

Aus dem Institut für Tierernährung und funktionelle Pflanzenstoffe der

Veterinärmedizinischen Universität Wien

(Leitung durch Univ.-Prof. Dr.sc.agr. Qendrim Zebeli)

Potenziale und Herausforderungen von insektenbasiertem Hundefutter
am Beispiel der Verfütterung an Hunde mit Futtermittelallergie – eine
Literaturstudie

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

Vorgelegt von
Antonia Sophie Kolb
Wien, im März 2022

BetreuerIn:
Dr. Annegret Lucke

BetreuerIn:
Univ.-Prof. Dr.sc.agr. Qendrim Zebeli

GutachterIn:
Dr.rer.nat. Dr.scient.med. Priv.-Doz. Isabella Pali- Schöll

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung	5
1.1 Forschungsfrage	5
2. Insektennahrung	6
2.1 Insekten als Futtermittel	6
2.2 Umwelttechnische Aspekte der Insektenproduktion	7
2.3 Nährstoffgehalt Insektennahrung	8
Tabelle 2.3.1	9
Tabelle 2.3.2	10
Tabelle 2.3.3	10
Tabelle 2.3.4	11
Tabelle 2.3.5	11
3. Insektenproduktion	12
3.1 Entnahme aus der Wildnis	12
3.2 Industrielle Produktion	12
3.3 Gesetzliche Grundlagen der Insektenproduktion als Futtermittel	12
3.4 Fütterung der Zuchtinsekten	13
3.4 Tötung der Insekten	14
4. Vergleich der Umweltauswirkungen von Insekten mit anderen Nutztieren.....	16
4.1 Land und Wasser	16
4.2 Treibhausgasemissionen	17
4.3 Futtermittelverwertungseffizienz und Aufbereitung von Protein	18
5. Risiken der Insektenproduktion als Futtermittel	19
6. Allergie	21
6.1 Allgemeine physische Mechanismen	21
6.2 Ernährungsphysiologische Ansprüche bei Hunden	21
6.3 Futtermittelallergien bei Hunden	22
7. Thesenbildung	25
8. Systematisches Literaturreview	26
8.1 Methoden	26
8.1.1 Suchverfahren	26
8.1.2 Suchbegriffe	26

8.1.3 Studienselektion	26
8.2 Ergebnisse.....	26
8.3 Tabellarischer Überblick der Studien	32
8.3.1 Tabelle 1: Studien von Lei et al. (2019) und Freel et al. (2021)	32
8.3.2 Tabelle 2: Studien von Kröger et al. (2020) und Meyer et al. (2019)	35
8.3.3 Tabelle 3: Studien von Bosch et al. (2016) und Bosch et al. (2014).....	37
8.3.4 Tabelle 4: Studien von Bajuk et al. (2021) und Böhm et al. (2018).....	40
8.4 Allgemeine Diskussion der Ergebnisse	42
9. Evaluation der Thesen	45
10. Veterinärmedizinischer Kontext.....	46
11. Wissenschaftliches Fazit.....	47
12. Zusammenfassung	48
13. Summary.....	49
14. Eidesstattliche Erklärung:.....	50
15. Literaturverzeichnis:	51
15.1 Rechtstexte:	63

1. Einleitung

Futtermittelallergien werden bei Hunden als dritthäufigste Auslöser einer allergischen Hauterkrankung beschrieben (Verlinden et al. 2006). Die Erkrankung der Haut zählt mit Störungen des Gastrointestinaltraktes zu den offensichtlichsten Symptomen einer Futtermittelunverträglichkeit beim Hund (Sarker et al. 2015, Inoue und Shimojo 2015, Verlinden et al. 2006). Da der Nachweis einer Futtermittelallergie bei Hunden jedoch sehr aufwendig ist und viele Besitzer sich dem Zusammenhang zwischen einer Futtermittelunverträglichkeit und einer Hautentzündung nicht bewusst sind, ist die Anzahl der erkrankten Hunde wohl stark unterdiagnostiziert. In den USA berichtete Chesney im Jahr 2001 auf Basis einer Literaturstudie von einer bis dato unvermutet hohen Prävalenz von 17 % der an einer Futtermittelunverträglichkeit leidenden Hunde (Chesney 2001).

Futtermittelunverträglichkeiten sind zum Beispiel bei 12 % der an atopischer Dermatitis erkrankten Hunde nachgewiesen und können auch zu Infektionen der Augen und Ohren der Tiere führen (Proverbio et al. 2010, Sarker et al. 2015).

Im Rahmen der Fütterung dieser Hunde, stellt sich die Frage, welche Proteinquelle bei nahrungsmittelsensiblen Tieren als Futtermittel in Frage kommt. Bereits bekannt ist, dass verschiedene Fütterungsarten wie beispielsweise die biologisch artgerechte Rohfütterung oder die Fütterung hydrolisierter Proteinquellen der Ausprägung allergischer Reaktionen bei Hunden vorbeugen können (Kölle und Schmidt 2015, Cave 2006).

In den letzten Jahren, hat eine Fütterung mit auf Insektenprotein basierendem Hundefutter auch im Aspekt der Nachhaltigkeit immer mehr Aufmerksamkeit erlangt. Insekten werden dabei häufig als umweltfreundlichere und ökologisch besser vertretbare Proteinquelle im Vergleich zur konventionellen Hundefütterung mit Fleischnahrung benannt (van Huis 2013).

1.1 Forschungsfrage

In dieser Arbeit soll mit Hilfe einer Literaturrecherche herausgearbeitet werden, ob Insekten als Futtermittel für Hunde eine zukunftsfähige und adäquate Nährstoffquelle darstellen und ob sie ein Potenzial in der guten Verträglichkeit durch futtermittelallergische Hunde besitzen.

2. Insektennahrung

Bei Insekten handelt es sich um eine Klasse von Tieren innerhalb der Gruppe der Gliederfüßer, der sogenannten Anthropoden (Ortega-Hernández 2016). Insekten weisen ein chitinartiges Exoskelett, einen dreiteiligen Körper – bestehend aus Körper, Thorax und Abdomen –, drei Paar gelenkige Beine, Facettenaugen und zwei Fühler auf. Insekten sind eine der vielfältigsten Tiergruppen auf dem Planeten. Bisher wurden mehr als eine Million Arten beschrieben, was mehr als der Hälfte der bekannten lebenden Organismen entspricht. Die Gesamtzahl der Insektenarten wird auf sechs bis zehn Millionen geschätzt. Die Klasse der Insekten repräsentiert potenziell über 90 % der tierischen Lebensformen auf dem hiesigen Planeten. Auch können Insekten in fast allen Umgebungen gefunden werden (Ruppert et al. 2004).

2.1 Insekten als Futtermittel

Insekten weisen viele Eigenschaften auf, welche sie dafür qualifizieren, als Futtermittel für Haustiere zu fungieren. Beispielsweise sind Insekten aufgrund ihres Exoskeletts relativ robust und bedürfen nicht der Pflege durch die Elterngeneration. Ihre Atemsysteme sind an unterschiedliche geographische und klimatische Bedingungen angepasst, weshalb sie tolerant hinsichtlich möglicher Schwankungen des Luftdrucks sind. Darüber hinaus reproduzieren sich Insekten schnell und weisen eine kurze Generationszeit auf (van Huis 2013). Insgesamt benötigen Insekten weniger Ressourcen und emittieren geringere Treibhausgase als für die Nahrungsmittelproduktion gezüchtete Nutztiere (Oonincx und de Boer 2012). Oonincx und de Boer (2012) beschreiben die Produktion von Insekten potenziell als weniger ressourcenintensiv als die diejenige von Rindern, Hühnern und Schweinen zur Milch- und Fleischproduktion (Oonincx und de Boer 2012). Manche Insektenarten weisen zusätzlich eine höhere Nährstoffkonversionseffizienz auf als Rinder, sofern die verfütterte Nahrung hochwertig ist (DeFoliart 1996).

Ebenfalls bedeutsam ist die Tatsache, dass manche Insekten von Abfällen ernährt werden und damit potenziell zur Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft beitragen können (Salomone et al. 2016). Demnach können Insekten als ‚Nährstoffumwandler‘ dienen, welche nicht verzehrbare organische Materie in verwertbare Lebens- oder Futtermittel transformieren. Beispielsweise lässt sich Bioabfall und Schweine-, Hühner- sowie Rindergülle an die Schwarze Soldatenfliege verfüttern (Sheppard et al. 1994). Auch werden jährlich laut der Food and Agricultural Organization der United Nations (FAO) fast 27% aller landwirtschaftlichen Produkte entsorgt, was weltweit etwa 1,6 Milliarden Tonnen Abfall entspricht (FAO 2013). Wenn diese Abfälle als Insektenfutter verwendet würden, fände auch keine weitere Konkurrenz um für den menschlichen Verzehr genutzte Ressourcen statt (van Huis 2013). Die wahrscheinlich bekannteste Art zur Verwertung von Abfallströmen ist momentan die Schwarze Soldatenfliege (Newton et al. 2005, Oonincx et al. 2015). Neben der Verwertung von Gülle kann sie zusätzlich Bakterien wie *Escherichia coli* oder *Salmonella enterica* abtöten (Erickson et al. 2004).

Eine Gefahr bei einer derartigen Fütterungsstrategie sind jedoch mögliche Kontaminationen der Larven durch Pathogene. Das kann zum Absterben von Larven oder zur Futterverweigerung führen (Erickson et al. 2004). Eine weitere Limitation ist dabei, dass die Entwicklungszeit der Larven im Rahmen einer solchen Fütterungsform erheblich länger ausfällt als im Fall

einer regulären Fütterungsstrategie (Oonincx et al. 2015). Auch hängt die Wahl der verwendeten Substrate von gesetzlichen Rahmenbedingungen ab. So ist zum Beispiel in der Europäischen Union die Verwendung von organischen Nebenprodukten wie Speiseabfälle und Gülle verboten. Fraglich ist weiterhin, wie sich solche Fütterungsmethoden auf den Nährstoffgehalt der Insekten auswirken.

Entscheidend ist jedoch, ob die gesamte Ökobilanz von Insekten als Futtermittel vorteilhafter ist als die von Nutztieren und ob die Verfügbarkeit einer ausreichend großen Menge in hoher Standardqualität gegeben ist (Marone et al. 2016).

Das Marktpotential für Insekten scheint jedoch vorhanden zu sein, so wuchs der Futtermittelmarkt zwischen 2011 und 2015 um 14% und damit auf insgesamt 464 Millionen Tonnen für Geflügel, 254 Millionen Tonnen für Schweine, 35 Millionen Tonnen für Zuchtfische und 23 Millionen Tonnen für Heimtiere (Alltech 2016).

