	319,1
Rind	56,3	461,2	495,3	43,3
Schwein	69,9	386,7	495,2	118,1
Geflügel	44,3	312,8	452,8	234,4

(Ghosh et al., 2017; Zielińska et al., 2015)

Eine für den Menschen wertvolle Ernährung könnte durch den Verzehr essbarer Insekten gewährleistet werden, da die zahlreich vorkommenden mehrfach ungesättigten Fettsäuren u. A. aus den essentiellen Fettsäuren Linolsäure (Omega-6-Fettsäure) und α -Linolensäure (Omega-3-Fettsäure) bestehen. Dabei bedeutet „essentiell“ wieder, dass der Mensch diese Fettsäuren nicht synthetisieren kann und daher zwingend über die Nahrung aufnehmen muss (Zielińska et al., 2015). Aufgrund des hohen Gehalts an mehrfach ungesättigten Fettsäuren erschließt sich die Annahme, dass Insekten reichhaltige Lieferanten der beiden essentiellen Fettsäuren darstellen.

2.1.2.3 Mikronährstoffe

Bezüglich ihres Vitamingehalts gelten essbare Insekten bislang als unzureichend untersucht. Häufig unterliegen die Untersuchungen zudem Schwankungen, sodass exakte Werte schwierig zu erfassen sind (Rumpold & Schlüter, 2013a). Zudem kann der Gehalt der Vitamine in essbaren Insekten durch das Futter während der Zucht beeinflusst werden (Kouřimská & Adámková, 2016). Essbare Insekten gelten häufig als Lieferant für B-Vitamine wie Thiamin (Vitamin B1), Riboflavin (Vitamin B2), Pantothensäure (Vitamin B5), die unterschiedlichen Formen des Vitamin B6, Biotin (Vitamin B7) und Cobalamin (Vitamin B12). Letzteres ist vor allem im gelben Mehlwurm (*Tenebrio molitor*) und der Wüstenheuschrecke (*Schistocerca gregaria*) enthalten, jeweils in ähnlichem Gehalt zum Rindfleisch. (Kouřimská & Adámková, 2016; Mlcek et al., 2014; van Huis et al., 2013). Weiter können Insekten auch über D-, K- und C-Vitamine verfügen, weisen jedoch bis auf der Großen Wachsmotte (*Galleria mellonella*) und den Heimchen (*Acheta domesticus*) sehr geringe Mengen an Vitamin E auf (Mlcek et al., 2014; Rumpold & Schlüter, 2013a). Somit können einige Insektenarten wertvolle Lieferanten für Vitamine sein. Eine Ausnahme dabei bilden die Wüstenheuschrecke sowie der gelbe Mehlwurm, da diese reichhaltig sind an dem vor allem in tierischen Quellen vorkommenden Vitamin B12 (Kouřimská & Adámková, 2016).

Neben Vitaminen stellen auch die Mineralstoffe wichtige Ressourcen für den menschlichen Körper dar. Tabelle 4 kann entnommen werden, dass die essbaren Insekten für die Mineralstoffe Calcium, Magnesium und Zink generell bessere Lieferanten sind als das Fleisch konventioneller Nutztiere. Lediglich für Eisen stellt Rindfleisch einen vergleichbar guten Lieferanten dar, wobei der Anteil der Wüstenheuschrecke fast doppelt so hoch ist. Um den Calciumbedarf zu decken, müsste mindestens dreimal mehr konventionelles Fleisch verzehrt werden als essbare Insekten. Beim Magnesium ist es die mindestens die 1,5-fache Menge, jedoch reicht die Spanne hier zwischen Schweinefleisch und dem Mehlwurm auf das 12-fache an Magnesium pro 100g Trockenmasse. Der tägliche Zinkbedarf kann sogar mit nur 100g Trockenmasse von jedem der ausgewählten Insekten gedeckt werden, während das Fleisch konventioneller Nutztiere bis zu 300g Trockenmasse messen müsste (Zielińska et al., 2015). Für die ausgewählten Mineralstoffe stellen sich essbare Insekten also als deutlich reichhaltiger gegenüber konventionellen Nutztieren heraus und bilden daher hervorragende Lieferanten.

Tabelle 4: Mineralstoffgehalt von drei ausgewählten essbaren Insekten im Vergleich zum Fleisch von drei ausgewählten konventionellen Nutztieren in mg/100g Trockenmasse und die jeweiligen Empfehlungen für den täglichen Bedarf der DGE für Frauen (w) und Männer (m)

	Calcium (mg)	Eisen (mg)	Magnesium (mg)	Zink (mg)
Grylloides sigillatus	130	4,23	101	18,6
Schistocerca gregaria	70	8,38	82	18,6
Tenebrio molitor	41	3,29	304	11,2
Geflügelfleisch	32,3	2,6	58,8	3,9
Rindfleisch	18,7	4,3	39,8	8,4
Schweinefleisch	37,9	1,4	25,9	3,2
DGE-Empfehlung	1000 (m/w)	15 (m) 10 (w)	350 (m) 300 (w)	10 (m) 7 (w)

(Zielińska et al., 2015)

Zudem gelten essbare Insekten als reichhaltige Lieferanten für einige Spurenelemente, darunter Phosphor, Selen und Mangan (Zielińska et al., 2015).

2.1.3 Lebensmittelsicherheit

Die Sicherheit im Verzehr gilt bei essbaren Insekten und daraus produzierten Lebensmitteln ebenso grundlegend wie bei allen anderen Lebensmitteln. Eine Übertragung von Krankheiten durch essbare Insekten sowie Kreuzreaktionen durch Allergene oder etwa Vergiftungen durch toxikologische Inhaltsstoffe wurden in der vorliegenden Literatur diskutiert. Um die Lebensmittelsicherheit essbarer Insekten zu beurteilen, werden nachfolgend die biologischen Risiken, potenziell gefährdende Verunreinigungen und Produktionsrückstände sowie Allergene dargestellt.

2.1.3.1 Biologische Risiken

Der Begriff der essbaren Insekten rührt daher, dass nicht alle Insektenarten für den menschlichen Verzehr geeignet sind. Dies kann beispielsweise durch für den Menschen toxische Inhaltsstoffe bedingt sein, die einige Arten aufweisen. Aber auch ungiftige Inhaltsstoffe diverser Insektenarten können für den Menschen durch den Verzehr dieser Insekten problematisch

werden. Beispielsweise enthalten Larven des *Anopheles gambiae*, eine in zahlreichen afrikanischen Staaten verzehrte Mottenlarve und ein essbares Insekt nach Jongema (2017), eine Thiaminase, die in Folge des Verzehrs ein Thiamindefizit (Vitamin B₁-Mangel) bei Menschen auslösen kann (Jongema, 2017; Rumpold & Schlüter, 2013b, 5). Für essbare Insektenarten der EFSA-Liste (vgl. Kapitel 2.1.1) sind jedoch keine toxikologischen oder sonstige natürlich enthaltenen Inhaltsstoffe bekannt, die potenziell gefährlich für den Menschen sein können (EFSA, 2015, 20). Auch gilt die zoonotische Infektion von Krankheiten aufgrund der weiten Entfernung in der taxonomischen Klassifikation der Insekten zum Menschen als unwahrscheinlich (van Huis et al., 2013, 66). Dies gilt sogar für parasitäre Infektionen, obwohl Insekten in der Natur anfällig für Parasiten sind. So sind zum Zeitpunkt der Risikoanalyse der EFSA keine Fälle parasitärer Infektionen durch gezüchtete Insekten vor. Zurückzuführen ist dies vermutlich auf kontrollierte Zuchtbedingungen, die etwa das Vorhandensein geeigneter Wirte für Parasiten ausschließen (EFSA, 2015, 22f.). Als potenziell gefährlich gelten Bakterien, Pilze und Viren, die in essbaren Insekten vorkommen können. Diese sind zumeist insektenspezifisch und damit für Wirbeltiere wie Menschen und konventionelle Nutztiere größtenteils ungefährlich. Zudem kann das Risiko auf unverarbeitete Insekten beschränkt werden, da Verarbeitungsprozesse die Übertragung dieser Gefahren verhindern können (EFSA, 2015, 20f.). Rumpold und Schlüter (2013) sehen effektive Methoden zur Dekontamination sowie zur Haltbarmachung als essentiell an, um essbare Insekten sicher und marktfähig zu machen (Rumpold & Schlüter, 2013b). In der Natur entstehen biologische Gefahren durch den Verzehr von Insekten durch die Lebensbedingungen sowie die Substanzen, die von den Insekten aufgenommen werden. Unter kontrollierten Bedingungen inklusive der Zufuhr bedenkenloser Futtermittel kann eine Entwicklung etwaiger biologischer Gefahren vermieden werden. Das allgemeine Gesundheitsrisiko gilt dann als ähnlich oder niedriger verglichen mit zum Verzehr bestimmte Produkte aus konventionellen Nutztieren (EFSA, 2015, 36).

2.1.3.2 Verunreinigungen und Produktionsrückstände

Van Huis et al. (2013) berichten im Namen der FAO von unter Umständen gefährlichen Inhaltsstoffen, die in Insekten vorkommen können. So können in der Natur gesammelte essbare Insektenarten hohe, für die menschliche Gesundheit gefährliche Mengen Blei enthalten (van Huis et al., 2013, 14). Auch Rumpold und Schlüter (2013) belegen die mögliche Verunreinigung essbarer Insektenarten, insofern diese in freien Gebieten gesammelt werden. So können beispielsweise Pestizidrückstände nachgewiesen werden (Rumpold & Schlüter, 2013b). Sowohl

Charlton et al. (2015) als auch Poma et al. (2017) untersuchten gezüchtete essbare Insekten auf Verunreinigungen. So konnten nur geringfügige chemische Belastungen gefunden werden, zumal diese stets unter den Grenzwerten der EU lagen (Charlton et al., 2015; Poma et al., 2017). Zudem waren die Belastungen mit denen konventioneller Nutztiere vergleichbar oder sogar geringer (Poma et al., 2017). Auch Belluco et al. (2013) gehen davon aus, dass essbare Insekten zwar genau wie andere Nutztiere Verunreinigungen aufweisen können, diese jedoch von geringfügiger Gefahr für den Menschen sind, insofern kontrollierte Zuchtbedingungen vorliegen und die Futtermittel von entsprechender Reinheit sind. Herrschen solche Voraussetzungen, so gehen von Insekten keine neuen oder größeren Gefahren aus als von beispielsweise konventionellen Nutztieren (Belluco et al., 2013, 309). Der Grad der Verunreinigung steht direkt mit den Zuchtbedingungen sowie den Futtermitteln in Verbindung, weshalb die Forschung in diesen Bereichen zugunsten der Lebensmittelsicherheit vorangetrieben werden sollte (EFSA, 2015).

2.1.3.3 Allergene

Essbare Insekten können Allergene enthalten. Es sind Fälle von allergischen Reaktionen beim Menschen durch den Verzehr essbarer Insekten bekannt (EFSA, 2015, 33; Rumpold & Schlüter, 2013b, 5). Beispielsweise wurden in verschiedenen Grashüpferarten sowie beim Mehlwurm Allergene identifiziert. Unter ihnen befindet sich auch die Arginin-Kinase. Diese ist für ihre Kreuzaktivität mit homologen Proteinen einiger Meeresfrüchte sowie Hausstaubmilben bekannt (de Gier & Verhoeckx, 2018). Kreuzaktivitäten treten auf, wenn Antikörper eines Allergens auf ein anderes Allergen reagieren. So können bei Menschen mit entsprechenden Allergien Antikörper für Allergene von Hausstaubmilben oder Meeresfrüchten auf die Allergene in essbaren Insekten reagieren. Dies kann unter Umständen zu allergischen Reaktionen führen, weswegen Menschen mit Allergien auf Hausstaubmilben oder Meeresfrüchten von dem Verzehr entsprechender essbarer Insektenarten abgeraten wird (de Gier & Verhoeckx, 2018; A. van Huis et al., 2013, 123). Da bisher wenige vergleichbare Daten zum allergischen Potenzial essbarer Insekten vorliegen, besteht weiterer Forschungsbedarf (de Gier & Verhoeckx, 2018).

2.2 Ökologische und ökonomische Bedeutung

Mehr als zwei Milliarden Menschen praktizieren bereits Entomophagie (vgl. Kapitel 2.1.1). Dazu müssen große Mengen essbarer Insekten gesammelt oder gezüchtet, verkauft und gekauft, verarbeitet oder transportiert werden. Demnach hängt mit dem Verzehren von

Insekten ein wirtschaftlicher Kreislauf zusammen, der wiederum Auswirkungen auf die Umwelt haben kann. Daher werden nachfolgend die ökologischen Aspekte der Entomophagie erläutert sowie wirtschaftliche Potenziale dargelegt.

2.2.1 Futtermittelverwertung

Die Verwertung von Futter gilt als Maßstab der Effizienz in der Zucht von Tieren zur Produktion von Nahrungsmitteln. Dabei entspricht eine effiziente Futtermittelverwertung einem niedrigen Futterbedarf für das Wachstum eines Kilogramms Biomasse. Insekten benötigen für den Zuwachs von einem Kilogramm in etwa zwei Kilogramm Futter (Vantomme & Halloran, 2013). Konventionelle Nutztiere hingegen benötigen mitunter ein Vielfaches dieser Menge für einen vergleichbaren Massezuwachs. So beläuft sich der Bedarf bei Hühnern in der Mastzucht auf 1,8-2,5kg Futter, während Schweine auf ca. 5kg angewiesen sind. Rinder benötigen sogar bis zu 10kg Futtermittel, um ein Kilogramm Biomasse aufzubauen (Jansson & Berggren, 2015, 21). Demnach sind Insekten deutlich effizientere Nahrungsmittelproduzenten als konventionelle Nutztiere. Der Vorteil gegenüber Masthühnern ist geringfügig. Die Effizienz beträgt im Vergleich zu Schweinen das 2,5-fache und nimmt gegenüber Rindern einen Faktor von bis zu fünf ein (Jansson & Berggren, 2015, 21).

In Anbetracht der letztendlich verzehrbaren Masse wird das Potenzial von essbaren Insekten im Vergleich zu den genannten Nutztieren deutlich: Rinder haben einen verzehrbaren Anteil von 40% des ursprünglichen Lebendgewichts. Bei Masthühnern und Schweinen entspricht dieser Anteil 55% des Lebendgewichts. Insekten hingegen sind zu 80-100% verzehrbar (van Huis, 2013). Demnach fällt die Effizienz in der Futtermittelverwertung für Insekten weiter günstig aus. Ein Kilogramm essbare Anteile von Insekten entspricht einem Bedarf von 2-2,4kg Futter. Konventionelle Nutztiere hingegen nehmen an Effizienz weiter ab. Bezogen auf ein essbares Kilogramm Biomasse benötigen Insekten nur ca. die Hälfte des Futters im Vergleich zu Hühnern, etwa ein Viertel des Futters von Schweinen und bis zu zwölfmal weniger als Rinder (Jansson & Berggren, 2015, 21; Meixner & Mörl von Pfalzen, 2018).