Insektennahrung stellt möglicherweise eine zukunftsfähige Strategie dar, um einerseits die negativen ökologischen Folgen der industriellen Viehhaltung zu umgehen und andererseits eine adäquate Nährstoffversorgung von Menschen und Tieren zu gewährleisten. Dazu ist es jedoch von Bedeutung, Herstellungsprozess, gesetzliche Grundlagen sowie umwelttechnische Gesichtspunkte dieser Futtermittelalternative zu prüfen.

2.2 Umwelttechnische Aspekte der Insektenproduktion

Durch die stetig wachsende Weltbevölkerung, die zunehmende Konsumnachfrage sowie die begrenzte Verfügbarkeit landwirtschaftlicher Fläche hat sich die dringende Notwendigkeit herauskristallisiert, Alternativen zur momentan vorherrschenden konventionellen Fleischproduktion und Tierernährung zu finden (van Huis et al. 2013). Bis 2050 wird ein Anstieg des Konsums von tierischen Produkten um 60-70 % erwartet (FAO 2011). Diese Steigerung des Verbrauchs wird enorme Ressourcen beanspruchen, wobei nicht nur das Futter der Nutztiere eine große Herausforderung darstellt. Die Haltung von Nutztieren dient als großer Faktor des anthropogen getriebenen Klimawandels (Herrero et al. 2015). So weisen Herrero et al. (2015) auf die umweltschädigenden Folgen der industriellen Viehzucht hin, welche durch hohen Ammoniumertrag und Treibhausgasemission sowie die zunehmende Abholzung für Futtermittelanbau und Weideflächen zu einer Vielzahl von umweltbelastenden Faktoren beiträgt. Durch die oftmals damit einhergehende Wasserverschmutzung, Bodenerosion und Desertifikation findet zudem ein Verlust der pflanzlichen und tierischen Biodiversität statt (Herrero et al. 2015).

Um dieser, durch die konventionelle Fleischproduktion, bewirkten Beschleunigung des Klimawandels entgegenzuwirken, sind laut Sachs et al. (2010) nachhaltige Ernährungsweisen und alternative Produktionsmethoden notwendig, wie zum Beispiel ein reduzierter Fleischkonsum oder die Verwendung alternativer Proteinquellen (Sachs et al. 2010).

Auch die Kosten für bisher weitreichend genutzte Futtermittel wie Sojamehl und Fischmehl steigen weiter an, treten dadurch in unmittelbare Konkurrenz zu ihrer Nutzung als Nahrungsmittel und gehen mit kritisch zu bewertenden Belastungen der Umwelt einher (Makkar et al. 2014).

Die Nutzung von Insekten als Tierfuttermittel könnte als umweltfreundlichere Proteinalternative ein Lösungsansatz sein um der weiteren Beförderung des Klimawandels entgegen zu wirken (Makkar et al. 2014).

2.3 Nährstoffgehalt Insektennahrung

Betrachtet man verschiedene Insektenordnungen, so sind die Hauptbestandteile der Insekten Rohprotein (Rp) und Rohfett (Rfe), gefolgt von Rohfaser (Rfa), Stickstofffreiem Extraktstoffe (NfE) und Rohasche (Rumpold et al. 2013). Essbare Insekten sind im Allgemeinen reich an Proteinen, allerdings variiert der Proteingehalt je nach Insektenspezies und ist zudem abhängig von der jeweiligen Fütterung sowie dem jeweiligen Metamorphose Stadium (de Castro et al. 2018). Adulte Insekten haben somit meist einen höheren Rp-Gehalt als Insekten im Nymphenstadium, während der Rfe-Gehalt im Larvenstadium sein Maximum erreicht (Rumpold et al. 2013). Darüber hinaus liegen saisonbedingte Varianzen vor (Kourimska und Adamkova 2016). Durch die oben genannten Hauptbestandteile der Insekten, ist auch ihr Energiegehalt sehr hoch, mit über 20 MJ/kg TM, bei circa 80 % der essbaren Insektenarten.

Betrachtet man die durchschnittlichen Rp-Gehalte essbarer Insekten, so liegen diese zwischen circa 35 % für Isoptera (Termiten) und circa 60 % für Orthoptera (Grillen, Heuschrecken) (Rumpold et al. 2013).

Die Nährstoffqualität des Insektenproteins ist im Vergleich zu Kasein und Sojaprotein vielversprechend, variiert aber und kann durch die Entfernung des Chitins verbessert werden. Chitin, die Hauptkomponente des Exoskeletts der Insekten, ist ein Langketten Polymer von N-Acetyl Glukosaminen, einem Derivat der Glukose. Techniken zur Reduzierung des Chitinanteils im Insektenmehl und zur Verbesserung des Insektenproteins, sollten optimiert werden. In Anbetracht der Tatsache, dass die meisten Insektenarten ungefähr die gleiche Menge an Chitin enthalten sollten diese Techniken artspezifisch und vielleicht auch stadienspezifisch sein (Finke 2007).

Insgesamt ist der Rp-Gehalt von Insekten höher als der von Sojabohnenmehl und etwas niedriger als der von Fisch- und Geflügelmehl, siehe auch Tabelle 2.3.2 (Belluco et al. 2013). Darüber hinaus versorgen die meisten essbaren Insekten zufriedenstellend mit den benötigten essentiellen Aminosäuren. Bei der Bewertung der Proteinqualität verschiedener Insektenmehle wurde festgestellt, dass die Proteine der untersuchten Grillenmehle dem Sojaprotein als Aminosäurequelle gleichwertig oder überlegen waren (Rumpold et al. 2013).

Im Vergleich zu Sojabohnen Protein, ist Insektenprotein generell jedoch niedriger im Arginin und Cystein Gehalt und reicher an Methionin und Tyrosin, siehe Tabelle 2.3.3. Eine einseitige Insektenernährung birgt somit die Gefahr, Nährstoffinsuffizienzen mit sich zu bringen, da die Konzentration bestimmter essenzieller Aminosäuren bisweilen relativ gering ist. Gelbe Mehlwurm Larven sind insgesamt besonders reich an essentiellen Aminosäuren.

Fett stellt den zweitgrößten Anteil an der Nährstoffzusammensetzung von essbaren Insekten dar. Die durchschnittlichen Fettgehalte pro Ordnung reichen von circa 13 % bei den proteinreichen Orthoptera (Grashüpfer, Grillen, Heuschrecken) bis zu ungefähr 33 % bei den Coleoptera (Käfer, Engerlinge) (Rumpold et al. 2013). Insgesamt lassen sich Insekten aufgrund des hohen Fettgehalts damit als hochkalorisches Nahrungsmittel klassifizieren (Rumpold und Schlüter 2013).

Insekten mit hohem Fettgehalt könnten potenziell in die Entwicklung von Insektenfutterprotein einbezogen werden, da Entfettungstechniken entwickelt wurden und das Fett zum Beispiel für die Biodieselproduktion weiterverwendet werden könnte (Wang et al. 2013).

Der Fettgehalt variiert auch zwischen den Entwicklungsstadien und ist im Allgemeinen im Larven- und Puppenstadium höher als im Erwachsenenstadium (Rumpold et al. 2013).

Weiterhin beinhalten Insekten Mengenelemente wie Calcium, Phosphor, Kalium und Magnesium sowie Spurenelemente wie Eisen, Kupfer, Mangan und Zink. Für einen Überblick des Mineralstoffgehalts von Larven der Schwarzen Soldatenfliege siehe auch Tabelle 2.3.4 und Tabelle 2.3.5.

Ferner enthalten sie fett- und wasserlösliche Vitamine wie beispielsweise Vitamin A und Vitamin C, wobei die Konzentrationen zwischen unterschiedlichen Arten stark schwanken (Kourimska und Adamkova 2016). In mehreren Arten findet sich beispielsweise keinerlei Biotin oder Folsäure, in anderen kein Vitamin C (Rumpold und Schlüter 2013).

In einem Alleinfuttermittel müssten folglich diese Nährstoffe substituiert werden, um langfristig den Bedarf von Hunden ausreichend zu decken. Phosphor hingegen ist bei den meisten Spezies ausreichend angereichert. Die Eisenversorgung ist abhängig von der jeweiligen Bioverfügbarkeit, wobei Grillen den höchsten Eisengehalt aufweisen..

Hinsichtlich der allgemeinen Verträglichkeit von Insekten lässt sich darauf verweisen, dass Insekten potenziell mit Allergenen sowie Pathogenen belastet sein können (Rumpold et al. 2013). Darüber hinaus enthalten Insekten mutmaßlich Pestizide sowie Schwermetalle aus dem sie umgebenden Ökosystem (Kourimska und Adamkova 2016). Zudem weisen Böhm et al. (2018) darauf hin, dass manche Insektenarten zur Toxinproduktion in der Lage sind und auch durch ihren hohen Fettgehalt sowie eine mögliche mikrobielle Besiedelung eine etwaig erhöhte Verderbsanfälligkeit aufweisen (Böhm et al. 2018).

Tabelle 2.3.1 Rohnährstoffzusammensetzung und der Energiegehalt von Larven der Schwarzen Soldatenfliege anhand eines Übersichtartikels von Makkar et al. (2014)

Parameter	Zusammensetzung
Rohprotein (% der TM)	42,1
Rohfaser (% der TM)	7
Rohfett (% der TM)	26
Rohasche (% der TM)	20,6
Bruttoenergiegehalt (MJ/kg TM)	22,1

TM = Trockenmasse

Tabelle 2.3.2 Ein Vergleich der Rohnährstoffzusammensetzung (% der Trockenmasse) sowie der Zusammensetzung essenzieller Aminosäuren (% des Gesamtproteingehalts) von Larven und Puppen der Schwarzen Soldatenfliege mit Geflügelfleischmehl anhand einer Studie von Bosch et al. (2014)

Parameter:	Larven	Puppen	Geflügelfleischmehl
Rohprotein (% der TM)	56,1	52,1	69,1
Rohfett (% der TM)	12,8	19,7	12,8
Rohasche (% der TM)	12,6	13,9	15,4
Aminosäurenanteil (% des TP):			
Arg	3,7	4,2	5,8
His	4,4	4,7	3,7
Ile	4	4,2	3,8
Leu	6,1	6,5	6,4
Lys	5,4	5,4	5,6
Met	1,4	1,7	1
Phe	3,1	3,3	3,3
Thr	3,6	3,6	3,6
Val	5,5	5,7	4,6

TM = Trockenmasse

TP = Gesamtprotein

Tabelle 2.3.3 Ein Vergleich der Aminosäuregehalte von Larven der Schwarzen Soldatenfliege zu üblichen Proteinfutterquellen anhand eines Übersichtartikels von DiGiacomo et al. (2019)

	Proteinreiches Futtermittel:	BSF Larven	Sojabohnenmehl	Fischmehl
Aminosäuren Gehalt (mg/g):				
Alanin		24	15	63
Arginin		17	26	64
Asparaginsäure		34	40	85
Cystein		4	5	9
Glutaminsäure		43	63	128
Histidin		12	10	20
Isoleucin		16	17	37
Leucin		25	27	65
Lysin		24	22	69
Methionin		6	5	26
Phenylalanin		15	18	33

Prolin			20	18	53
Serin			14	19	48
Threonin			14	15	39
Tryptophan			4	5	9
Tyrosin			18	13	26
Valin			21	17	45
Glycin			19	16	99

Tabelle 2.3.4 Gehalt der Mengen- und Spurenelemente (% der Trockenmasse) von Larven der Schwarzen Soldatenfliege, welche mit Hühnerfutter als Futtersubstrat gefüttert wurden, anhand eines Übersichtartikels von Barragan- Fonseca et al. (2017)

Parameter	Zusammensetzung
Calcium	3,14
Phosphor	1,28
Magnesium	0,79
Natrium	0,79
Kalium	1,96
Eisen	0,04
Zink	0,02
Kupfer	0,002
Mangan	0,04

Tabelle 2.3.5 Gehalt der Mengen- und Spurenelemente (% der Trockenmasse) von Larven der Schwarzen Soldatenfliege anhand eines Übersichtartikels von Makkar et al. (2014)

Parameter	Zusammensetzung
Calcium	7,56
Phosphor	0,9
Magnesium	0,39
Natrium	0,13
Kalium	0,69
Eisen	0,14
Zink	0,01
Kupfer	0,001
Mangan	0,02

3. Insektenproduktion

3.1 Entnahme aus der Wildnis

Die meisten der etwa 2100 in den Tropen konsumierten Insektenarten werden aus der Natur geerntet (Jongema et al. 2017). Die Nutzung dieser Nahrungsressourcen erfordert den Schutz ihrer Umwelt. Um zukünftige Ernten zu sichern, ist es notwendig nachhaltige Erntemethoden zu entwickeln. So sind Bedrohungen für diese natürliche Ressource neben Lebensraumveränderungen, Pestizideinsatz und Verschmutzung auch die verstärkte Entnahme aus der Natur durch erhöhten Konsum und gestiegene Preise (van Huis 2012). Der Pestizideinsatz sollte genau geplant und beschränkt werden, um Insekten nicht zu belasten, welche häufig als wichtige Nahrungs- und Einkommensquelle dienen. So schlägt die FAO 2013 vor, dass Insekten welche als Schädlinge mit Chemikalien bekämpft werden, besser als Lebens- und Futtermittel verwendet werden sollten und somit einen ernährungsphysiologischen, wirtschaftlichen und ökologischen Vorteil schaffen könnten. So sollte der Fokus auf adaptivem Ressourcenmanagement liegen, mithilfe welchem die Erhaltung und Aufwertung von essbaren Insekten aus der Wildnis an vielen Orten auch zur Ernährungssicherung und zum Lebensunterhalt der Menschen beitragen (Kalaba et al. 2013). Es werden gute agroforstliche Praktiken benötigt, mit geklärten Besitzverhältnissen und Zugangsregelungen unter institutionellen Rahmenbedingungen um eine nachhaltige und befriedigende Ernte sicherzustellen (Vantomme et al. 2004). So fordern Vantomme et al. (2004) mehr Forschung zur Aufzucht von Insektenarten und Wirtspflanzen in Gefangenschaft, da die benötigten Mengen an Insekten für den menschlichen Verzehr oder als Tierfutter durch die Wildpopulationen oft nicht mehr gedeckt werden können und die Zucht der Insekten auch in ländlichen Regionen in Betracht gezogen werden muss.

3.2 Industrielle Produktion

Insekten können nicht nur in der Natur gesammelt, sondern auch in begrenzten industriellen Anlagen gezüchtet werden (Oonincx und de Boer 2012). Um Tierschutz bei der Insektenzucht zu gewährleisten, sollten die Insekten ausreichend Platz zur Verfügung haben, welcher davon abhängig ist, wie viel Interaktion die Spezies unter natürlichen Bedingungen mit ihren Artgenossen haben (FAO 2011). Für die Produktionshygiene gilt es Schutz vor Schadorganismen zu gewährleisten. Darüber hinaus dürfen die gezüchteten Insekten nicht ins Freie gelangen, da eine artenreine Zucht gewährleistet sein muss. Das Einhalten einer guten Hygienepraxis sowie die Anwendung der Grundsätze des Hazard Analysis Critical Control Point Konzepts sind unabdingbar. Insekten welche am geeignetsten für die kommerzielle Produktion zu sein scheinen, sind laut FAO (2013) Larven der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*), die Hausfliege (*Musca domestica*) und der gelbe Mehlwurm (*Tenebrio molitor*) (FAO 2013).

3.3 Gesetzliche Grundlagen der Insektenproduktion als Futtermittel

Bei der Produktion von Insekten als Futtermittel muss die Verordnung (EG)183/2005 der Europäischen Kommission zur Futtermittelhygiene eingehalten werden. Insektenzüchter müssen für die Aufzucht von Insekten registriert sein und eine hygienische Umgebung gewährleisten.

Insektenzüchter müssen laut der Richtlinie 2002/32/EG über "Unerwünschte Stoffe in der Tierernährung" mehrere Höchstwerte von kontaminierenden Materialien in ihren Produkten beachten um potenzielle Gesundheitsrisiken zu vermeiden. So sind zum Beispiel Höchstwerte für Schwermetalle festgelegt (Aarts et al. 2014). Auch die Verarbeitung der Insekten ist vorgegeben und erfolgt so zum Beispiel für "Processed Animal Protein (PAP)" nach der Verordnung (EG) 1069/2009 (Koeleman 2014). Dies gilt auch für Insektenmaterial, welches von außerhalb der EU importiert wird (Aarts et al. 2014).

Erzeuger von Nutzinsekten, die zur Verwendung als Futtermittel bestimmt sind, müssen bei den zuständigen nationalen Behörden als "Futtermittelunternehmer" registriert sein. Diese Vorschrift ist in der Verordnung (EG) 183/2005 enthalten, in welcher die Sicherheits- und Hygienestandards für Futtermittel festgelegt sind. Auch müssen die Insekten in einem Betrieb oder einer Anlage zubereitet und gelagert werden, die von der zuständigen Behörde gemäß Artikel 24 der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 zugelassen sind und in denen ausschließlich die Herstellung von Produkten aus Nutzinsekten erfolgt.

Nutzinsekten bezeichnet in diesem Kontext Tiere, welche gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 zu den Insektenarten gehören, die gemäß Anhang X der Verordnung (EU) Nr. 142/2011 für die Herstellung von verarbeitetem tierischem Eiweiß zugelassen sind.

Im Nutztiersektor wurde mit der Verordnung (EU) 2017/893 die Verwendung von verarbeitetem tierischem Protein (PAP) aus Insekten und von Mischfuttermitteln, die solches verarbeitete tierisches Protein enthalten, zuerst als Futtermittel für Tiere in Aquakultur zugelassen. Die Änderung des Anhang IV der Verordnung (EG) Nr. 999/2001, erlaubt seit August 2021 zudem die Verwendung von Insektenprotein in Futtermitteln für Schweine und Geflügel. Die zugelassenen Insektenarten zur Herstellung des Proteins sind nach Risikobewertungen durch die europäische Kommission folgende: Schwarze Soldatenfliege (*Hermetia illucens*), Gemeine Stubenfliege (*Musca domestica*), Gelber Mehlwurm (*Tenebrio molitor*), Zwergmehlworm (*Alphitobius diaperinus*), Hausgrille (*Acheta domestica*), Gebänderte Grille (*Grylodes sigillatus*) und Feldgrille (*Gryllus assimilis*)

Seit November 2021 hat der EU-Gesetzgeber im Rahmen der EU-Rechtsvorschriften über tierische Nebenprodukte, anhand der Verordnung (EU) 2021/1925 auch der Verwendung von verarbeiteten tierischen Proteinen (PAPs) der Seidenraupe (*Bombyx mori*) in Futtermitteln für Geflügel und Schweine zugestimmt.

Die Verfütterung von Insekten an Heimtiere ist nach den allgemeinen Anforderungen des Futtermittelgesetzes zulässig, wobei insbesondere die Futtermittelhygiene-Verordnung (EG) Nr. 183/2005 Bedeutung trägt.

3.4 Fütterung der Zuchtinsekten

Insektenarten, welche als Nutzinsekten zur Herstellung von verarbeitetem tierischem Protein verwendet werden, dürfen laut der Verordnung (EU) 2017/893 vor allem mit Materialien pflanzlichen Ursprungs gefüttert werden. Des weiteren sind Materialien tierischen Ursprungs wie Milch, Eier, Honig, ausgeschmolzene Fette oder Blutprodukte von Nichtwiederkäuern gesetzlich zulässig.

Auch sind Di- und Tricalciumphosphat tierischen Ursprungs, hydrolysierte Proteine sowie Gelatine und Kollagen von Nichtwiederkäuern und hydrolysierte Proteine aus Häuten und Fellen von Wiederkäuern zur Fütterung der Nutzinsekten zugelassen.

Die Fütterung von Nutztieren mit anderen Schlachthof- oder Tierkörperverwertungsprodukten, Gülle und Küchenabfällen ist jedoch verboten. Das gleiche Verbot gilt für die Verwendung von unverkauften Produkten aus Supermärkten oder der Lebensmittelindustrie (z. B. unverkaufte Produkte aufgrund von Herstellungs- oder Verpackungsfehlern), wenn diese Fleisch oder Fisch enthalten.

Insekten, welche mit biologischen Nebenprodukten und Abfallströmen gefüttert werden, mit Ausnahme von Gülle und anderen Arten von Fäkalien und kategorisiertem Material, welches nicht an Tiere verfüttert werden darf, laut der Verordnung (EG) 767/2009 wie "Kot, Urin und abgetrennter Inhalt des Verdauungstraktes, der sich aus der Entleerung oder Entfernung des Verdauungstraktes ergibt, unabhängig von jeder Form der Behandlung oder Beimischung", können zum Beispiel als lebende Insekten zur Nutzung als Köder oder als Futter für Zirkustiere verwendet werden.

Abfallprodukte aus der Bioethanolproduktion wie Weizeneiweiß und Gerstenschalen können als Substrat für die Insektenaufzucht verwendet werden, da sie in der Verordnung (EU) 68/2013 über den Katalog der Futtermittel Ausgangserzeugnisse aufgeführt sind.