Begründet werden kann die niedrige Futtermittelverwertungsrate, also der vergleichsweise geringe Bedarf an Futter, für den selben Zuwachs an Biomasse, durch die biologische Funktionsweise der Insekten: Als wechselwarme Tiere haben sie keine konstante Körpertemperatur und sind daher auch nicht dazu gezwungen, Energie zur Aufrechterhaltung dieser aufzubringen (Rumpold & Schlüter, 2013b; van Huis, Dicke, & van Loon, 2015). Daraus folgt, dass Insekten unter verschiedenen Temperaturen unterschiedliche Aktivitätsniveaus aufzeigen. Die

Futterverwertung verändert sich unter Anderem temperaturabhängig (Booth & Kiddell, 2007). Beispielsweise wirkt sich ein Temperaturunterschied von 10 °C als ein erheblicher Einflussfaktor auf das Wachstum von Heimchen (*Acheta domesticus*) aus. Diese benötigen unter niedrigeren Temperaturen länger zur Entwicklung aus dem Larvenstadium in das Erwachsenenstadium, nehmen mehr Nahrung zu sich und bauen etwas langsamer Gewicht auf. Außerdem steigt der Sauerstoffverbrauch sowie der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid an (Booth & Kiddell, 2007; Rumpold & Schlüter, 2013b). Letztlich wachsen sie jedoch länger, was in einem höheren Gesamtgewicht und damit in mehr Biomasse pro Heimchen resultieren kann (Booth & Kiddell, 2007). Insekten müssen im Rahmen einer idealen Effizienz – also zur maximalen Massegewinnung unter möglichst niedrigen Bedarfen an Zeit und Futter – in temperierten Räumlichkeiten gezüchtet werden. Dies würde außerdem den Emissionsausstoß der Tiere selbst verringern (Booth & Kiddell, 2007; Rumpold & Schlüter, 2013b). Das Beheizen der Zuchtbereiche geht mit einem steigenden Bedarf an Energie einher. Entsprechende Daten dazu haben Oonincx und de Boer (2012) erhoben, als sie eine Produktionsanalyse des gesamten Lebenszyklus von Larven des Mehlkäfers (*Tenebrio molitor*) durchführten. Dabei wurden in Kooperation mit einem niederländischen Mehlwurm-Produzenten die Umweltauswirkungen der Mehlwurmproduktion bis zu dem Zeitpunkt erfasst, an dem die frische Ware den landwirtschaftlichen Betrieb verlässt. Der Energieverbrauch belief sich bei einem Kilogramm essbaren Mehlwürmern auf 34MJ. Davon gehören 35% dem Heizen durch Gas an, damit die Mehlwürmer optimale Wachstumsbedingungen erreichen. Das Potenzial zur globalen Erwärmung – ein Maß, das in CO₂-Äquivalenten (CO₂-eq) angegeben wird und sich aus den Emissionen der unterschiedlichen Treibhausgase zusammensetzt – erreicht bei der Mehlwurmproduktion einen Wert von 2,7kg CO₂-eq pro Kilogramm essbarer Biomasse. In der Nutzung landwirtschaftlicher Fläche bedarf es jährlich 3,6m² für die Produktion von einem Kilogramm essbarer Biomasse, wovon 99% für die Futtermittelproduktion verwendet werden (Oonincx & de Boer, 2012, 2f.).

Um diese Werte in Relation zu denen konventioneller Nutztiere bringen zu können, werden entsprechende Umweltbelastungen hochgerechnet auf das essbare Protein. Ein Kilogramm essbares Protein von Mehlwürmern geht mit einem Energieverbrauch von 173MJ einher. Im Vergleich zu essbarem Protein konventioneller Nutztiere sind die Mehlwürmer vergleichbar mit Schweinen (55-137% des Mehlwurm-Energieverbrauchs). Kuhmilch und Hühnerfleisch liegen mit 21-83% bzw. 46-88% deutlich darunter, wohingegen die Produktion essbaren Proteins aus Rindfleisch 102-158% des Energiebedarfs von Mehlwürmern benötigt. Das Potenzial zur

globalen Erwärmung ist bei allen konventionellen Nutztieren höher. So beträgt es bei essbarem Protein aus Milch und Hühnerfleisch das 1,7-2,8-fache bzw. 1,3-2,7-fache, während die Produktion bei Schweinefleisch schon 1,5-3,9-fach so viele kg CO₂-eq verursacht. Rindfleisch erreicht sogar 5,5-12,5-fach so hohe Werte in der Produktion essbaren Proteins verglichen zu Mehlwürmern (Oonincx & de Boer, 2012, 3). Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass Mehlwürmer unabhängig der Aufrechterhaltung der Zuchtbedingungen sehr geringe Mengen Treibhausgase produzieren. Konventionelle Nutztiere hingegen – vor allem Rinder und Schweine – stoßen vergleichsweise hohe Mengen an Treibhausgasen aus (Dennis G. A. B. Oonincx et al., 2010). Der Verbrauch landwirtschaftlicher Fläche, hochgerechnet auf das Kilogramm essbaren Proteins, beträgt bei Mehlwürmern 18m². Milch (1,8-3,2-fach höher), Hühnerfleisch (2,3-2,9-fach höher), Schweinefleisch (2,6-3,5-fach höher) und Rindfleisch (7,9-14,1-fach höher) gehen allesamt mit einem (deutlich) höheren Landverbrauch pro Kilogramm essbaren Proteins einher (Oonincx & de Boer, 2012, 3).

In die Analyse von Oonincx und de Boer sind keine Daten zu den Sekundärprodukten eingeflossen, die während der Produktion von Fleisch aus konventionellen Nutztieren anfallen. So wurde ein direkter Vergleich der Nahrungsmittelproduktion erbracht, der Zusatznutzen von Sekundärprodukten wie bspw. Gelatine, Leder und weitere floss in die Bewertung der Ergebnisse allerdings nicht ein. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass eine Optimierung der Produktionsbedingungen und eine nachhaltige Energieversorgung die Produktionsmenge anheben sowie das Potenzial zur globalen Erwärmung deutlich absenken könnten (Oonincx & de Boer, 2012, 4).

2.2.2 Umweltauswirkungen

Mit der Zucht essbarer Insekten gehen unumgänglich Auswirkungen auf die Umwelt einher. Um diese beurteilen zu können, werden nachfolgend die drei Aspekte Landverbrauch, Wasserverbrauch und Emission von Treibhausgasen in der Produktion essbarer Insekten erläutert und – sofern möglich – mit den entsprechenden Daten konventioneller Nutztiere verglichen.

2.2.2.1 Landfläche

Die benötigte Landfläche zur Produktion von Nahrungsmitteln aus Nutztieren setzt sich zusammen aus dem Weideland der Tiere sowie aus dem Ackerland der Futtermittelproduktion (Steinfeld et al., 2006, 271f.). 70% der landwirtschaftlich genutzten Flächen (3,9 Milliarden Hektar) dienen ausschließlich der Zucht konventioneller Nutztiere und dem Anbau des dafür benötigten Futters (Premalatha et al., 2011, 741; Steinfeld et al., 2006, 271f.). Dabei nimmt

allein die Futtermittelproduktion zur Versorgung von Nutztieren ein Drittel der weltweiten Ackerfläche ein (Steinfeld et al., 2006, 271f.).

Zur Beurteilung des Verbrauchs landwirtschaftlicher Fläche in der Produktion essbarer Insekten liegen die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse produzierter Mehlwürmer von Ooninx und de Boer (2012) vor. Diese geben an, dass zur Produktion eines Kilogramms Mehlwürmer insgesamt 3,6m² jährlich genutzt werden. Hierbei ist anzumerken, dass die Mehlwürmer selbst nur sehr wenig Fläche in Anspruch nahmen, während zur Futtermittelproduktion über 99% der insgesamt benötigten Fläche anfielen. Um die Nutzung der benötigten Fläche mit derer konventioneller Nutztiere zu vergleichen, werden die Werte auf das Kilogramm essbares Protein hochgerechnet. So bedarf es einer Fläche von 18m² jährlich, um ein Kilogramm essbares Protein aus Mehlwürmern zu gewinnen. Im Vergleich dazu benötigt es in der Produktion von essbarem Protein aus Geflügelfleisch das 2,3-2,9-fache an Fläche. Die Produktion tierischen Proteins aus Schweinefleisch ist 2,6-3,5-fach höher, beim Rindfleisch sogar 7,9-14,1-fach höher (Ooninx & de Boer, 2012)..

2.2.2.2 Wasserfußabdruck

Zur Beurteilung des Wasserfußabdrucks wird der durchschnittliche Verbrauch von Wasser in Liter angegeben, den es für die Produktion eines Kilogramms Biomasse benötigt. So braucht es zur Produktion von Geflügelfleisch 4.400-4.500l Wasser pro Kilogramm. Bei Schweinefleisch ist der Verbrauch mit 6.000l etwas höher, während Rindfleisch ca. 15.500l Wasser zur Produktion eines Kilogramms Biomasse benötigt (Mekonnen & Hoekstra, 2010; Miglietta, De Leo, Ruberti, & Massari, 2015; Steinfeld et al., 2006). Auf die weltweite Produktion von Fleisch konventioneller Nutztiere hochgerechnet entspricht dies ca. 8% des weltweit durch den Menschen verbrauchten Wassers (Steinfeld et al., 2006). Dabei zeigt sich erneut die Produktion von Futtermitteln als größter Posten: 98% des Wasserverbrauchs in der Produktion von Fleisch konventioneller Nutztiere ist auf die Produktion von Futtermitteln zurückzuführen (Mekonnen & Hoekstra, 2010). In Anbetracht der deutlich effizienteren Verwertung von Futter (vgl. Kapitel 2.2.1) kann davon ausgegangen werden, dass die Produktion von Insekten im Vergleich zu derer konventioneller Nutztiere wasserextensiv ist. Zudem decken Insekten ihren Bedarf an Flüssigkeit über die Nahrung, weshalb sie kein zusätzliches Trinkwasser benötigen (Rumpold & Schlüter, 2013b; van Huis et al., 2013). Miglietta et al. (2015) haben in einer Studie den Wasserfußabdruck der Mehlwurmproduktion errechnet. Basierend auf den Ergebnissen von Ooninx und de Boer (2012) errechneten sie den Verbrauch von Wasser zur Produktion eines

Kilogramms Mehlwürmer (Miglietta et al., 2015), was aufgrund der essbaren Anteile von 100% bei Mehlwürmern einem Kilogramm essbarer Biomasse entspricht (van Huis, 2013). So benötigt es zur Produktion eines Kilogramms essbarer Biomasse aus Mehlwürmern ca. 4.300l Wasser (Miglietta et al., 2015). Dies entspricht in etwa dem Bedarf von Geflügel, die eine ähnliche Futtermittelverwertungsraten wie die Mehlwürmer haben (vgl. Kapitel 2.2.1).

2.2.2.3 Emission von Treibhausgasen

Die Landwirtschaft zur Produktion von Nahrungsmitteln stellt den größten Verursacher von Treibhausgasen dar. Jährlich ist sie für die Freisetzung von Treibhausgasen verantwortlich, die 25 Milliarden Tonnen CO₂-eq entsprechen. Dies entspricht mehr als 50% der weltweit insgesamt durch Menschen ausgestoßenen Treibhausgase (Smetana et al., 2016). Etwa 44% dieser Emissionen resultiert aus der Freisetzung von Methan (Gerber & FAO, 2013). Rinder geben viermal so viel Methan ab wie Insekten (Miglietta et al., 2015). Dabei wird der Ausstoß von Emissionen bei Insekten im Durchschnitt mehrerer Arten betrachtet. Einige essbare Insektenarten stoßen sogar gar kein Methan aus (Oonincx et al., 2010; Rumpold & Schlüter, 2013b).

Es liegen zwei Studien Treibhausgasemissionen essbarer Insektenarten vor.

Oonincx et al. (2010) untersuchte u. A. die direkte Emission von Treibhausgasen bei drei essbaren Insektenarten: Mehlwurm (*Tenebrio molitor*), Heimchen (*Acheta domesticus*) und Wanderheuschrecke (*Locusta migratoria*). Den Ergebnissen der Studie zufolge liegen die Treibhausgasemissionen von Heimchen bei 0,05g CO₂-eq pro Kilogramm Biomasse pro Tag (g CO₂-eq/kg BM/d). Mehlwürmer erreichen einen Wert von 0,45g CO₂-eq/kg BM/d, während die Wanderheuschrecke bei etwa 2,4g CO₂-eq/kg BM/d liegt. Die Emission von Schweinen und Rindern beläuft sich auf ca. 2-28g CO₂-eq/kg BM/d bzw. 6-7g CO₂-eq/kg BM/d. Demnach stoßen essbare Insekten gleich viel (*Locusta Migratoria*) oder weniger (*Tenebrio molitor* und *Acheta domesticus*) Treibhausgase aus als Schweine und allesamt deutlich weniger als Rinder (Oonincx et al., 2010).

Die Lebenszyklusanalyse von Mehlwürmern in der Nahrungsmittelproduktion von Oonincx und de Boer (2012) gibt Aufschluss darüber, welches Potenzial zur globalen Erwärmung bei essbaren Insekten im Vergleich zum Fleisch konventioneller Nutztiere bezogen auf den gesamten Produktionszyklus besteht. So verantwortet die Produktion von Mehlwürmern 2,7kg CO₂-eq pro Kilogramm essbarer Biomasse. Hochgerechnet auf das Kilogramm essbaren Proteins kann ein direkter Vergleich zur Produktion von typischen Proteinquellen konventioneller Nutztiere gezogen werden. Das Potenzial zur globalen Erwärmung ist bei allen

konventionellen Nutztieren höher. So beträgt es bei essbarem Protein aus Hühnerfleisch das 1,7-2,8-fache bzw. 1,3-2,7-fache, während die Produktion bei Schweinefleisch schon 1,5-3,9-fach so viele Kilogramm CO₂-eq verursacht. Rindfleisch erreicht sogar 5,5-12,5-fach so hohe Werte in der Produktion essbaren Proteins verglichen zu Mehlwürmern. Erkennbar ist, dass Mehlwürmer in der Produktion essbaren Proteins ein deutlich geringeres Potenzial zur globalen Erwärmung aufweisen als konventionelle Nutztiere (Oonincx & de Boer, 2012).