Gülle wurde als Material der Kategorie 2 definiert und es ist daher verboten, Gülle in jeglicher Art von Tierfutter zu verwenden. Insekten, welche auf Gülle gezüchtet werden, können als Folgeprodukt für Biodiesel, Energie und Bodennährstoffe verwendet werden. Insekten aus dieser Kategorie dürfen nicht an Tiere verfüttert werden (Aarts et al. 2014).

3.4 Tötung der Insekten

Die Europäische Union hat nach Artikel 13 festgelegt, dass die Zuständigkeit für Fragen des Tierschutzes bei jedem einzelnen Mitgliedsstaat liegt. In Deutschland gilt so zum Beispiel nach Paragraph 1 des Tierschutzgesetzes, dass Leben und Wohlbefinden der Tiere geschützt werden müssen und dass keinem Tier ohne vernünftigen Grund Schmerzen, Leiden oder Schaden zugefügt werden dürfen. Das Ausmaß in welchem Insekten fähig sind Schmerzen und Leid zu empfinden, ist jedoch noch nicht ausreichend erforscht. Solange allerdings nicht bewiesen ist, dass sie diese nicht empfinden können, ist von ihrem Schmerzempfinden auszugehen und sie sind dementsprechend zu behandeln. Bisher gibt es keine klare Meinung darüber, ob Insekten zum Beispiel Stress und Schmerz empfinden können. Van Huis (2013) geht nicht von der Fähigkeit von Insekten aus, solche Leiden wahrzunehmen. Auch Braithwaite (2010) ist der Meinung, dass wirbellose Tiere keinen Schmerz empfinden können. Andere Wissenschaftler hingegen unterstützen die von Verhaltensstudien getragene These, dass manche Arthropoden zur Schmerzwahrnehmung durchaus in der Lage sind und unterstützen diesem Schmerzempfinden angepasste Tötungstechniken (Elwood, 2011). Um eine Qual der Insekten zu vermeiden, sollten daher möglichst schmerzfreie und vertretbare Techniken zur Tötung dieser eingesetzt werden. Es gibt für diese jedoch derweil keine klar formulierten Regeln und keine gesetzlichen Vorgaben zum Schutz der Insekten, welche notwendig sind um den Schlachtprozess einheitlicher und tiergerechter zu gestalten. In Österreich sind laut Verbrau-

cherzentrale des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (2021), zwei Verfahren zur schonenden Tötung von Zuchtinsekten offiziell zugelassen. In der ‚Leitlinie für gezüchtete Insekten als Lebensmittel‘ (BMFG 2021) sind Tötung durch Tiefgefrieren bei mindestens -18 Grad Celsius sowie die Tötung durch kochendes Wasser oder Wasserdampf bei mehr als 100 Grad Celsius, für nicht flugfähige Entwicklungsstadien wie Larven oder Mehlwürmern, für Zuchtinsekten genehmigt.

4. Vergleich der Umweltauswirkungen von Insekten mit anderen Nutztieren

Die Produktion von Insekten als Nahrungs- oder Futtermittel, ist mit direkten und indirekten Umweltauswirkungen verbunden. Allerdings wird die Insektenzucht häufig als deutlich umweltschonender als die konventionelle Nutztierhaltung beschrieben (van Huis, Oonincx et al. 2017) und soll somit Vorteile durch den niedrigeren Verbrauch an Land und Wasserressourcen, geringere Treibhausgasemissionen, eine höhere Futtermittelverwertungseffizienz und die Fähigkeit der Umwandlung von Proteinen niedriger- in Proteine hoher Qualität aufweisen.

Als Mittel zum Vergleich der Auswirkungen verschiedener Produkte auf die Umwelt, wird gerne die Ökobilanz mittels einer sogenannten Lebenszyklusanalyse (LCA) eines jeden Produktes ermittelt, welche deren Umweltauswirkungen über den gesamten Herstellungsweg ermittelt. Im Nahrungsmittelsektor wurde 2016 von Smetana et al. bereits festgestellt, dass insektenbasierte Lebensmittel mit einer geringen Umweltbelastung einhergehen und eine umweltfreundliche Alternative zu konventionellen proteinreichen Produkten darstellen (Smetana et al. 2016).

Mittels der beschriebenen Technik der Lebenszyklusanalyse gelangten auch Oonincx und de Boer (2012) zum Ergebnis, dass die Produktion von Mehlwürmern zu weniger Kohlenstoffdioxid ausstoß führt als die konventionelle Produktion von Milch und Fleisch jedweder Art (Oonincx und de Boer 2012).

Darüber hinaus wird im Rahmen der Mehlwurmproduktion – je produziertem Kilogramm – weniger Land in Anspruch genommen als bei der konventionellen Produktion von Milch und Fleisch jedweder Nutztierart (Oonincx und de Boer 2012). Problematisch ist zwar im Fall der Mehlwürmer, dass diese üblicherweise stärkehaltige Nahrung verzehren und damit potenziell in Nahrungskonkurrenz zu Menschen stehen – dies ist auch der Grund, weshalb sie im Rahmen der Datenerhebung von Oonincx und de Boer mit Karotten und Getreide gefüttert wurden (Oonincx und de Boer 2012), doch gilt dies nicht für sämtliche Insektenarten. So fressen manche Raupenarten zum Beispiel primär zellulose- und toxische Pflanzenteile, die von Menschen nicht verdaut werden können und somit nicht in unmittelbarer Ressourcenkonkurrenz zu diesen stehen (Singer et al. 2004).

4.1 Land und Wasser

Die Haltung von Nutztieren, sowie der Landverbrauch für das benötigte Futter und die Versorgung der Tiere, nimmt viel Landfläche in Anspruch. So benötigt die Produktion von 1kg Rindfleisch circa 50 mal mehr Land als die Produktion von 1kg Gemüse (Nijdam et al., 2012). Ein Gramm essbares Protein aus Rindfleisch benötigt nach Oonincx und de Boer et al., 2012 circa 8 bis 14 mal so viel Land und etwa 5 mal so viel Wasser in der Produktion wie ein Gramm Mehlwürmer. Die Herstellung von einem Gramm Hühnerprotein benötigt etwa 2 bis 3 mal so viel Land und 50 % mehr Wasser als die Produktion von einem Gramm Mehlwürmern (Oonincx und de Boer 2012). So würden für jeden Hektar an Land welcher benötigt wird um Mehlwürmer zu produzieren, 2 bis 3,5 Hektar benötigt werden um die gleiche

Menge an Schwein- und Hühnerprotein zu produzieren und 10 Hektar für die Produktion einer ähnlichen Menge an Rinderprotein (Ooninx und de Boer 2012). Fleisch macht derzeit etwa 15 % der gesamten Energie in der globalen menschlichen Ernährung aus, während fast 80 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche als Tierweiden oder für die Produktion von Futtermitteln für Vieh genutzt werden (Herrero et al. 2015, 2016). Zusätzlich wird durch die Viehhaltung die Nahrungsmittelversorgung vermindert, da ein Großteil der an Schweine und Geflügel verfütterten Körner auch für den menschlichen Verzehr verwendet werden könnte. Circa ein Drittel der Weltgetreideproduktion wird derzeit an Tiere verfüttert (Mottet et al. 2017). Der Anstieg der globalen Nachfrage an Fleisch sowie die begrenzte Verfügbarkeit an Land veranlassen zur Suche nach alternativen Proteinquellen und neuen Lösungen. Die Landwirtschaft verbraucht laut Pimentel et al. (2004) circa 70 % des frischen Wassers weltweit, die Produktion von 1kg Tierprotein verbraucht nach Chapagain und Hoekstra (2003) dabei etwa 5 bis 20 mal mehr Wasser als die Produktion von 1kg Getreideprotein. Dabei benötigt die Herstellung von 1kg Hühnerfleisch circa 2300l Wasser, die von 1kg Schweinefleisch 3500l Wasser und die von 1kg Rindfleisch die größte Menge von 22000l Wasser (Pimentel et al. 2004). Angaben für den Wasserverbrauch von 1kg Insekten liegen derzeit nicht vor, werden aber auf weitaus niedriger als diese der konventionellen Nutztierhaltung geschätzt.

4.2 Treibhausgasemissionen

So werden zum Beispiel durch Atmung, Stoffwechsel und Ausscheidungen von Insekten verschiedene Treibhausgase wie Kohlenstoffdioxid, Stickstoff, Methan und Ammoniak freigesetzt. Diese scheinen jedoch niedriger zu sein als die freigegebenen Emissionen bei konventioneller Viehhaltung (Ooninx et al. 2010). Die Nutztierhaltung ist insgesamt für 18 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich, welches einen größeren Anteil ausmacht als die Emissionen des Transport Sektors. Viehzucht ist und bleibt ein wichtiger und treibender Faktor des Klimawandels, da die circa 20 Milliarden domestizierten lebensmittelliefernden Tiere zwischen 5,6 und 7,5 Gigatonnen CO₂ Äquivalente pro Jahr produzieren, mit Rindern als Hauptanteilhaber von 64 bis 78 % dieser Emissionen (Herrero et al. 2016). Vor allem entstehen Methan aus der Fermentierung und Gülle, sowie Stickstoff aus Gülle und Güllemanagement.

Insgesamt erzeugt Rindfleisch die höchste Treibhausgasausschüttung, welche für 1kg Fleisch bei 14,8kg CO₂ liegt, für Schweinefleisch sind es 3,8kg CO₂ und für Hühnerfleisch 1,1kg CO₂ pro 1kg Fleisch (Steinfeld et al. 2006). Insekten wie Mehlwurm Larven, Heuschrecken und Grillen liegen mit den bei ihrer Produktion entstandenen Emissionen um den Faktor 100 niedriger als die Werte von Rindern und Schweinen (Ooninx et al. 2010). Des weiteren wird zum Beispiel Methan nur von wenigen Insektengruppen produziert, wie Termiten und Kakerlaken, durch die bakterielle Fermentation von Methanobakterien des Hinterdarms (FAO 2013). Auch bei der Menge der umweltverschmutzenden Abfallprodukte wie Urin und Dung, ist die der Insekten deutlich geringer und Mehlwurm Larven, Heuschrecken und Grillen weisen bei der Produktion eine circa zehnmal niedrigere Ammoniak Emission auf als konventionell gehaltene Schweine (Ooninx et al. 2010).

4.3 Futtermittelverwertungseffizienz und Aufbereitung von Protein

Die Insektenproduktion hat durch ihren Anspruch auf hohe Temperaturen während der Aufzucht einen entsprechend hohen Energiebedarf. Die Notwendigkeit der hohen Umgebungstemperatur kommt durch das poikilotherme Wesen der Insekten zustande, von welchen die Körpertemperatur umgebungsabhängig ist. Durch diese Anpassung entsteht allerdings auch eine völlige Verwendbarkeit der aufgenommenen Nahrung, welche von den Tieren somit effizient für das Wachstum genutzt werden kann, da die durch die Nahrung zugeführte Energie keine konstante Körpertemperatur aufrecht erhalten muss.

Laut van Huis et al. (2013) besitzen Insekten einen hohen essbaren Anteil von fast 80 % mit der Entstehung von weitaus weniger ungenutzten Nebenprodukten als bei konventionellen Nutztieren (van Huis et al. 2013). Diese liegen mit ihrem als Futtermittel verwertbaren Anteil bei 40 bis 60 %. De Foliart (1997) schätzte, dass auch bei einer Grille bis zu 80 % verwertbar sind im Gegensatz zu nur 55 % Verwertbarkeit bei Hühner- und Schweinefleisch und nur einer 40 prozentigen Verwertbarkeit von Rindfleisch (de Foliart 1997). Somit verläuft die Umwandlung der Nahrung zu Protein bei Grillen sehr viel effizienter als bei den genannten Nutztierarten. Optimale Diäten würden hierbei zu der effizientesten Nutzung von Insekten führen, jedoch ist aus ökologischer Sicht vor allem die Aufwertung ungenutzter oder untergenutzter Substrate wie organischer Nebenströme interessant (Ooninx et al. 2015; Halloran et al. 2015). Geringwertige Nebenprodukte können somit auch zu einer niedrigen Umweltbelastung führen und die Umweltbilanz durch Erschließung eines nachhaltigen Kreislaufs, wie der Nutzung von Dung zur Produktion hochwertigen Proteins, deutlich verbessern. Welches Nebenprodukt verwendet werden kann, hängt von der jeweiligen Insektenart ab. So können Mehlwürmer auf getrockneten organischen Abfallmaterialien aus Obst und Gemüse gezüchtet werden (Ramos-Elorduy et al. 2002). Ooninx et al. (2015) berichteten auch eine gute Entwicklung von Mehlwürmern mit einer konstanten Nährstoffzusammensetzung dieser auf Nebenprodukten der Bierbrau-, Brot- und Keksherstellung (Ooninx et al. 2015). Allerdings ist es wichtig, dass die Insekten sich mit dem vorgegebenen Futter optimal entwickeln können, da ansonsten viel Futter für die Tiere und Energie zum Erhitzen benötigt werden.

5. Risiken der Insektenproduktion als Futtermittel

Essbare Insektenarten welche für die Herstellung von Nahrungs- oder Futtermitteln vorgesehen sind, sollten auf mögliche Risiken für Konsumenten, Pflanzen und die biologische Vielfalt untersucht werden.

Insekten sind taxonomisch weiter vom Menschen entfernt als konventionelle Nutztiere und ihr zoonotisches Potential wird als sehr niedrig bewertet (FAO 2013). Allerdings können Insekten ebenso wie andere Arthropoden allergische Reaktionen hervorrufen, durch Injektionsallergene, Kontaktallergene, Inhalationsallergene und Ingestionsallergene (Rumpold und Schlüter 2013). So besteht zum Beispiel für das Personal der Insektenzucht durch den direkten Umgang ein erhöhtes Gesundheitsrisiko durch Kontakt- und Inhalationsallergene. Bei Verzehr von essbaren Insekten gilt es Vorsicht zu wahren, da diese neben toxischen, allergenen oder antinutritiven Substanzen auch extrinsische Schadstoffe beinhalten können. So sequestrieren oder synthetisieren manche Insekten Toxine, wie Glukoside oder Steroide, zur Verteidigung gegen Feinde. Der Verzehr dieser Tiere kann dann zu Symptomen wie Übelkeit, Erbrechen und Sehstörungen führen (Rumpold und Schlüter 2013).

Nach einem Gutachten der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit von 2015, über das Risikoprofil von Insekten als Futter- und Lebensmittel, welches auf Wunsch der Europäischen Kommission angefertigt wurde, waren zu diesem Zeitpunkt in der Literatur allerdings keine Hinweise auf Allergien bei Heim- und Nutztieren durch den Verzehr von aus Insekten gewonnenen Futtermitteln zu finden. Allerdings weist die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit in diesem Gutachten darauf hin, dass neuartige Proteinquellen ein generelles Risiko tragen, allergische Reaktionen entweder durch De-novo-Sensibilisierung oder durch Kreuzreaktivität hervorzurufen und diese potentielle Allergenität durch Herstellungsprozesse verstärkt werden kann (EFSA 2015).

Insekten, welche in der Natur geerntet werden und somit problemlos in Kontakt mit Pestiziden gelangen können, sollten besonders gründlich auf deren Rückstände untersucht werden. Eine kontrollierte Fütterung der Insekten mit ungiftigen Pflanzen ist der unbeobachteten Ernährung in der Natur deutlich vorzuziehen. Eine Untersuchung der mikrobiellen Kontamination von essbaren Insekten sowie ihrer nativen Darmmikrobiota ist vor Vermarktung von Insektenprodukten dennoch anzuraten um passende Dekontaminationsmethoden und eine optimale Haltbarkeit festzulegen und um die Marktfähigkeit sowie Lebensmittelsicherheit zu erhalten (Rumpold und Schlüter 2013).

Im Bereich der Antinährstoffe, wurden von Ekop et al. (2010) vier Insektenspezies auf ihren Gehalt an Hydrocyanid, Oxalat, Phytat und Tannin untersucht, wobei generell niedrige Gehalte dieser antinutritiven Substanzen gefunden wurden, welche deutlich unter den für den menschlichen Verzehr toxischen Werten lagen (Ekop et al. 2010). Dennoch sind Fälle von Lebensmittelvergiftungen, Parasitosen und Botulismus im Zusammenhang mit Entomophagie bekannt und es sollte auf eine optimale Ernährung der Insekten, hygienische Haltung und Verarbeitung sowie auf eine Isolation der gezüchteten Insekten von anderen Tieren geachtet werden (FAO 2013). Alle Öffnungen einer Produktionsstätte sollten versiegelt sein oder gefiltert werden, auch um eine Besiedelung von umgebenden Gebieten durch die gezüchteten Insekten zu vermeiden. Die Insekten können die Allgemeinheit belästigen, wie Stubenfliegen,

können allerdings auch als Schädling mit hohem wirtschaftlichem Ausmaß regionale Pflanzen beeinträchtigen. Um eine Zucht oder Einschleppung potentieller Pflanzenschädlinge zu vermeiden, gibt es neun regionale Pflanzenschutzorganisationen der Internationalen Pflanzenschutzkonvention (IPPC), deren Aufgabe darin besteht, die Pflanzenressourcen der Welt zu bewahren (FAO 2011).

6. Allergie

6.1 Allgemeine physische Mechanismen

Der Begriff ‚Allergie‘ stammt aus dem Altgriechischen und bedeutet so viel wie ‚Fremdreaktion‘ (Liddell-Scott-Jones 2020). Im deutschsprachigen Raum bedeutet Allergie eine „Reaktion des Organismus auf bestimmte körperfremde Stoffe“ (Duden 2021).

Konkret handelt es sich also um eine überschießende Immunreaktion des Organismus auf jene Stoffe, die durch das Immunsystem fälschlich als Bedrohung klassifiziert werden, bei einer Futtermittelallergie zum Beispiel auf bestimmte Stoffe, die durch Futtermittelaufnahme und entsprechende Verdauung dem Organismus zugeführt werden (Sicherer und Sampson 2010). Das Ausmaß sowie die Art und Weise der Immunreaktion können sich von Organismus zu Organismus unterscheiden (Pepys 1973). Akute Immunreaktionen auf exogene Stoffe werden üblicherweise als anaphylaktische Reaktionen bezeichnet. Generell ist es möglich, dass der Säugetierorganismus nur mit milden Symptomen auf fälschlich als Bedrohung klassifizierte Stoffe reagiert, so kann zum Beispiel lediglich die Nasensekretproduktion angeregt werden (Jensen- Jarolim et al. 2015). Ein deutlich ernsteres Beispiel ist das Anschwellen von Gliedmaßen. Auch können schwere Organschäden Folge einer allergischen Reaktion sein, was zu signifikanten Funktionsbeeinträchtigungen und letztlich zum Tod führen kann (Wüthrich 2000). Im Fall von Nahrungsmittelallergien sind die offensichtlichen und häufigsten Symptome allerdings die Störung des Gastrointestinaltrakts und damit einhergehende Verdauungsbeschwerden (Sarker et al. 2015, Inoue und Shimojo 2015).

Von einer allergischen Erkrankung sind sogenannte Sensibilisierungen zu unterscheiden, die zwar nicht dieselben Immunreaktionen hervorrufen wie Allergien, jedoch ebenfalls zu einer Antikörper- Bildung durch den Organismus führen, welche als erste Erkennungs- und Verteidigungsmaßnahme gegen als Bedrohung klassifizierte Stoffe dienen (Bergmann et al. 2016). In physiologischer Hinsicht lässt sich im Allgemeinen konkludieren, dass allergische Erkrankungen gewissermaßen fehlgeleitete Reaktionen des Organismus auf exogene Stoffe darstellen. Die Reaktionen fußen auf einer anscheinend fälschlichen Klassifikation der exogenen Stoffe als Bedrohung. Die genaue Ursache für das Vorliegen allergischer Symptome ist bislang nicht bekannt, sowohl genetische Dispositionen als auch Umweltfaktoren sowie Begleiterkrankungen werden als auslösende Faktoren in Betracht gezogen. Naheliegend ist jedoch, dass die Ätiologie allergischer Erkrankungen multikausal ist (Ring et al. 2001). Ein Faktor, der zumindest bei Menschen zur Entwicklung allergischer Erkrankungen führen kann, sind Nährstoffinsuffizienzen (Nurmatov et al. 2011).

6.2 Ernährungsphysiologische Ansprüche bei Hunden

Hunde stammen zwar vom Wolf ab, wurden jedoch durch das Zusammenleben mit dem Mensch immer mehr an eine stärkehaltige und fettreiche Ernährung gewöhnt. Somit kam es neben der evolutionären Entwicklung auch durch die vom Menschen bestimmte Züchtung neben den vielen verschiedenen Morphologien auch zu einer neurologischen sowie gastrointestinalen Anpassung (Frantz et al. 2020, Axelsson et al. 2013). Die genetische Diversität von Hunden ist entsprechend hoch und auch ihre physiologische Anpassung zum Beispiel hinsichtlich des gastrointestinalen Mikrobioms ist je nach Fütterung verschieden und dadurch

adaptionsfähig (Bosch et al. 2014, Alessandri et al. 2019). Allgemein bedürfen Hunde einer ausgewogenen Fütterung mit Makro- und Mikronährstoffen, wie Spurenelemente, Mengenelemente und Vitamine, von der Menge und Konzentration angepasst an den jeweiligen Phänotyp und dessen Leistungen. Grundsätzlich ist der Nährstoffbedarf des Hundes nämlich nicht nur durch die Rasse desselben, sondern auch durch die physische Aktivität sowie Gewicht und Alter bestimmt (National Research Council 2006). Liegen diesbezüglich Nährstoffversorgungsinsuffizienzen vor, können die Tiere erkranken (Schweigert und Bok 2013, Pereira et al. 2021). Das Futter sollte hinsichtlich der Inhaltsstoffe sowie der Quantität immer an den jeweiligen Typ Hund und dessen Lebensphase angepasst sein.