2.2.3 Wirtschaftliches Potenzial

In einigen Entwicklungs- und Schwellenländern dienen essbare Insekten als wichtige Einkommensquelle. Dazu werden sie überwiegend in der Natur gesammelt oder unter geringem Verbrauch von Ressourcen gezüchtet. In Südafrika wird durch den Verkauf von Raupen ein Gesamtwert von 85 Millionen US Dollar erwirtschaftet. Dafür werden jährlich schätzungsweise 9,5 Milliarden Raupen gesammelt. In Uganda beträgt der Kaufwert von Grashüpfern das Fünffache der Zuchtkosten (van Huis et al., 2013). Der Kaufwert von Insekten in Entwicklungs- und Schwellenländern übersteigt den Kaufwert von Fleisch konventioneller Nutztiere (Shelomi, 2015). In Thailand werden Grillen für umgerechnet 6 US Dollar pro Kilogramm und Schweinefleisch für umgerechnet 4,50 US Dollar verkauft (van Huis et al., 2013). In Nigeria werden Raupen zum doppelten Preis im Vergleich zu Rindfleisch verkauft (Rumpold und Schlüter, 2013b). Durch das Sammeln der Insekten in der Wildnis anstelle von automatisierten Zuchtanlagen fallen für Unternehmen hohe Kosten für die Bezahlung der Arbeitskräfte an (Ghosh et al., 2017). Unkontrolliertes und nicht nachhaltiges Sammeln von essbaren Insekten kann die natürlichen Bestände der Insekten ausbeuten. Außerdem kann dies zur Zerstörung von Wäldern und dem Aussterben von Insektenarten führen (Rumpold & Schlüter, 2013b).

Das Essen von Insekten gewinnt auch in westlichen Staaten an Aufmerksamkeit (Zielińska et al., 2015). Im Jahr 2014 deutete der ehemalige UN-Generalsekretär Kofi Annan das Potenzial essbarer Insekten in westlichen Ländern an. Dabei hob er die umweltfreundlichen und ernährungsphysiologischen Aspekte hervor (Shelomi, 2015).

Die Insektenzucht bietet ärmeren Bevölkerungsgruppen die Möglichkeit zur Generierung eines Lebensunterhalts. Dadurch entsteht eine attraktive Option für Landwirte in Entwicklungs- und Schwellenländern. Zur Aufzucht und Haltung essbarer Insekten wird ein geringer technologischer Standard sowie geringe Kapitalinvestitionen benötigt (van Huis et al., 2013). Zahlreiche thailändische Landwirte nutzen die Zucht essbarer Insekten für ihre primäre Einkommensquelle (Hanboonsong et al., 2013). Schabel (2010) bestätigt das hohe wirtschaftliche Potenzial.

So können Personen mittels essbarer Insekten ein höheres Einkommen erzielen als durch landwirtschaftliche Nutzpflanzen (Schabel, 2010).

In Industriestaaten werden essbare Insekten vorrangig zur Herstellung von Futtermitteln für Haustiere gezüchtet (van Huis et al., 2013). Veldkamp et al. (2012) berichten von hohen Kosten in der Produktion von Mehlwürmern. Diese können essbare Insekten gegenüber konventionellen Futtermitteln wettbewerbsunfähig machen. Dabei beläuft sich der Großteil der Kosten mit 45% auf die Arbeitskosten, da die Arbeitsprozesse nur geringfügig automatisiert sind und die Unternehmen daher auf Handarbeit angewiesen sind. Veldkamp et al. (2012) berichten weiter von einer Steigerung der Arbeitsproduktivität durch eine Automatisierung der Arbeitsprozesse (Veldkamp et al., 2012).

2.2.3.1 Insekten als Futtermittel

Insekten können nicht nur als direkte Nahrungsquelle für Menschen dienen, sondern auch als Futtermittel für Nutztiere, die dem menschlichen Konsum dienen, verfüttert werden (Premalatha et al., 2011). Insekten sind eine natürliche Futterquelle für Geflügel und viele Fischarten, wodurch sie andere Futtermittel wie Soja, Meis, Getreide und Fischmehl ergänzen können. Zudem enthalten Insekten viel Protein und weisen einen hohen Fettgehalt auf (van Huis et al., 2013). In einer Studie von Hwangbo et al. (2009) wurde das Potenzial von essbaren Insekten als Futtermittel untersucht. Sie ersetzen das Sojamehl im Hühnerfutter (Sojamehl und Mais) durch Larven der gemeinen Stubenfliege und verfütterten es an Masthühner. Die Ergebnisse der Studie waren ähnliche bis bessere Gewichtszunahmen der Hühner unter einer Diät mit essbaren Insekten verglichen mit der Standarddiät (Hwangbo et al., 2009).

2.2.3.2 Alternative Chancen

Insekten sind zumeist Phytophagen – also Pflanzenfresser. Somit zersetzen sie Biomasse, die dadurch wiederum dem ökologischen Kreislauf der Natur zugeführt wird. Diese und eine weitere Eigenschaft machen Insekten zu einem essentiellen Bestandteil natürlicher Reproduktion: Sie bestäuben Pflanzen. Mehr als 90% der weltweit bekannten Pflanzenarten können sich unter anderem durch die Hilfe von Insekten fortpflanzen. Damit spielen Insekten auch in der Landwirtschaft eine entscheidende Rolle. Mithilfe ihres natürlichen Verhaltens werden die landwirtschaftlich interessante Flächen von Saison für Saison wieder nutzbar gemacht (Fiebelkorn, 2017). Außerdem können Insekten auch mit Bioabfall gefüttert werden (Fiebelkorn, 2017; Vantomme & Halloran, 2013). Dies könnte eine Art Recycling-Kreis

schaffen, in dem die jährlich auf der Welt anfallenden 1,3 Milliarden Tonnen organischen Abfalls in die Futtermittelproduktion aufgenommen würden (Fiebelkorn, 2017).

2.3 Konsumentenakzeptanz

In der Forschung wird die Akzeptanz als Annahme von Innovationen durch das Individuum bezeichnet. Dabei ist noch nicht von Akzeptanz zu sprechen, wenn die Innovation einmalig wahrgenommen wird, sondern erst, wenn sie langfristige Integration erfährt (House, 2016).

Insekten werden von dem Großteil Menschen in Europa als ekelig und gefährlich betrachtet. Dabei soll der Ekel als grundlegender Reflex vor potenziell gefährlicher Nahrung schützen. Gleichzeitig werden Insekten als potenziell gesunde und umweltfreundliche Nahrung angesehen (Looy et al., 2014).

In diesem Kapitel wird die Akzeptanz gegenüber essbaren Insekten als Nahrungsmittel von Konsumenten in Europa dargestellt.

2.3.1 Einflussfaktoren auf die Konsumentenakzeptanz

Die Bereitstellung von Informationen bezüglich der Unbedenklichkeit im Verzehr sowie der positiven Eigenschaften auf Umwelt und Gesundheit können eine Verhaltensänderung bei Konsumenten erwirken, um Entomophagie zu praktizieren (Caparros Megido et al., 2016). Auch Looy et al. (2014) beziffern eine bessere und breitere Informationsvermittlung zu den günstigen Eigenschaften essbarer Insekten als wirksame Methode, die Einstellung der Endverbraucher gegenüber Entomophagie zu verbessern (Looy et al., 2014). Größere Rollen in der Akzeptanz neuartiger Lebensmittel und damit vermutlich auch in der für essbare Insekten spielt jedoch die sensorische Qualität (Caparros Megido et al., 2016; Meixner & Mörl von Pfalzen, 2018). Auch kulturelle und emotionale Faktoren haben einen großen Einfluss auf die Akzeptanz von Lebensmitteln (Looy et al., 2014). Als größter Widersacher der Akzeptanz neuartiger Lebensmittel wie essbare Insekten hat sich die food nophobia herausgestellt, gefolgt von Ekel (House, 2016; Looy et al., 2014; Meixner & Mörl von Pfalzen, 2018). Des Weiteren können ernährungsphysiologische sowie Umweltaspekte einen begünstigenden Einfluss auf die Konsumentenakzeptanz essbarer Insekten haben (House, 2016).

2.3.2 Studienlage zur Akzeptanz essbarer Insekten in Europa

Die Konsumentenakzeptanz der Europäer bezüglich Entomophagie wird in aktuellen Studien untersucht. Nachfolgend sind drei Studienergebnisse dargestellt.

In einer belgischen Studie von Caparros Megido et al. (2014) wurde eine Verköstigung essbarer Insekten mit 189 Teilnehmenden durchgeführt. Vor der Verköstigung empfanden 47% der Teilnehmenden negativ Assoziationen gegenüber dem Verzehr essbarer Insekten. In Folge der Verköstigung erklärten 85% der Befragten ihre Bereitschaft, zukünftig Entomophagie zu praktizieren. Auf die Ergebnisse rückschließend kann angenommen werden, dass Insekten unter gewissen Faktoren Akzeptanz in der europäischen Gesellschaft erfahren können (Caparros Megido et al., 2014). In einer späteren Studie erreichten Caparros Megido et al. (2016) ähnliche Ergebnisse, als sie eine Verköstigung mit 79 Teilnehmenden durchführten. Dabei haben 33% der Teilnehmenden vor der Verköstigung bereits Insekten gegessen, während 69% von Vorfreude bezüglich der Verköstigung seien. Bei 84% der Teilnehmenden verbesserte sich die Einstellung gegenüber Entomophagie infolge der Verköstigung (Caparros Megido et al., 2016). Ebenfalls in Belgien führte Verbeke (2015) eine Studie zur Akzeptanz essbarer Insekten als Ersatz für Fleisch konventioneller Nutztiere durch. 368 Personen, die regelmäßig Fleisch konsumieren, wurden befragt. 19% der Befragten gaben an, Insekten als Fleischersatz zu verwenden. Dabei war die sogenannte food neophobia der größte Einflussfaktor auf die Ablehnung von essbaren Insekten. Ebenfalls in die Akzeptanz von Insekten eingeflossen ist das Umweltbewusstsein: Je höher dieses bei den Teilnehmenden war, desto eher waren diese bereit, Insekten zu verzehren (Verbeke, 2015). House (2016) hat die Akzeptanz von Produkten auf Insektenbasis in den Niederlanden untersucht und ist zu dem Schluss gekommen, dass Produkte aus essbaren Insekten das Image besitzen, ökologisch nachhaltiger zu sein. So gaben 33% der Befragten an, essbare Insekten erstmals gekauft zu haben, weil der Eindruck bestand, dass diese umweltfreundlicher als Fleisch seien (House, 2016). Eine Studie zur Akzeptanz von Insekten in Deutschland wurde von Meixner und Mörl von Pfalzen (2018) durchgeführt. Sie untersuchten die Vermarktung von Insekten aus Konsumentensicht. Es wurden 620 Personen online befragt. Anhand einer Skala zeigten sich 37% der Befragten eher geneigt, Insekten in Zukunft zu essen. Dabei nahm die Neigung zu essbaren Insekten ab, wenn essbare Insekten zuhause gekocht oder selbst gekauft werden sollen. Dabei haben 52% der Befragten bereits von der Praxis der Entomophagie gehört. Vertraute Lebensmittel, die teilweise aus essbaren Insekten bestehen, haben einen signifikanten Anstieg der Bereitschaft erwirkt, essbare Insekten zu kosten. Als hauptsächliche negative Einflussfaktoren auf die Konsumentenakzeptanz werden auch hier die food neophobia sowie der Ekel vor Insekten genannt (Meixner & Mörl von Pfalzen, 2018).

3 Implikation der Forschungsfrage

Den ersten Kontakt mit Insekten als Nahrungsmittel in Deutschland erhielt der Autor durch eine Veranstaltung im April 2019 in Stuttgart. Während des Aufenthalts hat der Autor in einem dort ansässigen Supermarkt ein Proteinriegel entdeckt, welcher teilweise aus gemahlener Heuschrecken besteht. Nur wenige Tage später wurde der Autor in einem Hamburger Supermarkt auf ein Produkt aufmerksam, welches als Insekten-Burger bezeichnet wird und teilweise aus gemahlener Mehlwürmern besteht. Nach diesen kurz aufeinander folgenden Kontakten mit Insekten als Nahrungsmittel hat sich der Autor zunächst unwissenschaftlich mit der Thematik auseinandergesetzt und stieß dabei auf mehrere Hinweise dafür, dass Insekten eine alternative Ernährungsgrundlage gegenüber der herkömmlichen Ernährung in der westlichen Gesellschaft darstellen können. Im Anschluss hat sich der Autor einer wissenschaftlichen Recherche zu dem Thema Entomophagie bemüht und stieß dabei auf die umfassenden Aspekte, die bereits über Insekten als Nahrungsmittel und die Entomophagie bekannt sind. Der Umstand, dass ein Umdenken bezüglich des Konsums und damit auch des Ernährungsverhaltens in Deutschland einen wichtigen Schritt im Umgang mit dem Klimawandel und weiteren schwerwiegenden Herausforderungen unserer Zeit darstellen kann, wirft die Frage auf, ob sich Insekten als Nahrungsmittel alternativ zum Fleischkonsum in Deutschland eignen.

3.1 Problemstellung

Obwohl Insekten als Nahrungsmittel in vielen Teilen der Welt bereits etabliert sind und etwa zwei Milliarden Menschen regelmäßig Insekten verzehren (van Huis et al., 2013), ist die Entomophagie in der westlichen Gesellschaft kein nennenswerter Faktor in der Bedarfsdeckung an Nahrungsmitteln (Meixner & Mörl von Pfalzen, 2018). Dabei sprechen zahlreiche Aspekte für ein Einführen essbarer Insekten in den Ernährungsalltag. Insekten bieten günstige Nährstoffkompositionen: Sie sind reich an Energie und lebenswichtigen Nährstoffen, enthalten vorrangig wertvolle Proteine und gesunde Fettsäuren und können Vitaminbedarfe decken, die sonst nur über tierische Quellen gedeckt werden (Rumpold & Schlüter, 2013a; Zielińska et al., 2015). Die Produktion essbarer Insekten kann um einiges effizienter sein als die für konventionelles Fleisch. Insekten können Bioabfall wie Gülle oder Lebensmittelreste verwerten (vgl. Kapitel 2.2.4) und zeichnen sich durch hocheffiziente und massentaugliche Reproduktionsraten aus (van Huis et al., 2013). Angesichts der enormen Präsenz umweltbezogener Diskurse in den Medien und der Wissenschaft erscheint die Forschung bezüglich eines

ernährungsphysiologisch geeigneten, ökologisch potenziell nachhaltigen Nahrungsmittels sinnvoll. Studien zur Akzeptanz von Insekten als Nahrungsmittel liegen vor. Die Akzeptanzforschung stellt einen der größten Forschungsschwerpunkte in der Thematik „Insekten als Nahrungsmittel“ dar. So belegen Studienergebnisse, dass u.A. die ökologischen Aspekte in der Konsumentenakzeptanz essbarer Insekten von Bedeutung sind (vgl. Kapitel 2.3). Auf Grundlage der vorliegenden Publikationen ist jedoch keine gesicherte Aussage über den ökologischen Mehrwert der Insektenzucht gegenüber der Zucht konventioneller Nutztiere zu treffen. Zu wenige Publikationen mit zu spezifischen Daten liegen vor, um ein allgemeingültiges Potenzial für eine nachhaltigere Landwirtschaft durch essbare Insekten im Vergleich zu konventionellen Nutztieren zu beziffern.

3.2 Forschungsfrage

Da der Verzehr von Insekten mit einer hohen Umweltfreundlichkeit assoziiert wird (vgl. Kapitel 2.3) und Umweltaspekte einen Einfluss auf die Konsumakzeptanz von Personen der westlichen Gesellschaft haben (vgl. Kapitel 2.3.1), wird in dieser Arbeit das wenig erforschte Potenzial essbarer Insekten zum Beitrag einer nachhaltigen Nahrungsmittelproduktion für Deutschland untersucht. Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage:

Kann der Konsum von essbaren Insekten anstelle von Fleisch in Deutschland einen Beitrag zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft erbringen?