6.3 Futtermittelallergien bei Hunden

Der Begriff ‚Futtermittelallergie‘ beschreibt im Fall des Hundes eine immunmedierte symptomatische Reaktion auf den Kontakt mit einem Futterstimulus (Verlinden et al. 2006). Zumeist wird zwischen einer sogenannten Futtermittelallergie und einer sogenannten Futtermittelunverträglichkeit unterschieden. Während eine Reaktion des Immunsystems auf Futtermittellantigene als Futtermittelallergie bezeichnet wird, wird eine nicht vom Immunsystem gesteuerte Reaktion als Futtermittelsensitivität sowie als Futtermittelintoleranz bezeichnet. Solche begrifflichen Differenzierungen sind jedoch problematisch, da die veterinärmedizinischen Grenzen zwischen diesen beiden Begriffen häufig nicht konkret definiert sind (Verlinden et al. 2006). Insbesondere in Anbetracht der Tatsache, dass bei Säugetieren auch bei Unverträglichkeiten oder Sensibilisierungen durch den Organismus Antikörper produziert werden, wovon es sich wiederum um eine Immunreaktion handelt (Bergmann et al. 2016), erscheint eine fundamentale Unterscheidung eher unplausibel. Es ist wohl naheliegender, Unverträglichkeiten oder Sensibilisierungen als ‚mildere Ausprägungen‘ grundlegender Immunreaktionen zu interpretieren.

Eindeutig nicht immunmedierte Reaktionen auf Futtermittel sind beispielsweise allgemeine metabolische Reaktionen oder einige Reaktionen auf Futtermittelvergiftungen (Verlinden et al. 2006). In diesem Zusammenhang ist jedoch erwähnenswert, dass zumindest beispielsweise Durchfallsymptome im Anschluss an den Konsum pathogenbelasteter Nahrungsmittel durchaus durch das Immunsystem ausgelöst wurden (Tsai et al. 2017).

Häufige Symptome von Futtermittelallergien sind dermatologische sowie gastrointestinale Beschwerden – zum Beispiel Juckreiz beziehungsweise Durchfall. Die Futtermittelallergie wird nach der Flohspeichel- und Umweltallergie als die dritthäufigste allergische canine Hautkrankheit beschrieben (Verlinden et al. 2006). Da ein Nachweis im Einzelfall klinisch kaum möglich ist, wird die Futtermittelallergie als klinische Diagnose jedoch relativ selten gestellt (Verlinden et al. 2006).

Die Entwicklung von Futtermittelallergien ist häufig durch eine Erkrankung des Gastrointestinaltrakts bedingt. Insbesondere die Darmwand fungiert als physiologischer Schutz vor körperfremden Stoffen, insbesondere Proteinen (Verlinden et al. 2006). Wenn der Gastrointestinaltrakt in Mitleidenschaft gezogen ist, kommt es vermehrt zu Immunreaktionen. Vor allem das gastrointestinale Mikrobiom verhindert, dass körperfremde Stoffe die Darmwand passieren und dadurch in die Blutlaufbahn gelangen können. Passieren externe Stoffe trotzdem die Darmwand, kann dies zu Blutvergiftungen oder sogenannten angeborenen immunologischen Reaktionen des Organismus führen. Beschädigungen der Darmwand können sich demzufolge als allergische Erkrankungen manifestieren (Ermel et al. 1997).

Eine Futtermittelallergie beim Hund zeichnet sich häufig innerhalb des ersten Lebensjahres ab (Verlinden et al. 2006) und wird für die BesitzerInnen meist in den ersten drei Lebensjahren des Hundes ersichtlich (Picco et al. 2008). Allerdings ist die Möglichkeit der Entwicklung einer Futtermittelallergie für den Hund in jedem Lebensalter gegeben (Verlinden et al. 2006), wobei die Pathogenese dieser nicht vollständig geklärt ist (Kennis, 2006). Eine Prädisposition durch Rasse oder Geschlecht des Hundes konnte bisher statistisch nicht nachgewiesen werden (Picco et al. 2008, Verlinden et al. 2006). Auch bei Mischlingshunden ist kein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit des Auftretens einer Futtermittelallergie im Vergleich zu Rassehunden auszumachen (Verlinden et al. 2006).

Eine Futtermittelallergie äußert sich am häufigsten durch eine dermatologische und gastrointestinale Symptomatik. Juckreiz ist dabei die am häufigsten beschriebene klinische Äußerung (Verlinden et al. 2006). Die Futtermittelallergie wird nach der Flohspeichel- und Umweltallergie als dritthäufigste allergische canine Hautkrankheit beschrieben, wird als klinische Diagnose in der Praxis jedoch selten gestellt, da der Nachweis der Allergien beim Hund sehr schwierig ist und langwierig ist (Verlinden et al. 2006).

Bei Hunden lässt sich eine sichere Diagnose der Futtermittelallergie oder Futtermittelunverträglichkeit nur mit Hilfe einer strikten Eliminationsdiät und anschließender Provokationsprobe stellen.

Als Eliminationsdiät soll der Hund über einen Zeitraum von 8 bis 12 Wochen ausschließlich mit einem Futter, bestehend aus einer bis dato nie gefütterten und somit dem Organismus gänzlich neuen Protein- und Kohlenhydratquelle, und Wasser ernährt werden (Kennis 2006, Verlinden et al. 2006). Essentiell für die richtige Auswahl der passenden Protein- und Kohlenhydratquelle sowie den Erfolg der Eliminationsdiät, ist eine ausführliche Fütterungsanamnese sowie die strikte Einhaltung dieser durch die Besitzer.

Bei einer selbstgekochten Diät, sollte das Alter des Hundes sowie die Dauer der Eliminationsprobe und die zusätzliche Supplementierung von Nährstoffen bedacht werden. Durch die häufig unzureichende Nährstoffversorgung des selbst zubereiteten Futters, können insbesondere bei der Fütterung von Junghunden über längeren Zeitraum Mangelversorgungen auftreten (Kennis 2006, Verlinden et al. 2006). Die Zusammensetzung der selbstgekochten Eliminationsdiät sollte daher mit dem Tierarzt abgesprochen sein oder eine kommerzielle Diät gewählt werden.

Durch den kontrolliert gleichen Nährstoffgehalt eines kommerziellen Futtermittels kommt es zumeist nicht zu Imbalancen der Nährstoffversorgung (Paterson 1995). Eine kommerzielle Diät ist auch dann sinnvoll, wenn keine geeignete neue Proteinquelle identifiziert werden kann und eine Fütterung mit hydrolysierten Proteinen erwogen wird (Hall 2002). Allerdings reagieren manche Hunde auf Zusatzstoffe im kommerziellen Futter oder auf produktionsbedingte Spuren anderer Fleischsorten als der angegebenen Hauptbestandteile (Paterson 1995, Ricci et al. 2011).

Um die Vermutung der Futtermittelallergie gegen das zuvor gefütterte Futter oder andere dem Hund verabreichte Kauartikel zu bestätigen, ist eine Provokationsprobe nach erfolgreicher Eliminationsdiät durchzuführen. Dazu wird ein Futterwechsel auf das zuvor gegebene Futter durchgeführt und falls die klinischen Symptome wieder auftreten, ist die Unverträglichkeit dieser Futterbestandteile bestätigt (Biourge et al. 2004). Auch ist es möglich eine genauere

Bestimmung der allergen wirkenden Proteinquellen zu versuchen, indem eine einzelne Protein- oder Kohlenhydratquelle für jeweils 7 bis 10 Tage einzeln gefüttert wird (Hill 1999, Jeffers et al. 1996).

Wenn sich der Allgemeinzustand des Hundes innerhalb von 10 Tagen nach Zufütterung der weiteren Futtermittelkomponente nicht verschlechtert und keine Symptome einer Futtermittelunverträglichkeit auftreten, kann diese Komponente als Ursache ausgeschlossen werden. Es kann dann fortschreitend ein weiteres Futtermittel getestet werden, bis Symptome der Futtermittelunverträglichkeit auftreten. Bei Wiederauftreten der allergenen Symptomatik, sollte das ursächliche Futtermittel umgehend aus der Diät des Hundes entfernt werden und diesem nicht mehr zugänglich sein (Zimmer 2012).

Eine Futtermittelallergie beim Hund wird durch die im Futter enthaltenen Proteine ausgelöst. Die Futtermittelproteine können durch die Bindung zweier IgE Moleküle einer Mastzelle die Freisetzung des biogenen Amins Histamin sowie weiterer IgE Antikörpern bewirken. Für die Bindung der Oberflächenantikörper der Mastzelle sowie für die Aufnahme des Proteins durch die Darmschleimhaut ist eine bestimmte Proteingröße erforderlich. Dieser Größenrahmen liegt beim Menschen zwischen 10 und 70 Kilodalton, befindet sich das Molekulargewicht der Proteine außerhalb dieses Bereiches, so können sie keine allergische Reaktion über den Verdauungstrakt auslösen (Verlinden et al. 2006).

Grundsätzlich sind alle Futtermittelproteine für den caninen Organismus fremd und können je nach ihrer spezifischen biochemischen Struktur und Verarbeitung eine immunmedierte Reaktion auslösen (Verlinden et al. 2006).

Aus dem humanmedizinischen Bereich ist weitergehend bereits eine IgE vermittelte allergische Kreuzreaktion gegen Proteine verschiedener Insektenarten oder auch Krebstiere und Insekten bekannt (Pali-Schöll et al. 2019). Eine Nahrungsmittelallergie gegen Krustaceen oder eine inhalativ vermittelte Kontaktallergie gegen Hausstaubmilben können somit eine allergische Sensitivität gegenüber Insektenarten wie Mehlwürmer und Stallfliegen bedingen (Pali-Schöll et al. 2019). Diese mögliche allergische Kreuzreaktivität bietet insbesondere bei Verzehr von Insekten als Nahrungsmittel ein Risiko, welches jedoch durch Methoden der Lebensmittelverarbeitung wie enzymatische Hydrolyse oder thermische Behandlung deutlich gesenkt werden kann (Pali-Schöll et al. 2019).

7. Thesenbildung

1. Einerseits lässt sich anhand der bisher erfassten Literatur zusammenfassend sagen, dass es sich bei Allergien im Allgemeinen und Nahrungsmittelallergien im Spezifischen um Reaktionen des Organismus auf körperfremde Stoffe handelt, die vom Immunsystem fälschlicherweise als Bedrohung klassifiziert werden. Allergische Symptome können beispielsweise beim Verzehr spezifischer Nahrungsmittel auftreten. Demzufolge ist davon auszugehen, dass es zumindest bei einigen Hunden im Fall einer Futterumstellung zur Tilgung allergischer Symptomatiken kommen wird, da spezifische körperfremde Stoffe, welche eine Allergie hervorgerufen haben, nicht mehr zugeführt werden.
2. Andererseits lässt sich in Anbetracht der Multikausalität der Ätiologie allergischer Erkrankungen sowie der potenziellen Toxin-, Pestizid-, Pathogen- und Allergenbelastung von Insekten die These aufstellen, dass Insektenfutter allergische Symptomatiken bei Hunden verstärken wird. Insbesondere in Anbetracht der Tatsache, dass Insekten einen relativ hohen Proteingehalt aufweisen und allergische Reaktionen im Fall von Futterallergien insbesondere mit körperfremden Proteinen in Zusammenhang stehen, ließe sich davon ausgehen, dass das Ausmaß der allergischen Symptomatiken gravierend ausfallen kann.
3. Um trotz dieses Widerspruchs zu einer fundierten und für die vorliegende wissenschaftliche Arbeit relevanten Hypothese zu gelangen, lässt sich die Prognose aufstellen, dass die Fütterung von Hunden mittels Insekten bei einigen Hunden zu einer Abnahme oder sogar Eliminierung allergischer Symptome führt, bei anderen Hunden hingegen zu einer Zunahme oder sogar Neuentstehung allergischer Symptome. Wiederum würde bei einer weiteren Gruppe von Hunden keine Veränderung eintreten, da die Ätiologie allergischer Erkrankungen multikausal ist und nicht ausreichend viele Faktoren ineinandergreifen, um eine Abnahme oder Zunahme allergischer Symptome hervorzurufen.

8. Systematisches Literaturreview

In diesem Kapitel soll eine systematische Literaturrecherche durchgeführt werden. Dazu wird empirische Forschungsliteratur analysiert, welche die Auswirkungen von Insektenfuttermitteln auf Hunde insbesondere mit Futtermittelallergie hinterfragt.

8.1 Methoden

Hierzu werden empirische Datenerhebungen analysiert, welche in wissenschaftlichen Fachzeitschriften publiziert wurden.

8.1.1 Suchverfahren

Als Datenbanken und Suchmaschinen werden verwendet: JAMA Network, Google Scholar, Microsoft Academic, Pubmed, Scopus, ScienceDirect

Das Publikationsdatum umfasst keinen spezifischen Zeitraum.

8.1.2 Suchbegriffe

Deutschsprachige Suchbegriffe: hunde insektenfutter; hunde insekten futter; hund insektenfutter; hund insekten futter; hunde insektenfutter allergie; hunde insekten futter allergie; hunde insekten fütterung allergie; hunde insektenfutter allergien; hunde insekten futter allergien; hunde insekten fütterung allergien; hund insektenfutter allergie; hund insekten futter allergie; hund insekten fütterung allergie; hund insektenfutter allergien; hund insekten futter allergien; hund insekten fütterung allergien.

Englischsprachige Suchbegriffe: dogs insects fodder; dog insects fodder; dogs insects feed; dog insects feed; dogs allergies insect food; dogs allergy insect food; dogs allergies insect feed; dogs allergy insect feed; dogs allergies insect fodder; dogs allergy insect fodder; dog allergies insect food; dog allergy insect food; dog allergies insect feed; dog allergy insect feed; dog allergies insect fodder; dog allergy insect fodder.

8.1.3 Studienselektion

Ergebnisse, welche mittels empirischer Methoden auf irgendeine Weise Aufschluss bezüglich der Auswirkungen von Insektenfutter auf die allergischen Symptommatiken von Hunden bieten, werden berücksichtigt.

8.2 Ergebnisse

Im Rahmen dieser Literaturrecherche mit den oben dargelegten Suchkriterien wurden acht Studien für kontextuell wertvoll befunden und werden nun bezüglich Inhalt und Relevanz diskutiert.

1. *Lei, Kim, Park & Kim (2019):*

Lei et al. untersuchten, wie sich die Supplementation von entfettetem Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege auf adulte 15 bis 18 Monate alte Beagle- Hündinnen auswirkte. Lei et al. führten hierzu eine kontrollierte Interventionsstudie durch mit insgesamt neun gesunden weiblichen Beagle-Hunden. Hinsichtlich der vorliegenden Forschungsfrage ist es wichtig, dass das Larvenmehl zwar entfettet war, dies jedoch nicht den absoluten Proteingehalt des entsprechenden Larvenmehls verringert und sogar den relativen Anteil – gemessen in 100 Gramm – erhöht, da das Trockengewicht primär aus dem Makronährstoff Protein besteht (Lei et al. 2019). Als Limitation bezüglich der vorliegenden Forschungsfrage lässt sich jedoch anführen, dass Lei et al. das Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege lediglich als Supplement einer getreidebasierten Fütterungsstrategie beifügten. Der Anteil des Larvenmehls betrug somit nur 0,1 % oder 2 % des Gesamtgewichts der verfütterten Lebensmittel (Lei et al. 2019). Die Hunde wurden zwei Mal täglich über einen Zeitraum von sechs Wochen hinweg gefüttert. Im Anschluss wurde den Hunden das Endotoxin *Escherichia coli*- Lipopolysaccharid in einer Menge von 100 µg/kg Körpergewicht injiziert (Lei et al. 2019). Lei et al. verwendeten drei Hunde als Kontrollgruppe, drei Hunde als Experimentgruppe mit einem Larvenmehlanteil von 0,1 % sowie drei Hunde als Experimentgruppe mit einem Larvenanteil von 2 % (vgl. Lei et al., 2019). Zu Beginn sowie gegen Ende des Experiments, vor der Injektion mit dem Endotoxin *Escherichia coli*-Lipopolysaccharid, wurden Stuhl- sowie Blutproben entnommen (Lei et al. 2019). Es zeigte sich, dass sich beispielsweise die Protein- sowie Glukosekonzentrationen im Blut durch die Futterintervention nicht geändert hatten. Die Konzentration des Proteins Albumin im Blut stieg proportional zur vermehrten Zufütterung des Larvenmehls an, dies spiegelte sich jedoch nicht in veränderten Cholesterin-, oder Triglyzeridwerten im Blut wider. Zudem machte sich proportional zur vermehrten Zufütterung des Larvenmehls ein Anstieg der Kalziumkonzentration im Blut bemerkbar. Auch zeigte sich bei einer Zufütterung mit dem Larvenmehl eine leicht verbesserte Verdaulichkeit – gemessen durch den Nährstoffgehalt der Stuhlproben (Lei et al. 2019).

Relevant für das vorliegende Forschungsvorhaben ist insbesondere, dass sich anscheinend keine Auffälligkeiten bezüglich offensichtlicher allergischer Symptomaten. Zudem wurden Konzentrationen von Entzündungsmediatoren wie zum Beispiel des Tumor- Nekrose- Faktors alpha sowie von Interleukin sechs bestimmt, wobei die Konzentration des Tumor- Nekrose- Faktors linear mit der Erhöhung des Larvenmehls abnahm. Schlussfolgernd wurde von den Autoren eine eventuelle entzündungshemmende und anti- oxidative Wirkung der Fütterung mit Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege vermutet, welche weiterer Forschung bedarf (Lei et al. 2019).

2. *Freel, McComb & Koutsos (2021):*

Freel et al. bewerkstelligten zwei unterschiedliche Experimente als kontrollierte Interventionsstudie, um die Akzeptanz sowie die Verträglichkeit von entfettetem Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege zu untersuchen. Das Larvenmehl war entfettet und ersetzte jeweils 5, 10 und 20 % des Futters. Darüber hinaus wurde auch Öl der Schwarzen Soldatenfliege zugefüttert, zu jeweils 2,5 und 5 %. Insgesamt nahmen im Fall des Akzeptanz-Experiments 20 Beagle-Hunde teil. Das Futter wurde in sämtlichen Gruppen gut angenommen (Freel et al. 2021). Für das vorliegende Forschungsvorhaben ist insbesondere das zweite Experiment von Bedeutung. Am zweiten Experiment nahmen insgesamt 56 adulte Beagle-Hunde teil, davon

waren 16 männlichen und 40 weiblichen Geschlechts. Die Hunde wurden randomisiert unterschiedlichen Fütterungsformen zugewiesen: einer Kontrollnahrung, die keinerlei entfettetes Larvenmehl oder Öl der Schwarzen Soldatenfliege beinhaltet; eine Fütterungsform, die 5 % entfettetes Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege beinhaltet; eine Fütterungsform, die 10 % entfettetes Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege beinhaltet; eine Fütterungsform, die 20 % entfettetes Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege beinhaltet; eine Fütterungsform, die 1 % Öl der Schwarzen Soldatenfliege beinhaltet; eine Fütterungsform, die 2,5 % Öl der Schwarzen Soldatenfliege beinhaltet; und letztlich eine Fütterungsform, die 5 % Öl der Schwarzen Soldatenfliege beinhaltet. Sämtliche Fütterungsformen basierten auf standardisierten Fütterungsempfehlungen der Association of American Feed Control. Die Mikronährstoffmenge variierte leicht zwischen den unterschiedlichen Fütterungsformen (Freel et al. 2021). Sämtliche Hunde befanden sich über den Verlauf des Experiments hinweg in guter Verfassung. Die Fütterungsdauer betrug 28 Tage. Zu Beginn und Ende des Experiments wurden Blutproben entnommen. Stuhlproben wurden zwischen dem 22. und 27. Tag des Experiments genommen. Darüber hinaus wurden Daten bezüglich des Körpergewichts sowie des Fressverhaltens erhoben (Freel et al. 2021). Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Veränderungen des Gewichts sowie der Nährstoffzufuhr der Hunde (Free et al. 2021), wobei die Kalorienzufuhr im Rahmen des Experiments gezielt individuell angepasst wurde, damit jeder Hund sein Körpergewicht beibehält (Freel et al. 2021). Die Stuhlqualität wurde als generell gut beschrieben. Weiterhin ließen sich keine bedenklichen Veränderungen der Blutwerte feststellen – sämtliche Blutwerte befanden sich durchgehend im Normalbereich. Statistisch signifikante Veränderungen der Verdaulichkeit der Nahrung fanden sich ebenfalls nicht (Freel et al. 2021).