4 Methodik

Um die in Kapitel 3.2 aufgestellte Forschungsfrage zu beantworten, wird im Rahmen dieser Arbeit eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Die Recherche inklusive Selektion und Screening der Ergebnisse erfolgt im August sowie September 2019. Für die Durchführung der systematischen Literaturrecherche werden zunächst Suchbegriffe aufgestellt. Diese richten sich nach den in Kapitel 3.2 genannten Kriterien und sind zudem einigen Schlagworten bereits verwendeter Literatur nachempfunden. Folgende Suchbegriffe lassen sich ableiten:

- entomophagy
- edible insects
- insect consumption
- insect production
- sustainability
- global warming
- agriculture

Diese Suchbegriffe können in zwei Kategorien eingeteilt werden:

I. Insekten als Nahrungsmittel:

- entomophagy
- edible insects
- insect consumption
- insect production

II. Ökologischer Zusammenhang

- sustainability
- global warming
- agriculture

Folgende Datenbanken werden anhand der Suchbegriffe auf geeignete Literatur durchsucht:

- „PubMed“, die weltweit größte medizinische bibliographische Datenbank der National Library of Medicine (USA), dient zur Erfassung von Publikationen im Medizin- und Gesundheitswissenschaftlichen Kontext.
- „Livivo“, das Suchportal für Literatur der Lebens- sowie Agrarwissenschaften des deutschen Informationszentrums Lebenswissenschaften ZB Med, wird verwendet, um

Publikationen ausfindig zu machen, die sich speziell auf die Bereiche Nahrungsmittelproduktion, Nachhaltigkeit, Klimaauswirkungen und ähnliche beziehen.

Die aktuellste vorliegende Publikation, die sich mit den Suchkriterien befasst hat und als Grundlage für den aktuellen Forschungsstand gilt, ist die Lebenszyklusanalyse von Mehlwürmern von Oonincx und de Boer (2012). Daher wird die Recherche eingegrenzt auf alle Ergebnisse, die im Jahr 2012 oder später erschienen sind und den Suchkriterien entsprechen.

Nachfolgend wird die Recherche für jede der gewählten Datenbanken separat erläutert, wobei das Screening der Ergebnisse in Kurzfassung dargestellt wird. Tabellen, die eine ausführliche Darstellung des Ergebnisscreenings beinhalten, liegen als Anhänge vor.

4.1 Recherche in PubMed

Die Suchstrategie in der Datenbank PubMed wird als Freitextsuche aufgebaut und mit mehreren Suchstrings durchgeführt. Diese setzen sich zum einen zusammen aus den Suchbegriffen der Kategorie „Insekten als Nahrungsmittel“, welche mithilfe des Booleschen Operatoren OR in einem Oder-Prinzip angeordnet werden, und jeweils einem der Suchbegriffe aus der Kategorie „ökologischer Zusammenhang“. Der Boolesche Operator AND verbindet die beiden Kategorien miteinander. Besteht ein Suchbegriff aus mehr als einem Wort, so wird außerdem eine Phrasen-Suche für diesen Suchbegriff verwendet, indem der Suchbegriff in Anführungszeichen gesetzt wird.

Es ergeben sich folgende Suchstrings und entsprechende Trefferzahlen:

- a) (entomophagy OR “edible insects” OR “insect consumption” OR “insect production”) AND sustainability
 - 10 Treffer
- b) (entomophagy OR “edible insects” OR “insect consumption” OR “insect production”) AND “global warming”
 - 2 Treffer
- c) (entomophagy OR “edible insects” OR “insect consumption” OR “insect production”) AND agriculture
 - 35 Treffer

Eine Tabelle zur ausführlichen Darstellung der Suchstrategie, Screening und Selektion der Treffer und Dopplung von Ergebnissen für die Recherche in PubMed ist als Anhang 2 beigefügt.

4.2 Recherche in Livivo

Auch für das Suchportal Livivo wird als Suchstrategie die Freitextsuche gewählt, um möglichst keine relevanten Ergebnisse auszuschließen. Livivo wird mit denselben Suchstrings wie PubMed bedient.

Folgende Suchstrings ergaben über das Suchportal Livivo entsprechende Trefferzahlen:

- a) (entomophagy OR “edible insects” OR “insect consumption” OR “insect production”)
AND sustainability
 - 2.031 Treffer,
- b) (entomophagy OR “edible insects” OR “insect consumption” OR “insect production”)
AND “global warming”
 - 186 Treffer
- c) (entomophagy OR “edible insects” OR “insect consumption” OR “insect production”)
AND agriculture
 - 6.081 Treffer

4.3 Inhaltsanalyse und Selektion der Suchergebnisse

Die Treffer der Suchstrings belaufen sich je nach Datenbank auf eine Anzahl von 2 bis 6.081. Durch die Recherche wurde eine Gesamttrefferzahl von 8.345 erreicht. Diese verringert sich infolge der zeitlichen Eingrenzung auf Ergebnisse ab 2012 auf 3.169 mit einer Reichweite von 2 bis 2.055 Treffern je Suchstring. Weitere Eingrenzungen der Suchergebnisse schienen nicht sinnvoll. Aufgrund der sehr hohen Trefferzahlen in zwei der sechs Suchvorgänge wurde jedoch eine Sichtung lediglich der ersten 250 Suchergebnisse – sortiert nach abnehmender Relevanz durch die Suchmaschine – durchgeführt. So wurden insgesamt 648 Artikel gesichtet und auf Relevanz für die vorliegende Arbeit geprüft. Dabei waren wurden folgende Einschlusskriterien auf Basis der vorliegenden Literatur und in Anbetracht der zu untersuchenden Thematik festgelegt:

1. Umweltaspekte der Produktion essbarer Insekten: Landverbrauch, Wasserverbrauch, Futtermittelbedarf, Futtermittelproduktion, Energiebedarf, Potenzial zur globalen Erwärmung
2. Eingliederung essbarer Insekten in bestehende landwirtschaftliche Prozesse mit dem Ziel, diese nachhaltiger zu gestalten

3. Anwendbarkeit der Vorgehensweise sowie der gewonnenen Erkenntnisse auf Deutschland

Ausschlusskriterien waren demnach:

1. Forschungsgegenstand bezieht sich auf nicht essbare Insekten
2. Forschung ist nicht auf die konventionelle Landwirtschaft anwendbar bzw. erbringt kein Potenzial, diese umzugestalten
3. Methodisches Vorgehen und/oder ausgemachte Potenziale sind nicht auf Deutschland anwendbar

Anhand dieser Kriterien, angewandt in der vorliegenden Reihenfolge, wurden die Treffer der Suchvorgänge zunächst anhand ihres Titels selektiert. Entsprechend dieser eindeutig nicht den vorliegenden Kriterien, wurde die Publikation als nicht relevant betrachtet und aus der weiteren Analyse ausgeschlossen. In diesem ersten Selektionsschritt wurden 382 Treffer ausgeschlossen. Anschließend erfolgte eine Sichtung der Abstracts, die in die Arbeit einführen und die vorliegende Forschung zusammenfassen. Anhand der Ein- und Ausschlusskriterien wurden nach Sichtung der Abstracts weitere 127 Treffer ausgegliedert. Nach der Sichtung der Volltexte erwiesen sich elf weitere Publikationen als nicht relevant für die Beantwortung der Forschungsfrage. So schlossen die festgelegten Kriterien 520 irrelevante Suchergebnisse aus der weiteren Verwendung im Rahmen dieser Arbeit aus. Außerdem lagen insgesamt 100 Doppelungen innerhalb der Datenbanken vor. 13 Publikationen konnten ausgeschlossen werden, weil sie bereits durch einen anderen Suchstring gesichtet wurden oder in die Hintergrundarbeit mit eingeflossen sind. Neun Publikationen mussten trotz potenzieller Relevanz für die Arbeit ausgeschlossen werden, da zu diesen weder über das Universitätsnetzwerk Hamburg noch über das hochschuleigene Netzwerk der HAW Hamburg Zugriff bestand. Ein Anschreiben der jeweiligen Autoren über ResearchGate mit Bitte um Bereitstellung der Publikation war bis zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Werks erfolglos.

Final flossen sechs Ergebnisse in die Beantwortung der Forschungsfrage ein.

5 Darstellung der Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Recherchearbeit chronologisch dargestellt. Dabei werden die Autoren, das Erscheinungsjahr und der Titel der Arbeit genannt. Anschließend wird jeweils das methodische Vorgehen mit dem entsprechenden Forschungsgegenstand erläutert, bevor die Erkenntnisse der jeweiligen Publikation vorgestellt werden.

- Van Broekhoven, Oonincx, van Huis und van Loon veröffentlichten 2015 die Studie „Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products“. Gegenstand der Untersuchung waren in dieser Studie die Auswirkungen einer Diät bestehend aus organischen Neben- und Abfallprodukten auf drei essbare Mehlwurmarten (*Tenebrio molitor*, *Zophobas atratus* und *Alphitobius diaperinus*). Die untersuchten Parameter waren das Entwicklungs- bzw. Wachstumspotenzial, die Futtermittelverwertungsrate sowie die nährstoffliche Zusammensetzung der Insekten. Für den Versuch verwendet wurden frisch geschlüpfte Larven, bereitgestellt von einer niederländischen Firma für Insektenzucht. Der Versuch fand unter konstanten klimatischen Bedingungen von 28 Grad Celsius, einer Luftfeuchtigkeit von 65% sowie konsequenten Licht- und Dunkelheitsphasen von jeweils 12 Stunden statt. Die Insekten wurden in Versuchs- und Kontrollgruppen eingeteilt. Den Kontrollgruppen wurde über den gesamten Versuchsablauf eine bewährte Nahrung, bereitgestellt von etablierten Firmen zur Insektenzucht, verabreicht. Die Versuchsgruppen wurden mit unterschiedlichen Bioabfällen gefüttert, darunter: die Abfälle der Bierproduktion Bierhefe und Treber, Brotreste, Gebäckreste, Kartoffelschalen sowie getrocknete Maiskörner mit löslichen Bestandteilen. Dabei wurde die Gabe von Nährstoffen nach Protein- und Stärkegehalt schematisiert und folgendermaßen aufgebaut: High Protein High Starch (HPHS), High Protein Low Starch (HPLS), Low Protein High Starch (LPHS) sowie Low Protein Low Starch (LPLS). Pro Art und Diät wurden fünf separate Behälter verwendet, sodass Zufälle im Versuchsablauf gemindert und repräsentative Ergebnisse bestmöglich gewährleistet werden können. Zunächst wurden die Larven über einen Zeitraum von vier Wochen gefüttert, anschließend in einem wöchentlichen Rhythmus gewogen sowie die Überlebensrate bestimmt. Der Versuch wurde fortgeführt, bis sich 50% der jeweiligen Spezies verpuppt haben. Da sich die Larven des *Z. atratus* unter den Versuchsbedingungen nicht verpuppten, wurden einzelne Individuen dieser Art in separaten Behältern unter

denselben Bedingungen weiter gefüttert, bis sie eine Länge von 5cm erreicht oder überschritten haben. Anschließend wurden alle Individuen gewogen sowie die verpuppten Exemplare bis zum Erreichen des Erwachsenenstadiums gezüchtet, um anschließend die erwachsenen Exemplare zu wiegen.

Die Überlebensrate war bei Diäten, die teilweise aus Gebäckresten bestanden, überaus niedrig und lag bei 0% (LPHS) sowie unter 40% (HPHS). Eine Versuchswiederholung mit Kartoffelschalen als Stärkelieferant gewährleistete eine höhere, stabile Überlebensrate gleich der übrigen Diätvariationen. So war die Überlebensrate bei allen Spezies mit mindestens einer Version des Futters aus Bioabfall höher als mit der etablierten Kontrollernährung. Eine einheitliche Aussage über einzelne Diätvariationen lässt sich jedoch nicht treffen, da die Spezies ganz unterschiedlich auf die Nahrung reagierten. Einzig der Zusammenhang zwischen einem hohen Proteinanteil in der Ernährung und einer hohen Überlebensrate wurde erkannt. Die Entwicklungsdauer bis zur Verpuppung war bei allen Mehlwurmartarten länger unter einer LPHS-Diät als in den Kontrollgruppen. *T. molitor* und *Z. atratus* entwickelten sich mit proteinreichen Ernährungsweisen schneller als die Kontrollgruppen. Die Larven des *A. diaperinus* entwickelten sich am schnellsten mit der HPLS-Diät, während die anderen Versuchsgruppen ähnlich den Kontrollgruppen abschnitten. Proteinreiches Futter hat bei allen Spezies eine ähnliche oder höhere Futtermittelverwertungseffizienz gegenüber den Kontrollgruppen erwirkt. Dabei korreliert eine hohe Effizienz in der Futtermittelverwertung mit einer niedrigen Futtermittelverwertungsrate. Zudem wiesen alle Spezies eine niedrige bis sehr niedrige Effizienz in der Futtermittelverwertung vor, insofern sie die LPHS-Diät verabreicht bekamen. Insgesamt wurde der Schluss gezogen, dass die untersuchten Mehlwurmartarten mittels Bioabfällen als Futtermittel gezüchtet werden können. Dabei hat die Zusammensetzung des Futters Auswirkungen auf das Größenwachstum, die Entwicklungsdauer und die Futtermittelverwertung. Des Weiteren wurde die Erkenntnis erlangt, dass eine proteinreiche Ernährung auf Basis von Hefe die Entwicklungszeit sowie die Sterblichkeit senkt und gleichzeitig den Massezuwachs steigert. Der Proteinanteil der Ernährung hat keinen Einfluss auf den Proteinanteil der Mehlwürmer, während eine fettreiche Ernährung mit einem höheren Fettgehalt der Mehlwürmer einhergeht. Im Rahmen der Studie konnte ein Zusammenhang zwischen jenen Experimentaldiäten, die mit einem schnellen Massezuwachs und einer kurzen Entwicklungszeit einhergehen, und einer weniger günstigen Fettsäurebilanz (insbesondere n3- und n6-Fettsäuren) als die Kontrollgruppen festgestellt

werden. Abschließend wird darauf hingewiesen, dass weitere Forschung notwendig ist, um Mehlwürmer zielsicher unter einer effizienten Wachstumsrate zu züchten und dabei die ernährungsphysiologische Zusammensetzung der Mehlwürmer optimal auf die Bedarfe von Menschen anzupassen (van Broekhoven, Oonincx, van Huis, & van Loon, 2015).

- Oonincx, van Broekhoven, van Huis und van Loon veröffentlichten 2015 “Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products”. Untersucht wurden die Auswirkungen verschiedener Ernährungsweisen bestehend aus Bioabfall auf Futtermittelverwertung, Überlebensfähigkeit, Wachstum und ernährungsphysiologische Zusammensetzung von vier essbaren Insektenarten. Für den Versuch verwendet wurden Nymphen der argentinischen Schabe (*Blattella germanica*), Larven der schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*), Larven von Heimchen (*Acheta domestica*) und Larven des gelben Mehlkäfers, sogenannte Mehlwürmer (*Tenebrio molitor* im Larvenstadium). Die vier Spezies wurden entweder von Unternehmen mit bewährter Zuchtmethodik zur Verfügung gestellt oder stammen aus dem Labor der Wageningen Universität. Die Insekten wurden jeweils binnen 24 Stunden nach dem Schlüpfen (im Falle der argentinischen Schabe wird von Geburt gesprochen) in Versuchs- und Kontrollgruppen aufgeteilt. Dabei wurden die Kontrollgruppen mit etablierter Nahrung für die Zucht der jeweiligen Insekten gefüttert, während die Versuchsgruppe mit Bioabfall gefüttert wurde. Dieser bestand aus Rübensirup, Kartoffelschalen, Rückständen aus der Bierproduktion wie Bierhefe und Treber sowie Brot- und Gebäcküberreste. Die Versuchsgruppen erhielten jeweils unterschiedliche Diäten: High Protein High Fat (HPHF), High Protein Low Fat (HPLF), Low Protein High Fat (LPHF), Low Protein Low Fat (LPLF). Die Durchführung des Versuchs verlangte eine Separierung je Spezies, Gruppe und Diät. Zudem wurden je Diät sechs separate Behälter verwendet, um vergleichbare Bedingungen gewährleisten und Zufälle ausschließen zu können. Die klimatischen Bedingungen wurden den bewährten Zuchtbedingungen entnommen und konnten für alle Spezies einheitlich eingerichtet werden. So herrschten während des Versuchs konstant 28 Grad Celsius, 70% Luftfeuchtigkeit, Tageseinteilung von zwölf Stunden Licht und zwölf Stunden Dunkelheit. Der Versuch wurde je Zuchtbehälter beendet, sobald das erste Individuum das Ende seines Stadiums erreicht hat (sich also verpuppt hat oder das Erwachsenenalter erreicht). Dieses Vorgehen wurde ebenfalls der bewährten Zuchtmethodik nachempfunden, da die jeweiligen Spezies in den

entsprechenden Stadien die optimalen Eigenschaften für den Verkauf bzw. Verzehr aufweisen. Anschließend wurden die Insekten via Gefriertrocknung getötet, getrocknet und untersucht.

Die Analysen der Studie zeigen, dass drei von vier untersuchten Insekten mit einer Ernährung aus Bioabfällen ernährt werden können. Lediglich die Larven der Heimchen zeigen eine im Vergleich zur Kontrolldiät sehr niedrige Überlebensrate, während die anderen Spezies die Versuchsdiäten ähnlich gut oder besser überlebten als die Kontrollgruppen. Dabei stellt die HPHF-Methode das größte Entwicklungspotenzial der Insekten und bedingt ähnliche oder bessere Futtermittelverwertungsraten als die bewährte Kontrolldiät. Niedrigkalorische Diäten gehen zumeist mit längeren Entwicklungsphasen der Insekten einher. Die Nährstoffbilanz variiert nur geringfügig zwischen den Diäten, ausgenommen der LPHF-Methode. Bei der Gabe sehr fetthaltiger, proteinarmer Nahrung hat sich auch die Nährstoffbilanz der Insekten deutlich verändert und ist in unüblich geringen Anteilen Protein und unüblich hohen Anteilen Fettmasse resultiert. Weitere Ergebnisse der Studie sind, dass die Nymphen der argentinischen Schaben sowie die Larven der schwarzen Soldatenfliege deutlich bessere Futtermittelverwertungsraten aufweisen als die Larven der Heimchen sowie die Mehlwürmer. Dabei sollen letztere eine ähnliche Futtermittelverwertungsrate wie Geflügel aufweisen. Außerdem können die ausgewählten Insektenarten essbares Protein effizienter aufbauen als konventionelle Nutztiere. Letztlich wurde gezeigt, dass die Nährstoffbilanz von Insekten anhand ihrer Diät maßgeblich beeinflusst werden kann. Es wird darauf hingewiesen, dass weitere Forschung zu diversen Insektenpezies und unterschiedlichen Diäten notwendig ist, um eine möglichst effiziente Produktion sowie eine optimale Nährstoffbilanz von Insekten zu gewährleisten mit dem Ziel, die Nährstoffbedarfe von Menschen (und Tieren) optimal zu bedienen (Dennis G. A. B. Oonincx, van Broekhoven, van Huis, & van Loon, 2015).

- Im Jahr 2017 haben Hussein et al. ihr Werk „Sustainable production of housefly (*Musca domestica*) larvae as a protein-rich feed ingredient by utilizing cattle manure“ veröffentlicht. In dieser Arbeit wird das Potenzial der gemeinen Stubenfliege (*Musca domestica*) als Bestandteil eines ökologisch-nachhaltigen Kreislaufes untersucht. Forschungsgegenstand waren dabei die Verträglichkeit von Rindergülle als Lebensgrundlage für die Fliegen. Dafür wurden ausgewachsene Stubenfliegen in Käfigen über einen Brutzyklus von drei

Wochen gehalten, sodass frische Jungtiere aus der Gesamtmenge extrahiert werden konnten. Petrischalen mit Rindergülle wurden in regelmäßigen Abständen in den Käfig gestellt, sodass die Fliegen ihre Eier darin ablegen konnten. Die Eier wurden daraufhin aus dem Käfig entfernt, der Schale entnommen und umfassend gereinigt. So konnte sichergestellt werden, dass einzig die festgelegten Parameter des Experiments und keine anderen Faktoren Einfluss auf den weiteren Lebenszyklus der Larven nehmen. Schließlich wurden die Fliegeneier in Behälter gegeben, die mit ausschließlich Rindergülle als Biomasse enthielten. Daraufhin erfolgte eine Analyse der Schlüpfrate, des Verhaltens sowie des Wachstums der Larven und schließlich der ernährungsphysiologischen Zusammensetzung der getrockneten Larven.

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Nährstoffverlust der verwendeten Gülle und der Nährstoffdichte der Fliegenlarven besteht. Außerdem belegen die Nährstoffanalysen der Larven, dass sie ein vergleichbares oder reichhaltigeres Futtermittel für Nutztiere sowie in der Aquakultur darstellen. Dabei ist anzumerken, dass beispielsweise zahlreiche Fischarten hohe Mengen an n3-Fettsäuren in ihrem Futter benötigen. Da die Larven diesen Bedarf nicht decken können, müsste im Falle einer Ernährung von Fischen mittels Larven der *Musca domestica* eine Supplementierung des Futters mit n3-Fettsäuren erfolgen. Unter den Versuchsbedingungen eignete sich frische Gülle von Rindvieh als Lebensgrundlage für die gemeine Stubenfliege, die sich aufgrund ihrer günstigen nährstofflichen Zusammensetzung wiederum als reichhaltiges Futtermittel für Nutztiere eignet. So kann ein ökologisch nachhaltiger Futtermittelkreislauf gestaltet werden, der sowohl die umweltbelastenden Abfallprodukte der Rinder als auch die umweltbelastende Futtermittelproduktion für konventionelle Nutztiere einbezieht. Es wird jedoch angemerkt, dass sowohl die Nutzung von Gülle als Lebensgrundlage und Futtermittel für Insektenlarven als auch der Nutzen von Larven als Futtermittel für konventionelle Nutztiere weiterer Forschung bedarf, damit eine gesicherte Aussage über die Wirksamkeit dieses Kreislaufes getroffen werden kann. Es werden große Potenziale genannt, den kritischen Problemen der nicht nachhaltigen Nahrungsmittelproduktion entgegen zu wirken (Hussein et al., 2017).

- Müller, Wolf und Gutzeit haben 2017 „The black soldier fly – *Hermetia illucens* – a promising source for sustainable production of protein, lipids and bioactive substances“

publiziert. Untersuchungsgegenstand der Studie ist das Potenzial eines nachhaltigen Produktionszyklus der *Hermetia illucens* und der aus der Fliegenlarve zu gewinnenden Substanzen. Dafür wurde in Zusammenarbeit mit einem deutschen Biogas-Konzern eine Kolonie schwarzer Soldatenfliegen untersucht, die in einer Symbiose mit einer Biogasanlage gezüchtet wird. In diese Symbiose sind laut Autoren lediglich Sekundärprodukte der beiden Produktionskreisläufe eingeflossen. Als Futtermittel für die Larven wurde Bioabfall verwendet. Die Exkremate der Larven wurden als Düngermittel in die Energieproduktion der Biogasanlage implementiert, deren Abwärme wiederum zur Beheizung der Zuchtbehälter genutzt wurde. In einer Pilotkonzeption der Autoren können ca. 300t Bioabfall als Futtermittel zur Produktion von ungefähr 120t Larven dienen, die neben thermischer sowie metabolischer Energie und Wasser auch etwa 60t biologischen Abfall produzieren, welcher in einer Biogasanlage wiederum zu Dünger für die Landwirtschaft, ca. 9.700kWh elektrischer Energie und einer Abwärme im Wert von etwa 10.000kWh umgewandelt werden kann. Die Abwärme wird anschließend wieder in die Larvenproduktion integriert, sodass theoretisch kein Abfall in diesem Kreislauf entsteht.

Die Analyse der Fliegenlarven wurde bezüglich des Protein- und Fettgehalts sowie für verschiedene bioaktive Substanzen durchgeführt, darunter Enzyme, Chitosan und antimikrobielle Peptide. Zusammenfassend ergaben die Untersuchungen, dass die *Hermetia illucens* nicht nur außerordentlich widerstandsfähig gegen bakterielle Infektionen ist, sondern auch vergleichsweise effizient zu züchten. Ihre Nährstoffdichte infolge einer Ernährung mit Bioabfällen weist bezüglich ihrer Protein- sowie Fettgehalte hervorragende Eigenschaften als Futtermittel in der Aquakultur als auch für die Geflügel- und Schweinezucht auf. Außerdem ist die Menge sowie die Qualität der Fettmasse in den Fliegenlarven durch ihr Futter beeinflussbar. So konnte abhängig von der Futterzusammensetzung sowohl eine hohe Qualität als Futtermittel als auch günstige Eigenschaften für die industrielle Nutzung – beispielsweise in der Reinigungs- und Waschmittelindustrie – nachgewiesen werden. Zu erwähnen ist hierbei, dass die Bildung der für den Menschen gesundheitsschädigenden Erylsäure durch keine Futterkonstellation verhindert werden konnte. Jedoch kann diese auf 1,3% reduziert werden, womit sie unter dem gesetzlichen Höchstwert von 5% für Nahrungsmittel in Deutschland liegt. Die Analyse der bioaktiven Substanzen von Larven der *Hermetia illucens* brachte Enzyme hervor, die für die industrielle Produktion organischer Stoffe wie Cellulose, Lignin und Chitin von großer Bedeutung sein können. Diese drei Stoffe

bilden die häufigsten organischen Verbindungen auf der Erde und können in der Produktion nachhaltiger Rohstoffe essentiell sein. Zudem konnten den Larven potente antibakterielle Peptide entnommen werden. Diesen bioaktiven Aminosäuren werden große Potenziale in der Bekämpfung antibiotikaresistenter Bakterienstämme zugesprochen, was ihnen eine Verwendung in der medizinischen Versorgung von Menschen und Tieren ermöglichen kann. So werden der schwarzen Soldatenfliege multiple Anwendungsbereiche und hohe ökologische Potenziale nachgewiesen (Müller, Wolf, & Gutzeit, 2017).

- Eine weitere Studie über die ökologischen Potenziale der schwarzen Soldatenfliege, gefüttert mit Bioabfall, wurde 2017 durch Salomone et al. veröffentlicht. Dafür wurde eine Lebenszyklusanalyse der *Hermetia illucens* im Süden Italiens durchgeführt. Analysiert wurden dabei die Effizienz zur Reduzierung biologischen Abfalls, die Auswirkungen auf die Umwelt einer ökologischen Fliegenlarvenproduktion mithilfe von biologischem Abfall als Futtermittel sowie das Potenzial zur Produktion von Futtermittel für die Haltung konventioneller Nutztiere.

Die Analyse beginnt bei der Beschaffung organischen Abfalls, welcher bereitgestellt wurde von der regionalen Abfallwirtschaft, regionalen Supermärkten, regionalen Obst-, Gemüse- sowie weiteren Nahrungsmittelhändlern. Außerdem wurden einmalig Puppen der schwarzen Soldatenfliege beschafft. Diese wurden nach dem Vollenden des Entwicklungsprozesses als adulte Fliegen unter bewährten Zuchtbedingungen gehalten. Diese bedarfen kein Futter, sodass lediglich Wasser und Energie für die Aufrechterhaltung der Kolonie aufgebracht wurde. Hierbei stand das Legen von Eiern zwecks Reproduktion im Vordergrund. Die Eier wurden anschließend in Zuchtbehältern gehalten, bis sie sich zu Larven weiterentwickelt haben. Dabei konnte die Menge der Larven je nach Liefermenge organischen Abfalls reguliert werden, indem über die adulten Fliegen ein Eierüberschuss gewährleistet wurde. Die überschüssigen Eier können heruntergekühlt und dadurch an der Weiterentwicklung gehindert werden, wodurch für eventuell steigende Futtermengen flexibel zur Verfügung stehen. Die angesprochenen Futtermengen werden vor der Verfütterung mit Wasser angereichert, um einen Kompostierungsprozess einzuleiten. Anschließend wird das Wasser jedoch wieder aus den Futtermitteln entfernt, da die Larven der schwarzen Soldatenfliege in unmittelbarer Nähe zu Flüssigkeit eine stark geminderte Aktivität sowie ein eingeschränktes Potenzial zur Weiterentwicklung aufzeigen. Die hierbei gewonnene

Flüssigkeit wird wiederum zur Aufrechterhaltung der Luftfeuchtigkeit in den Zuchtbehältern sowie zur Anreicherung der frischen Bioabfälle verwendet, um jenen Kompostierungsprozess einzuleiten, der grundlegend für die Produktion der Futtermittel für die Larven ist. Während der Larvenproduktion werden in den Zuchtbehältern konstante Temperaturen zwischen 30 und 35 Grad Celsius sowie eine Luftfeuchtigkeit von über 65% gewährleistet, um optimale Zuchtbedingungen zu schaffen. Nach Vollenden der Entwicklungsstadien werden die vor der Verpuppung stehenden Larven extrahiert und getrocknet. Anschließend erfolgen die Analyseprozesse zur Erfassung der erforderlichen Daten.

Die Meta-Analyse der vorliegenden Daten lässt die Autoren zu folgenden Schlüssen kommen: Das Pilotprojekt wäre als fortlaufender Organismus in der Lage, täglich 30t Biomasse zu verwerten, aus der 10t Rückstände hervorgehen, die wiederum als biologische Düngemittel verwendet werden können. Außerdem werden täglich 2,3t Biomasse in Form von präpupalen Fliegenlarven produziert, die in Trockenmasse etwa eine Tonne Futtermittel ergibt. Das Potenzial zur Verringerung biologischen Abfalls wird mit einer Effizienz von 66,7% bestimmt. Dieser wurde mit den Ergebnissen einer vorangegangenen Studie verglichen, in der dieselbe Spezies mit Hühnerfutter ernährt wurde und eine Effizienz von 43,2% erreichte. Des Weiteren wurden In- und Output von Biomasse hochgerechnet, wodurch eine Aussage über die mittels dieses Biomasseumwandlungsprozesses vermiedenen Produktmengen getroffen werden kann: So kann mithilfe eines solchen Biomasseumwandlungsprozesses pro Tonne biologisch verwertbarer Lebensmittelabfälle ein Output essbaren Proteins (getrocknete Larven) in Höhe von ca. 30kg sowie organisch gebundener Stickstoff zur Verwendung als Düngemittel (getrocknete Larvenexkremate) in Höhe von ca. 335kg erlangt werden. Dies entspricht einer Einsparung proteinreichen Futtermittels wie z.B. Sojamehl in Höhe von 28,4kg sowie stickstoffhaltigen Düngers in Höhe von etwa 49kg. Es wird weiter das Potenzial zur globalen Erwärmung bestimmt. Bezogen auf das Kilogramm essbaren Proteins zur Futtermittelproduktion sowie das Kilogramm industriell verwertbaren Fetts zur Biodieselproduktion zeichnet sich der untersuchte Biomasseumwandlungsprozess durch ein niedrigeres Potenzial zur globalen Erwärmung aus als typische Produkte konventioneller Herstellung für die beiden Bereiche (Sojamehl als Protein- sowie Rapsamen als Fettquelle). Abschließend wird von den Autoren angemerkt, dass der hohe Energiebedarf des Biomasseumwandlungsprozesses die größte Hürde in der Implementierung einer nachhaltigen Verwertung von Biomasse darstellt. Der größte Vorteil besteht

bezüglich der Nutzung von Landfläche. Für die Produktion von einem Kilogramm essbaren Proteins benötigen die Larven $0,05\text{m}^2$ Fläche, für die Produktion von einem Kilogramm Fettmasse $0,04\text{m}^2$. So wird in der Produktion von einem Kilogramm essbaren Proteins durch Larven etwa $8,65\text{m}^2$ von den $8,7\text{m}^2$ eingespart, die in der Produktion derselben Menge Sojamehl benötigt werden. In der Produktion von einem Kilogramm verwertbaren Fetts durch Rapssamen fallen $6,5\text{m}^2$ an, wohingegen es bei der Larvenproduktion $6,46\text{m}^2$ weniger sind. Die Autoren gehen zudem davon aus, dass auch der Verbrauch von Energie reduziert und durch nachhaltige Ressourcen gedeckt werden kann, wodurch das Potenzial zur globalen Erwärmung drastisch absinken würde. Dazu sei jedoch weitere intensive Forschung notwendig (Salomone et al., 2017).

- Ein in Norditalien durchgeführtes Projekt zur Kreierung eines ökologisch nachhaltigen ökonomischen Kreislaufs, der die Verwertung von Bioabfall, die Zucht von essbaren Insekten und die Produktion von Futter- sowie Düngemitteln inkludiert, wird in der Publikation „A First Attempt to Produce Proteins from Insects by Means of a Circular Economy“ von Cappellozza et al. aus dem Jahr 2019 beschrieben. Dabei war das Forschungsziel der Studie, die notwendigen Parameter eines sich reproduzierenden Kreislaufs zu erfassen, die jeweiligen Potenziale aufzudecken und die Endprodukte bezüglich einer unbedenklichen Anwendung bei Menschen und Tieren zu testen. Der Kreislauf beginnt mit Bioabfall, welcher von Obst- sowie Gemüsehändlern stammt. Verwertet wird er, indem er an Larven der schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) verfüttert wird. Die darüber gewonnene Biomasse essbarer Insekten wird zu Nahrungs- und Futtermittel sowie zur industriellen Nutzung weiterverarbeitet. Dabei wird der Fettanteil der Biomasse extrahiert, wodurch Fischfutter und industriell nutzbare Fette in Form von Öl entstehen. Die übrige, proteinreiche Biomasse dient als Grundlage für Nahrungsmittel. Die während der Insektenzucht anfallenden Exkremente werden in dem Kreislauf als Futtermittel für Erdwürmer genutzt, die den Bioabfall wiederum zu düngerfähigem Kompost umwandeln. Während die Würmer wiederum als Futtermittel in der Fischzucht Verwendung findet, schließt der Kompost den Kreislauf als Grundlage für den Anbau von Obst- und Gemüsepflanzen.

Den Beginn des Projekts stellen die Eier der schwarzen Soldatenfliege. Diese wurden in der Natur gesammelt und anschließend in einem Labor unter bewährten Bedingungen (27 Grad Celsius, 50% Luftfeuchtigkeit, 16 konsequente Stunden Licht täglich) gehalten, bis die

Larven geschlüpft sind. Anschließend wurde eine Massenzucht gestartet, um ausreichend Individuen für die Erhebung repräsentativer Daten aufzuweisen. Eine Versuchsgruppe, die mit Bioabfall gefüttert wurde, wird dabei einer Kontrollgruppe gegenübergestellt, die eine bewährte Standardernährung erhielt. Dafür wurden weiterhin die aus dem Labor stammenden bewährten Zuchtbedingungen beibehalten. Dabei wurden die Insekten sowie ihre Abfallprodukte regelmäßig gewogen, die Abfälle zudem separiert. Sobald 40% der Larven das präpupale Stadium erreicht haben, wurden sowohl die Larven als auch ihre Abfallprodukte aus den Zuchtbehältern entfernt und gewogen, die Larven zudem mittels Gefrier-trocknen getötet und anschließend getrocknet, bis massekonstante Trockenmasse vorlag. Die Fettmasse wurde anschließend extrahiert. Die vorliegende Trocken- sowie Fettmasse wurde analysiert. Die Abfallprodukte der Insektenzucht wurden unter kontrollierten Bedingungen an Erdwürmer der Spezies *Eisenia fetida* verfüttert, welche zuvor ebenfalls in der Natur Norditaliens gesammelt und anschließend gewaschen sowie gewogen wurden. Herausgefunden wurde, dass die Larven beider Gruppen am Ende der Entwicklungsprozesse dasselbe Gewicht aufweisen, der Entwicklungsprozess unter Fütterung mit Bioabfällen jedoch mehr als doppelt so viel Zeit in Anspruch nimmt. Dabei ist anzumerken, dass die Larven 96% der Bioabfälle verwertet haben, während nur 46% der Standarddiät verwertet wurde. 217kg frische Fliegenlarven wurden zu 72kg getrockneter Biomasse verarbeitet. Daraus wurden fast 19kg Öl zur Verwendung als Futtermittel für Fische und knapp 53kg getrocknete Biomasse zur Verwendung als Nahrungsmittel gewonnen. Die Analysen zeigen auf, dass sich die getrocknete Biomasse als Nahrungsmittel für den Menschen sowie das extrahierte Öl als Nahrungsmittel in der Aquakultur eignet. Dabei waren keine signifikanten Unterschiede zu bewährten Ernährungsweisen in den Kontrollgruppen zu erkennen. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass die Abfallprodukte der Fliegenlarven günstige Futtermittel für Erdwürmer darstellen. Zudem eignet sich die Komposterde als Grundlage für Pflanzenwachstum, die als Produkt aus der Koproduktion von Fliegenlarven und Erdwürmer auf Basis einer Ernährung aus organischen Abfällen anfällt, besser im Vergleich mit weiteren Endprodukten basierend auf anderen Ernährungsweisen der Würmer. Die Zusammenfassung der Ergebnisse zeigt auf, dass Bioabfall, Insekten, Erdwürmer und Pflanzen in einem ökologisch nachhaltigen Wirtschaftskreislauf fungieren können, der sich größtenteils selbst versorgt und die nachhaltige Produktion von Nahrung, Futtermittel und industriell nutzbaren Ressourcen ermöglicht. Die Autoren verweisen jedoch ausdrücklich

auf die Notwendigkeit weiterer Forschung, um die Anwendbarkeit auf andere Insektenarten und Nutzungsmöglichkeiten sicherzustellen und eine Massentauglichkeit gewährleisten zu können (Cappelozza et al., 2019).

6 Diskussion

Die vorliegende Publikation wurde im Rahmen einer Prüfungsleistung als Abschlussarbeit zum Erreichen des akademischen Titels „Bachelor of Science“ im Studienfach Gesundheitswissenschaften verfasst. Daher lagen verschiedene Parameter vor, nach denen diese Arbeit verfasst werden musste. Einige dieser Parameter sowie Limitationen der Arbeit werden in der nachfolgenden kritischen Betrachtung aufgeführt. Dafür wird zunächst die Darstellung des thematischen Hintergrunds sowie die dafür aufgebrachte Recherchearbeit diskutiert. Anschließend erfolgt eine kritische Beurteilung der methodischen Vorgehensweise, welche zur Beantwortung der Forschungsfrage entwickelt wurde. Weiter werden die anhand der Methodik erhobenen Ergebnisse beurteilt und miteinander in Verbindung gesetzt sowie in Anbetracht der aufgestellten Forschungsfrage auf Aussagekraft geprüft. Abgeschlossen wird das Kapitel mit der Beantwortung der Forschungsfrage sowie mit Vorschlägen zu weiterem Forschungsbedarf seitens des Autors.

6.1 Diskussion der Arbeit zum Hintergrund

Die in Anhang 1 dargestellte Literaturrecherche dient als Maßstab für die Vorgehensweise, mit der die Arbeit zum Hintergrund dieses Werks durchgeführt wurde. Das Ziel der Recherche war, einen allgemeinen Überblick über Insekten als Nahrungsmittel für den Menschen zu schaffen sowie damit zusammenhängende Faktoren und den jeweils aktuellen Forschungsstand auszumachen. Dabei muss erwähnt werden, dass zahlreiche Publikationen aufgrund mangelnder Zugriffsrechte nicht in die Arbeit einbezogen werden konnten. Weiter ist nicht auszuschließen, dass für die Arbeit relevante Literatur durch die fehlende Systematik der Recherchearbeit übergangen wurde. Diese Limitation wurde dabei bestmöglich durch Verweise auf weiterführende und Primärliteratur in den jeweiligen Publikationen sowie in den Datenbanken der Recherche kompensiert, von einer ganzheitlichen Erfassung der publizierten Ergebnisse zu der untersuchten Thematik ist dennoch nicht auszugehen. Für die Bestimmung des aktuellen Forschungsstandes einiger Kapitel konnte daher lediglich auf einige wenige Publikationen zurückgegriffen werden. Das Minder an umfassenden Publikationen zu den jeweiligen Thematiken kann ursächlich für eine mögliche Unvollständigkeit der einzelnen Aspekte sein sowie bedingen, dass der dargestellte aktuelle Forschungsstand nicht dem „state of the art“ entspricht. Dennoch wurde ein für die wissenschaftliche Vorgehensweise dieser Arbeit ausreichend umfassender Überblick zu Insekten als Nahrungsmittel, den Bezugspunkten zur

konventionellen Landwirtschaft sowie den dafür notwendigen Aspekten geschaffen. Mitunter hätte eine umfassende Darstellung der ausgewählten Faktoren zur Bestimmung der jeweiligen Potenziale für konventionelle Nutztiere ebenso dargestellt werden können wie für essbare Insekten, um die methodische Vorgehensweise etwaiger Analyseprozesse sowie die gewonnenen Erkenntnisse besser miteinander vergleichen zu können. Darüber hinaus verweisen nahezu alle Autoren einbezogener Literatur auf die Notwendigkeit weiterführender Forschung, um die entdeckten Potenziale bestätigen und eine massentaugliche Umsetzung gewährleisten zu können. Erst dann sei eine valide Aussage bezüglich eines möglichen Mehrwerts von essbaren Insekten gegenüber Fleisch konventioneller Nutztiere zu treffen. So kann auch davon ausgegangen werden, dass der Forschungsgegenstand dieser Arbeit nur einen Forschungsbedarf von zahlreichen bedient. Daher sollte - unabhängig der Ergebnisse dieser Arbeit - keine unkritische Betrachtung der im Titel dieser Arbeit getroffenen Aussage geschlossen werden. Die vorliegende Arbeit lässt keinen eindeutigen Rückschluss auf das Potenzial essbarer Insekten als Alternative für den Konsum von Fleisch konventioneller Nutztiere in Deutschland zu.

6.2 Diskussion der methodischen Vorgehensweise

Die Forschungslage zu essbaren Insekten ist noch sehr jung. Teilweise liegen Pilotstudien vor, die spezifische Aspekte der Zucht essbarer Insekten erstmals untersuchen. Demnach besteht eine hohe Dichte an kürzlich erschienenen Publikationen zu diversen Aspekten essbarer Insekten. In Anbetracht der Forschungslücke zu dem Potenzial der ökonomischen Nachhaltigkeit essbarer Insekten seit der letzten entsprechenden Publikation im Jahr 2012 erweist sich eine Sichtung der seither erschienenen Publikationen zu verwandten Themen sinnvoll, um die Potenziale essbarer Insekten als nachhaltige Alternative zu Fleisch konventioneller Nutztiere darzustellen. Daher war eine systematische Literaturrecherche eigener Forschungsarbeit vorzuziehen. Diese wurde mithilfe von Suchbegriffen aufgestellt, die auf Basis der Hintergrundliteratur erstellt wurden. Bei Betrachtung der Begriffe ist ersichtlich, dass der Zusammenhang zwischen essbaren Insekten sowie dem Verzehr dieser und der ökologischen Nachhaltigkeit, dem Potenzial zur globalen Erwärmung sowie der Landwirtschaft als Grundlage für die Sichtung von Literatur gewählt wurde. Die dafür aufgestellten Suchbegriffe basieren auf den umfassendsten Aspekten, die im Zuge der Forschungsfrage relevant sind. Dies bedingt die hohen Trefferzahlen der Suchergebnisse in dem Suchportal Livivo, da dies neben den Lebenswissenschaften im Allgemeinen die Agrarwissenschaften im Speziellen bedient. Es muss also davon

ausgegangen werden, dass die breit gefassten Suchstrings auf Basis der sehr allgemeinen Suchbegriffe zahlreiche Publikationen in die Trefferzahlen einschlossen, die weder für die Beantwortung der Forschungsfrage relevant noch für den Kontext der Arbeit geeignet sind. Da zudem aufgrund der hohen Trefferzahlen eine beschränkte Sichtung der Artikel gewählt wurde, kann die Annahme getroffen werden, dass Publikationen ausgeschlossen wurden, die möglicherweise Relevanz in der Beantwortung der Forschungsfrage aufweisen. Daher ist die Aussagekraft des Fazits kritisch zu beurteilen. Da bei hohen Trefferzahlen jedoch die relevantesten 250 Ergebnisse gesichtet und auf Eignung für die Arbeit geprüft wurden, kann davon ausgegangen werden, dass eine repräsentative Anzahl an Publikationen gesichtet wurde. Weiter lassen die Ein- und Ausschlusskriterien zu, dass Fehlinterpretationen der Titel oder Abstracts zu einem Ausschluss der Publikation führen, obwohl eine potenzielle Relevanz besteht. Da jedoch sowohl Ein- als auch Ausschlusskriterien in der jeweiligen Reihenfolge auf die Ergebnisse angewandt wurden, wurden alle Publikationen doppelt geprüft. Dies diene speziell zur Vermeidung von Fehlinterpretationen. So kann insgesamt von einer validen Datenlage ausgegangen werden. Die Gesamtsumme der Ergebnisse lässt daher Rückschluss auf die Potenziale zu, die essbare Insekten in der ökologisch nachhaltigen Produktion von Nahrungsmitteln besitzen.

6.3 Kritische Beurteilung der Ergebnisse

Die vorliegenden Studien haben allesamt das Potenzial unterschiedlicher essbarer Insektenarten zur Verwertung von organischen Abfallprodukten als Lebensgrundlage untersucht. Zu den Arten der essbaren Insekten zählen die Mehlwürmer *Tenebrio molitor*, *Zophobas atratus* und *Alphitobius diaperinus*, die Fliegenarten *Musca domestica* sowie *Hermetia illucens*, Heimechen (*Acheta domesticus*), argentinische Schaben (*Blattella germanica*). Dabei war die schwarze Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) Gegenstand in vier Forschungsarbeiten und der gelbe Mehlwurm (*Tenebrio molitor*) in zweien, während alle Arten nur in jeweils einer vorliegenden Forschungsarbeit untersucht wurden. (Cappelozza et al., 2019; Hussein et al., 2017; Müller et al., 2017; Oonincx et al., 2015; Salomone et al., 2017; van Broekhoven et al., 2015). Bezüglich der Ernährung unterscheiden sie die Studien von der Lebenszyklusanalyse von Oonincx und de Boer (2012), welche in Kapitel 2.2 dieser Arbeit den Hintergrund der ökologischen Aspekte essbarer Insekten bildet. Die dabei untersuchten Mehlwürmer (*Tenebrio molitor*) wurden unter konventionellen Zuchtbedingungen gehalten (Oonincx & de Boer, 2012). Aus den

Ergebnissen berichten vier von sechs Studien über die Möglichkeit, Bioabfall als Futtermittel für Insekten zu verwenden, welcher als direktes Abfallprodukt in der Produktion von Nahrungsmitteln anfällt. Darunter sind Bierhefe, Treber, Brot- und Gebäcküberreste, Kartoffelschalen, Rübensirup, getrocknete Maiskörner und Obst- sowie Gemüsereste (Cappelozza et al., 2019; Oonincx et al., 2015; Salomone et al., 2017; van Broekhoven et al., 2015). Lediglich Hussein et al. (2017) untersuchten grundlegend anderen Bioabfall: Rindergülle als Hort für Larveneier sowie als Futtermittel für die Larven (Hussein et al., 2017). Müller et al. (2017) haben keine genaueren Angaben zur Art des in ihrer Studie verwendeten Bioabfalls gemacht (Müller et al., 2017).

Alle Studien belegen die Eignung von Bioabfall als Lebensgrundlage für essbare Insekten. Weiter stimmen die Ergebnisse der Studien in dem Potenzial überein, aus Bioabfall, essbaren Insekten und den aus ihnen gewonnenen Produkten einen ökologisch nachhaltigen Kreislauf zu kreieren (Cappelozza et al., 2019; Hussein et al., 2017; Müller et al., 2017; Oonincx et al., 2015; Salomone et al., 2017; van Broekhoven et al., 2015). Nicht jeder Bioabfall eignet sich als Futter. Eine Diät, die Gebäckreste enthielt, hat in der Studie von van Broekhoven et al. (2015) für eine Mortalität von 100% der untersuchten Mehlwurmart gesorgt. Eine nährstofflich vergleichbare Diät, in der die Stärkequelle Kartoffelschalen anstatt Gebäckreste darstellte, erzielte eine vergleichbar hohe Überlebensrate wie die Kontrolldiät (van Broekhoven et al., 2015). Darüber hinaus stimmen alle Studien, die verschiedene Diätkonstellationen untersucht haben, in der futtermittelbedingten Variabilität von Entwicklungsdauer, Massezuwachs, Futtermittelverwertung und Nährstoffkomposition überein (Cappelozza et al., 2019; Oonincx et al., 2015; van Broekhoven et al., 2015). Diese Erkenntnis wird durch die Arbeit von Kinyuru et al. (2015) gestützt (vgl. Kapitel 2.1.2).

Alle mit Bioabfall gefütterten Insekten können die nährstofflichen Qualitäten mitbringen, um als Futtermittel für konventionelle Nutztiere und/oder Nahrungsmittel für Menschen zu dienen. Dabei ist die nährstoffliche Qualität und damit die Eignung zur Weiterverarbeitung abhängig von der verabreichten Diät (Cappelozza et al., 2019; Hussein et al., 2017; Müller et al., 2017; Oonincx et al., 2015; Salomone et al., 2017; van Broekhoven et al., 2015).

Ausschließlich die von Salomone et al. (2017) durchgeführte Lebenszyklusanalyse von schwarzen Soldatenfliegen ermöglicht eine Beurteilung des Landverbrauchs sowie des Potenzials zur globalen Erwärmung. Im Vergleich zur konventionellen Herstellung essbaren Proteins aus Sojamehl zur Futtermittelproduktion sowie zur Gewinnung von Fettmasse aus Rapssamen zur

Biodiesilverarbeitung geht der Biomasseumwandlungsprozess vom Bioabfall über essbare Insekten bis hin zu essbarem Protein sowie verarbeitungsfähiger Fettmasse mit einem geringeren Potenzial zur globalen Erwärmung einher (Salomone et al., 2017). Die Lebenszyklusanalyse bezüglich Mehlwürmer von Oonincx und de Boer (2012) hat ebenfalls ein geringeres Potenzial zur globalen Erwärmung in der Produktion essbaren Proteins durch essbare Insekten als durch konventionelle Methoden aufgezeigt (vgl. Kapitel 2.2.2.3). In der Nutzung von Landfläche ist die Produktion der bereits genannten Ressourcen durch die Larven der *Hermetia illucens* um ein Vielfaches effizienter als konventionelle Methoden. Etwa 0,05m² jährlich werden für die Produktion eines Kilogramms essbaren Proteins verbraucht, während es für das Kilogramm Fettmasse 0,04m² jährlich bedarf (Salomone et al., 2017). Auch hier stimmen Oonincx und de Boer (2012) überein, geben für die Mehlwürmer mit 18m² pro Jahr jedoch einen deutlich höheren Landverbrauch für die Produktion pro kg essbaren Proteins an (vgl. Kapitel 2.2.2.1). Dies ist darauf zurückzuführen, dass in der Lebenszyklusanalyse von Oonincx und de Boer (2012) die Produktion von Futtermitteln für die Mehlwürmer mit einbezogen wird, welche über 99% der benötigten Fläche ausmacht (vgl. Kapitel 2.2.2.1).

Alle Experimente gingen mit einem hohen Bedarf an Energie zur Aufrechterhaltung der idealen klimatischen Zuchtbedingungen einher (Cappellozza et al., 2019; Hussein et al., 2017; Müller et al., 2017; Oonincx et al., 2015; Salomone et al., 2017; van Broekhoven et al., 2015). Vereinzelt ermöglichte die Konzipierung der Projekte geschlossene Kreisläufe benötigter Ressourcen. So konnten Müller et al. (2017) die benötigte Wärmeenergie zur Aufrechterhaltung der Zuchttemperatur sowie den Bedarf an elektrischer Energie durch die Biomasseumsetzung einer Biogasanlage beziehen, während die Abfallprodukte der Biomasseumsetzung der Insektenlarven zur Energiegewinnung in der Biogasanlage genutzt werden konnten (Müller et al., 2017). Einen ähnlichen Kreislauf konnten Salomone et al. (2017) kreieren. Um aus Bioabfall geeignetes Futter für die Larven herzustellen, musste der Großteil der Flüssigkeit entfernt werden. Diese Wassergewinnung konnte den Bedarf zur Aufrechterhaltung der Luftfeuchtigkeit decken sowie zur Kompostierung frischen Bioabfalls dienen, damit dieser wiederum geeignetes Futter für die Larven darstellen kann (Salomone et al., 2017). Hierbei ist auf die Wassereffizienz in der Zucht essbarer Insekten zu verweisen, wie sie Oonincx und de Boer (2012) nachweisen konnten. Auf Basis der vorliegenden Daten ist anzunehmen, dass die Produktion von essbaren Insekten als Nahrungsmittel ähnlich bis deutlich geringer im Wasserverbrauch ist als die Produktion von Fleisch konventioneller Nutztiere (vgl. Kapitel 2.2.2.2). Wird dieses

Wasser zudem innerhalb des Biomasseverwertungsprozesses wiederverwertet, könnte dies in einer noch höheren Effizienz verglichen mit der konventionellen Landwirtschaft resultieren. Einen weiteren nachhaltigen Biomassezyklus haben Cappelozza et al. (2019) entwickelt, indem sie Insektenlarven durch Obst- und Gemüseabfälle ernährt haben. Die Abfallprodukte der Larven wurden an Erdwürmer verfüttert, die diese organische Masse wiederum in Komposterde umgewandelt haben, welche günstige Eigenschaften als Mutterboden für den Anbau von Obst- und Gemüsepflanzen darstellt (Cappelozza et al., 2019). Auch Hussein et al. (2017) konstruierten aus der Zucht von Insekten einen Biomassekreislauf. So nutzten sie frische Rindergülle als Schlüpfhort für Fliegeneier sowie als Nahrung für deren Larven, um die getrockneten Larven anschließend zu Futtermittel für Rinder zu verarbeiten. Dabei wurde sowohl umweltbelastende Gülle zersetzt als auch unkonventionell hergestellte umweltbelastende Futtermittel für die Rinder eingespart (Hussein et al., 2017). Müller, Wolf und Gutzeit (2017) haben außerdem verschiedene bioaktive Substanzen der *Hermetia illucens* extrahieren können, die große Bedeutung in der Wirtschaft sowie Wissenschaft haben. So eignen sich Bestandteile der Larven als für die Produktion von Cellulose, Chitin und Lignin. Eine Produktion dieser organischen Verbindungen kann auf Basis der *Hermetia illucens* zumindest teilweise nachhaltig erfolgen. Weitere bioaktive Substanzen der *Hermetia illucens* eignen sich laut Müller, Wolf und Gutzeit (2017) in der Behandlung antibiotikaresistenter Bakterien. Mithilfe des Biomasseumwandlungsprozesses kann demnach ein ökologisch nachhaltiger Beitrag zur Medizin geleistet werden.

Die hohen ökologischen Potenziale der Zucht von essbaren Insekten sind in Anbetracht der vorliegenden Studien nicht außer Acht zu lassen. Die Projekte wurden in verschiedenen europäischen Ländern durchgeführt. Unterschiedliche essbare Insekten wurden untersucht. Dennoch zeigen die Ergebnisse allesamt einen hohen ökologischen Mehrwert in der Implementierung von essbaren Insekten in bestehende Biomassekreisläufe sowie in der Neustrukturierung einiger konventioneller Kreisläufe, die durch den Einsatz essbarer Insekten ökologisch nachhaltiger gestaltet werden könnten.

6.4 Beantwortung der Forschungsfrage

Angesichts der vorliegenden Studienlage lassen sich die in Kapitel 2.2 erwähnten ökologischen Vorteile essbarer Insekten gegenüber konventionellen Nutztieren bestätigen. Die Zucht von essbaren Insekten kann unter den richtigen Umständen eine hohe ökologische Nachhaltigkeit

aufweisen. Da die vorliegenden Ergebnisse allesamt auf Deutschland anwendbar sind, da sie in Ländern ohne besonders günstige Gegebenheiten für die Zucht essbarer Insekten erfolgreich durchgeführt wurden oder – wie im Fall von Müller et al. (2017) – bereits in Deutschland durchgeführt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass sich zahlreiche landwirtschaftliche sowie industrielle Prozesse durch die Eingliederung essbarer Insekten ökologisch nachhaltiger gestalten lassen. Keine der vorliegenden Arbeiten hat explizit die Zucht essbarer Insekten für den menschlichen Verzehr und die damit zusammenhängenden ökologischen Potenziale untersucht. Jedoch haben wurden in allen Studien essbare Insekten gezüchtet sowie hohe Potenziale zur ökologischen Nachhaltigkeit aufgewiesen.

Somit konnte die Forschungsfrage eindeutig beantwortet werden:

Die ökologische Nachhaltigkeit der Landwirtschaft in Deutschland kann durch den Verzehr essbarer Insekten anstelle von Fleisch konventioneller Nutztiere verbessert werden.

Um eine ökologisch nachhaltige Landwirtschaft mittels essbarer Insekten zu gestalten, bedarf es jedoch noch ausgiebiger Forschung bezüglich einer energieeffizienteren Zucht essbarer Insekten, Methoden zur Kreierung günstigerer Nährstoffkompositionen der essbaren Insekten sowie die Massentauglichkeit der Projektbedingungen.

7 Fazit

Essbare Insekten sind in großen Teilen der Erde ein häufig verzehrtes Nahrungsmittel. Sie kommen vor allem in weniger entwickelten Ländern als geschätztes Nahrungsmittel vor und werden von den industrialisierten Ländern Europas und Nordamerikas größtenteils abgelehnt. Sie gelten unter Bewohnern dieser Regionen als wegen Ekel und Angst abgestoßene Nahrungsmittel. Essbare Insekten erweisen sich jedoch als außerordentlich nahrhaft. So können sie aufgrund ihrer günstigen nährstofflichen Zusammensetzung als Nahrungsmittel für Menschen wie auch als Futtermittel für Tiere dienen. Zudem sind essbare Insekten aufgrund ihrer günstigen Futtermittelnutzung- wie auch hohen Reproduktionsrate außerordentlich effizient zu züchten. In Anbetracht des hohen Bedarfs einer nachhaltigeren und effizienteren Landwirtschaft zur Deckung des weltweiten Bedarfs an Nahrungsmitteln sowie zur Vermeidung einer weiteren globalen Erwärmung bieten sich Insekten als Bestandteil dieser Landwirtschaft an. In Deutschland anwendbare Methoden haben ökologisch nachhaltige Kreisläufe geschaffen, in denen organischer Abfall in Biomasse umgewandelt werden kann. Produkte solcher Biomasseumwandlungsprozesse waren vorrangig Nahrungs- sowie Futtermittel, jedoch auch Treibstoff wie Biodiesel oder Dünger für Biogasanlagen. Auch die Koproduktion mit weiteren Tieren kann in diese Kreisläufe integriert werden. Beispielsweise können Erdwürmer die Abfallprodukte der Insekten zu organischer Komposterde zersetzen oder Rinder die auf Larvenbasis bestehenden Futtermittel zu Gülle umwandeln, welche als Lebensgrundlage der Larven genutzt werden kann. Weitere Nebenprodukte solcher Kreisläufe können im Einzelfall Enzyme zur Herstellung organischer Verbindungen oder Aminosäuren zur Bekämpfung von Bakterienstämmen sein.

In Anbetracht der geringen Akzeptanz von essbaren Insekten als Nahrungsmittel werden die genannten Methoden in naher Zukunft vermutlich wenig Anwendung finden. Da sie sich jedoch zur Futtermittelproduktion eignen und ein großes Potenzial für eine ökologisch nachhaltige Landwirtschaft aufzeigen, ist eine Implementierung solcher Methoden in bestehende landwirtschaftliche Prozesse durchaus denkbar. Sollte sich die Konsumentenakzeptanz in Deutschland bezüglich essbarer Insekten positiv stimmen, kann zudem das volle Potenzial von essbaren Insekten ausgeschöpft werden. Da die beschriebenen Methoden zudem auf nahezu alle Regionen der Erde anwendbar sein müssten, kann eine weltweite Steigerung der Nachhaltigkeit in landwirtschaftlichen Prozessen durch eine Implementierung von essbaren Insekten erfolgen. Es ist durchaus denkbar, dass die ökologischen, wirtschaftlichen und

sozialen Herausforderungen in Bezug auf Nahrungsmittel und Umweltschutz durch den Einsatz essbarer Insekten bewältigt werden können. Daher besteht die Möglichkeit, in naher Zukunft Nahrungs- sowie Futtermittel auf Basis von essbaren Insekten in Deutschland vorzufinden.

Literaturverzeichnis

- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G., & Ricci, A. (2013). Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review: Insects in a food perspective.... *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *12*(3), 296–313.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12014>
- Booth, D. T., & Kiddell, K. (2007). Temperature and the energetics of development in the house cricket (*Acheta domesticus*). *Journal of Insect Physiology*, *53*(9), 950–953.
<https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2007.03.009>
- Caparros Megido, R., Gierts, C., Blecker, C., Brostaux, Y., Haubruge, É., Alabi, T., & Francis, F. (2016). Consumer acceptance of insect-based alternative meat products in Western countries. *Food Quality and Preference*, *52*, 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.05.004>
- Caparros Megido, R., Sablon, L., Geuens, M., Brostaux, Y., Alabi, T., Blecker, C., Francis, F. (2014). Edible Insects Acceptance by Belgian Consumers: Promising Attitude for Entomophagy Development: Could Belgian Consumers Accept Edible Insects? *Journal of Sensory Studies*, *29*(1), 14–20. <https://doi.org/10.1111/joss.12077>
- Cappellozza, S., Leonardi, M. G., Savoldelli, S., Carminati, D., Rizzolo, A., Cortellino, G., Tettamanti, G. (2019). A First Attempt to Produce Proteins from Insects by Means of a Circular Economy. *Animals*, *9*(5), 278. <https://doi.org/10.3390/ani9050278>
- Charlton, A. J., Dickinson, M., Wakefield, M. E., Fitches, E., Kenis, M., Han, R., Smith, R. (2015). Exploring the chemical safety of fly larvae as a source of protein for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, *1*(1), 7–16. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0020>
- de Gier, S., & Verhoeckx, K. (2018). Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology*, *100*, 82–106. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.015>

- EFSA, E. F. S. A. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10), 4257. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4257>
- EUR-Lex. Verordnung (EU) 2015/2283 des Europäischen Parlaments und des Rates. Pub. L. No. 32015R2283, 327 OJ L (2015).
- Fiebelkorn, F. (2017). Insekten als Nahrungsmittel der Zukunft: Entomophagie. *Biologie in unserer Zeit*, 47(2), 104–110. <https://doi.org/10.1002/biuz.201710617>
- Gerber, P. J., & FAO (Hrsg.). (2013). *Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ghosh, S., Lee, S.-M., Jung, C., & Meyer-Rochow, V. B. (2017). Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(2), 686–694. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.04.003>
- Halloran, A., Hanboonsong, Y., Roos, N., & Bruun, S. (2017). Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 156, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.017>
- Hanboonsong, Y., Jamjanya, T., & Durst, P. (2013). *Six-legged livestock: Edible insect farming, collection and marketing in Thailand*. Bangkok, Thailand: FAO Selbstverlag.
- House, J. (2016). Consumer acceptance of insect-based foods in the Netherlands: Academic and commercial implications. *Appetite*, 107, 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.07.023>
- Hussein, M., Pillai, V. V., Goddard, J. M., Park, H. G., Kothapalli, K. S., Ross, D. A., ... Selvaraj, V. (2017). Sustainable production of housefly (*Musca domestica*) larvae as a protein-rich feed ingredient by utilizing cattle manure. *PLOS ONE*, 12(2), e0171708. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171708>

- Hwangbo, J., Hong, E. C., Jang, A., Kang, H. K., Oh, J. S., Kim, B. W., & Park, B. S. (2009). Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens. *Journal of Environmental Biology*, 30(4), 609–614.
- Jansson, A., & Berggren, A. (2015). *Insects as food—Something for the future?* Abgerufen von <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-e-3161>
- Johnson, D. V. (2010). The contribution of edible forest insects to human nutrition and to forest management: Current status and future potential. In P. B. Durst, D. V. Johnson, R. N. Leslie, & K. Shono, *Forest insects as food: Humans bite back* (S. 5–22). Bangkok: FAO Selbstverlag.
- Jongema, Y. (2017). *List of edible insects of the world*. Abgerufen von <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>
- Kinyuru, J. N., Mogendi, J. B., Riwa, C. A., & Ndung'u, N. W. (2015). Edible insects—A novel source of essential nutrients for human diet: Learning from traditional knowledge. *Animal Frontiers*, 5(2), 14–19. <https://doi.org/10.2527/af.2015-0014>
- Kouřimská, L., & Adámková, A. (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*, 4, 22–26. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.07.001>
- Looy, H., Dunkel, F. V., & Wood, J. R. (2014). How then shall we eat? Insect-eating attitudes and sustainable foodways. *Agriculture and Human Values*, 31(1), 131–141. <https://doi.org/10.1007/s10460-013-9450-x>
- Meixner, O., & Mörl von Pfalzen, L. (2018). *Die Akzeptanz von Insekten in der Ernährung: Eine Studie zur Vermarktung von Insekten als Lebensmittel aus Konsumentensicht*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). *The green, blue and grey water footprint of animals and animal products* (Nr. 48). Delft: UNESCO-IHE.

- Miglietta, P., De Leo, F., Ruberti, M., & Massari, S. (2015). Mealworms for Food: A Water Footprint Perspective. *Water*, 7(11), 6190–6203. <https://doi.org/10.3390/w7116190>
- Müller, A., Wolf, D., & Gutzeit, H. O. (2017). The black soldier fly, *Hermetia illucens* – a promising source for sustainable production of proteins, lipids and bioactive substances. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 72(9–10), 351–363. <https://doi.org/10.1515/znc-2017-0030>
- Oonincx, D. G. A. B., & de Boer, I. J. M. (2012). Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. *PLoS ONE*, 7(12), e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>
- Oonincx, D. G. A. B., van Broekhoven, S., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. *PLOS ONE*, 10(12), e0144601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>
- Oonincx, D. G. A. B., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J. W., van den Brand, H., van Loon, J. J. A., & van Huis, A. (2010). An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. *PLoS ONE*, 5(12), e14445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445>
- Poma, G., Cuykx, M., Amato, E., Calaprice, C., Focant, J. F., & Covaci, A. (2017). Evaluation of hazardous chemicals in edible insects and insect-based food intended for human consumption. *Food and Chemical Toxicology*, 100, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.12.006>
- Premalatha, M., Abbasi, T., Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2011). Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4357–4360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.115>
- Ramos-Elorduy, J. (2009). Anthro-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability. *Entomological Research*, 39(5), 271–288. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2009.00238.x>

- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013a). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(5), 802–823. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013b). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>
- Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S., & Savastano, D. (2017). Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. *Journal of Cleaner Production*, 140, 890–905. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.154>
- Schabel, H. G. (2010). Forest insects as food: A global review. In *Forest insects as food: Humans bite back* (S. 37–64). Bangkok: FAO Selbstverlag.
- Shelomi, M. (2015). Why we still don't eat insects: Assessing entomophagy promotion through a diffusion of innovations framework. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.06.008>
- Smetana, S., Palanisamy, M., Mathys, A., & Heinz, V. (2016). Sustainability of insect use for feed and food: Life Cycle Assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*, 137, 741–751. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.148>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Castel, V., Rosales M., M., & Haan, C. de. (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- van Broekhoven, S., Oonincx, D. G. A. B., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera:

- Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology*, 73, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.12.005>
- van Huis, A. (2013). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- van Huis, A., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2015). Insects to feed the world. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(1), 3–5. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.x002>
- van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). *Edible insects: Future prospects for food and feed security*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Vantomme, P., & Halloran, A. (2013). *The contribution of insects to food security, livelihoods and the environment*. Rom: FAO Selbstverlag.
- Veldkamp, T., Duinkerken, G. van, Huis, A. van, Lakemond, C. M. M., Ottevanger, E., Bosch, G., & Boekel, T. van. (2012). *Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets: A feasibility study* (Nr. 638). Abgerufen von Wageningen UR Livestock Research website: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/428703>
- Verbeke, W. (2015). Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society. *Food Quality and Preference*, 39, 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.07.008>
- Zielińska, E., Baraniak, B., Karaś, M., Rybczyńska, K., & Jakubczyk, A. (2015). Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*, 77, 460–466. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.008>

Eidesstattliche Erklärung zur Arbeit

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Ausarbeitung in vollem Umfang selbstständig erarbeitet und verfasst habe. Alle herangezogenen und wiedergegebenen Quellen sind durch Quellenangaben gekennzeichnet.

Hamburg, den 09. September 2019

Till Horak

Anhang

Anhang 1: Literaturrecherche Hintergrund

Anhang 2: Tabellarische Darstellung der Rechercheergebnisse sowie Selektion in PubMed

Anhang 3: Tabellarische Darstellung der Rechercheergebnisse sowie Selektion in Livivo

Anhang 1: Literaturrecherche Hintergrund

Zur Einarbeitung in das Thema „Entomophagie, essbare Insekten und Insekten als Nahrungsmittel“, welches den Hintergrund dieser Arbeit darstellt, wurde in den Datenbanken PubMed und BASE nach geeigneter Literatur gesucht. Um den aktuellen Forschungsstand zu essbaren Insekten und all den damit zusammenhängenden Aspekten zu erfassen, wurde im August 2019 eine umfassende unsystematische Literaturrecherche durchgeführt. Als Suchbegriffe wurden „entomophagy“ und „edible insects“ definiert. Diese werden mittels des Booleschen Operatoren OR zusammengefügt, sodass zu beiden Suchbegriffen Publikationen gefunden werden. Außerdem wird bei „edible insects“ eine Wildcard verwendet, damit die beiden Wörter einen fixen Suchbegriff bilden. Da die Entomophagie die Praxis des Verzehens von Insekten bezeichnet, der Begriff „essbare Insekten“ aber sehr allgemein die Insekten bezeichnet, die verzehrt werden können, soll mithilfe dieser Suchstrategie ein möglichst umfassendes Bild zum Hintergrund der Thematik entstehen. Aus den Suchbegriffen ergibt sich letztlich folgender Suchstring: (entomophagy OR „edible insects“)

Dieser wurde in der medizinischen Datenbank PubMed sowie in der Suchmaschine der Universität Bielefeld BASE verwendet. Es erfolgte eine Sortierung nach dem Publikationsdatum (absteigend), sodass die aktuellsten Publikationen vorrangig betrachtet wurden. Darauf aufbauend wurden bei hohen Trefferzahlen lediglich Ergebnisse der vergangenen zehn Jahre gesichtet. Diese wurden anhand ihrer Titel und Abstracts auf eine Eignung für die vorliegende Arbeit geprüft. Nachfolgend ist die Ergebnisauslese für beide Datenbanken dargestellt.

PubMed:

- (entomophagy OR „edible insects“): 190 Treffer; 7 für die Arbeit relevanten Ergebnisse

BASE:

- (entomophagy OR „edible insects“): 1.529 Treffer; davon 856 Textdokumente; 544 Treffer in englischer sowie deutscher Sprache erschienen seit 2009.; 26 weitere relevante Ergebnisse

Für die Erfassung des Forschungsstandes wurde sowohl Primär- als auch Sekundärliteratur verwendet. Die aus der Recherche hervorgehenden 33 Publikationen wurden bereits während des Screenings auf weitere geeignete Primärliteratur durchsucht. Das darauffolgende Schneeballsystem vervollständigte die Recherche. So konnten umfassende Daten und Erkenntnisse zu der Darstellung der Hintergrundthematik beigetragen werden.

Aufgrund der unsystematischen Struktur der Recherche kann weder ausgeschlossen werden, dass alle existierenden Publikationen zu der gewählten Thematik in die Arbeit einbezogen sind, noch kann von einer absoluten Validität einzelner Erkenntnisse ausgegangen werden, da diese oftmals auf nur einer vorliegenden Quelle beruhen.

Der für diese Arbeit notwendige Hintergrund wurde jedoch bestmöglich dargestellt, sodass insgesamt von einer Richtigkeit der vorgestellten Tatsachen ausgegangen werden kann. Dem Autoren ist dabei bewusst, dass unter Umständen aktuellere, spezifischere oder widersprüchliche Ergebnisse nicht einbezogener Publikationen existieren, die den aktuellen Forschungsstand erweitern würden.

Anhang 2: Darstellung der Recherche- sowie Analyseergebnisse in PubMed

Tabelle 5: Suchergebnisse unterschiedlicher Suchstrings sowie Selektion nach entsprechenden Ausschlussparametern und Anzahl geeigneter Literatur in PubMed

Suchstring	Treffer insgesamt	Erschienen seit 2012	Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien			Unrelevante Treffer insgesamt	Quelle bereits verwendet	Dopplung intern	Kein Zugriff	In Ergebnisse einbezogen
			Titelscreening negativ	Abstractscreening negativ	Fulltextscreening negativ					
a	10	10	3	4	0	7	0	0	2	1
b	2	2	0	1	0	1	1	0	0	0
c	35	34	23	6	0	29	1	2	0	2

Anhang 3: Darstellung der Recherche- sowie Analyseergebnisse in Livivo

Tabelle 6: Suchergebnisse unterschiedlicher Suchstrings sowie Selektion nach entsprechenden Ausschlussparametern und Anzahl geeigneter Literatur in Livivo

Suchstring	Treffer insgesamt	Erschienen seit 2012	In den Screeningprozess einbezogen	Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien			Unrelevante Treffer insgesamt	Quelle bereits verwendet	Dopplung intern	Kein Zugriff	In Ergebnisse einbezogen
				Titelscreening negativ	Abstractscreening negativ	Fulltextscreening negativ					
a	2031	966	250	146	51	5	202	1	39	3	2
b	186	102	102	60	27	2	89	7	5	1	0
c	6081	2055	250	148	38	4	190	3	54	2	1