Die Autoren schlussfolgerten, dass die Verwendung von Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege oder Öl der Schwarzen Soldatenfliege in der Verwendung als Futtermittel für gesunde Hunde sicher sind und gut akzeptiert werden (Free et al. 2021). Erwähnenswert ist, dass sämtliche Autoren bei einem Unternehmen eingestellt sind, welche die experimentell verfütterten Larvenmehl- sowie Ölprodukte produziert und somit ein etwaiger Bias vorhanden sein kann (Freel et al. 2021). Relevant für das vorliegende Forschungsvorhaben ist jedoch, dass keine Auffälligkeiten bezüglich allergischer Symptomatiken festgestellt wurden.

3. Kröger, Heide & Zentek (2020):

Kröger et al. untersuchten, wie sich die Fütterung von Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege auf zwölf gesunde Beagle-Hunde auswirkte. Es handelte sich um sechs männliche und sechs weibliche Tiere. Die Tiere wurden in zwei verschiedene Gruppen unterteilt. Eine Gruppe wurde mit Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege zugefüttert während die andere Gruppe Lammfleisch erhielt. In beiden Fällen diente das Larvenmehl beziehungsweise das Lammfleisch als primäre Proteinquelle (Kröger et al. 2020). Die Hunde wurden über einen Zeitraum von fünf Wochen hinweg einmal täglich mit der entsprechenden Futterauswahl gefüttert. Es wurden sowohl Blutproben zu Ende jeder Fütterungsperiode als auch Stuhlproben über fünf Tage während jeder Fütterungsperiode genommen (Kröger et al. 2020). Weder hinsichtlich der Blut- noch hinsichtlich der Stuhlproben fanden sich zum Ende des Experiments signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Kröger et al., 2020), wobei Parameter wie beispielsweise der Cholesterin- oder Triglyzeridwert anscheinend nicht untersucht wurden. Bedeutsam für das vorliegende Forschungsvorhaben ist, dass im Rahmen der Auswertung der

Blutproben einige Immunparameter analysiert wurden wie beispielsweise die Lymphozytenkonzentration. Im Allgemeinen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede (Kröger et al. 2020). Die Kotqualität und Nährstoffverdaulichkeit der jeweiligen Futtermittel wurde in beiden Gruppen als gut bewertet. Über den Studienverlauf wurden keine allergischen Symptomaten der vorberichtlich gesunden Versuchstiere beschrieben.

4. Meyer, Kölln & Kamphues (2019):

Meyer et al. untersuchten, wie sich unterschiedliche Fütterungsmethoden auf die Stuhlqualität von Hunden auswirken. Um dies zu leisten, bewerkstelligten sie ein Experiment mit sechs adulten, weiblichen Beagle-Hunden (Meyer et al. 2019). Die vorberichtlich gesunden Tiere wurden zwei unterschiedlichen Gruppen zugeordnet. Eine Gruppe wurde mit Geflügelmehl gefüttert, die andere Gruppe des Experiments mit teilentfettetem Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege.

Die Dauer des Experiments betrug insgesamt zehn Tage. Innerhalb der ersten fünf Tage wurden keine Proben gesammelt, da es sich im Rahmen des Studiendesigns um die sogenannte ‚Adaptionsphase‘ handelte, in der sich der Organismus der Tiere an die neue Fütterung gewöhnen sollte. In den darauffolgenden fünf Tagen wurden Daten zu Futterakzeptanz, Wasseraufnahme, Kotmasse und Kotabsatzfrequenz sowie Körpergewicht erhoben und Stuhlproben genommen (Meyer et al. 2019).

Im Rahmen des Experiments zeigten sich keine Veränderungen des Allgemeinbefindens der Hunde (Meyer et al. 2019), wobei sich diesbezüglich die relativ kurze Dauer des Experiments als Limitation anführen lässt. Die Stuhlmenge war im Fall der mit Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege gefütterten Gruppe etwas höher. Hinsichtlich der Stuhlfrequenz zeigten sich keine Unterschiede. Die Qualität der Stuhlkonsistenz fiel bei denjenigen Hunden, die mit dem Larvenmehl gefüttert wurden, signifikant besser aus (Meyer et al. 2019). Diese verschlechterte Stuhlqualität derjenigen Hunde, die mit Geflügelmehl gefüttert wurden, ist möglicherweise in der Tatsache begründet, dass das Geflügelmehl nicht nur aus Muskelfleisch bestand, sondern ebenfalls aus schwer verdaulichen Bestandteilen wie beispielsweise Knochen und Bindegewebe (Meyer et al. 2019). Über den Studienverlauf wurden keine allergischen Symptomaten der Versuchstiere beschrieben.

5. Bosch, Vervoort & Hendriks (2016):

Bosch et al. untersuchten, wie verdaulich bestimmte Insekten *in vitro* sind. Als Maßstab fungierte Kot von unterschiedlichen Hunden. Larven der Schwarzen Soldatenfliege, der Hausfliege und des gelben Mehlwurms wurden mitsamt frischem Kot von Hunden für einen Zeitraum von 48 Stunden inkubiert. Dies sollte die canine Verdauung und Futterfermentation im Dickdarm simulieren (Bosch et al. 2016). Es wurde Stuhl von drei unterschiedlichen Retriever-Hunden gesammelt. Die Ernährung der Hunde entsprach gängigen Empfehlungen. Die Fütterung der Hunde erfolgte über zwei Wochen vor der jeweiligen Stuhlprobennahme mit dem gleichen Dosenfutter (Bosch et al. 2016). Letztlich zeigte sich, dass die Bakterien innerhalb des Stuhls die verschiedenen Insektenarten in unterschiedlichem Ausmaß verdauten. So zeigte sich die höchste Verdaulichkeit im Fall der Hausfliegenlarven, die geringste Verdaulichkeit bei Larven der Schwarzen Soldatenfliege. Im Allgemeinen war die Verdaulichkeit jedoch hoch – 93,3 % beziehungsweise 87,7 % (Bosch et al. 2016).

Die Verdauungseffizienz des fäkalen Mikrobioms unterschied sich von Hund zu Hund (Bosch et al. 2016). Die Verdaulichkeit des Chitins war allgemein gering (Bosch et al. 2016).

Grundsätzlich zeigte sich eine signifikante Gasproduktion, die sich von Hundestuhl zu Hundestuhl teilweise erheblich unterschied (Bosch et al. 2016). Informationen bezüglich möglicher Allergene, Toxine oder Pathogene finden sich nicht.

6. *Bosch, Zhang, Oonincx & Hendriks (2014):*

Bosch et al. simulierten mittels eines Inkubators die Verdaulichkeit unterschiedlicher Insektenarten für Hunde und Katzen. Die verwendeten Insektenarten umfassten die Hausfliege, die Heuschrecke, den gelben Mehlwurm, den gemeinen Mehlwurm, Larven des großen Schwarzkäfers, Larven und Puppen der Schwarzen Soldatenfliege, die Eublaberus distanti-Kakerlake, die Totenkopfschabe und die argentinische Schabe. Als Vergleich fungierten Geflügelmehl, Fischmehl und Sojabohnenmehl (Bosch et al. 2014). Ihre Absicht war die Nachstellung der caninen Magen- und Dünndarm Verdauung der jeweiligen Substrate.

Der Protein- und Fettgehalt zwischen den unterschiedlichen Insektenarten sowie Metamorphose-Stadien variierte stark. Ebenso fanden sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Verdaulichkeit, wobei diese mutmaßlich durch den Chitingehalt der unterschiedlichen Insekten ausgelöst werden (Bosch et al. 2014). Die Verdaulichkeit war ebenfalls von großer Varianz und im Fall der Mehlwürmer sowie der Larve des großen Schwarzkäfers am höchsten, im Fall der Puppen sowie Larven der Schwarzen Soldatenfliege am geringsten. Trotz der relativ geringen Verdaulichkeit der Puppen sowie Larven der Schwarzen Soldatenfliege war sie dennoch ausreichend hoch, damit diese als Futtermittel verwendet werden können (Bosch et al. 2014).

7. *Bajuk et al. (2021):*

Bajuk et al. erforschten anhand einer *in-vitro*- Studie, inwiefern sich das Protein des gelben Mehlwurms als allergen klassifizieren lässt. Dies ging insbesondere im Kontext der Allergien von Hunden bezüglich Milben vorstatten (Bajuk et al. 2021). Es erfolgte demnach eine konkrete Untersuchung einer für die Forschungsfrage relevanten Variablen – der allergischen Erkrankung in Anbetracht von Insektenprotein, jedoch nicht im Kontext der Nahrungsmittelallergien. Bajuk et al. nahmen Blutproben von Hunden, welche vorberichtlich gegen Milben allergisch sind, und Hunden, die nicht gegen Milben allergisch sind. Die Tiere beider Gruppen hatten laut Besitzer zuvor nie Kontakt mit Mehlwurmprotein als Futtermittel gehabt. Mittels einer Inkubation analysierten sie die immunologischen Reaktionen gegen Proteine des gelben Mehlwurms. Der Datensatz umfasste 14 männliche und 17 weibliche Hunde im Alter zwischen 0,8 und 7,8 Jahren. Die Hunde wurden ausschließlich mit herkömmlicher Dosennahrung gefüttert. 10 Hunde waren vorberichtlich klinisch gesund, 21 klinisch allergisch gegen Milben (Bajuk et al. 2021). Protein von gelben Mehlwürmern, welche sich im finalen Larvenstadium befanden, wurden isoliert (Bajuk et al. 2021).

Es erfolgte eine erste Inkubation, um die Verdaulichkeit des Mehlwurmproteins zu überprüfen. Die Inkubation und Überprüfung der Verdaulichkeit erfolgte rein enzymatisch ohne die Verwendung von Hundestuhl (Bajuk et al. 2021).

Zweitens wurde das isolierte Protein mit den entnommenen Blutproben in Kontakt gebracht, um mögliche Immunreaktionen zu ermitteln (Bajuk et al. 2021). Antikörper gegen Milben wurden bei 66,7 % der Hunde identifiziert, die gegen Milben allergisch sind, und bemerkenswerterweise bei 80 % der Hunde, die nicht als allergisch erkrankt klassifiziert waren und anscheinend keine klinischen Symptome aufwiesen. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen klinischer Gesundheit und Antikörperprävalenz (Bajuk et al. 2021).

Die Verdaulichkeit des Proteins war im Rahmen dieser Studie relativ hoch (Bajuk et al. 2021). Bezüglich der Immunreaktionen im Blut zeigte sich bei sämtlichen Hunden eine signifikante Antikörperbildung. Im Fall enzymatisch vorverdauten Proteins zeigten sich insgesamt geringfügigere Antikörperreaktionen. Grundsätzlich zeigten sich keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen immunologischen Kreuzreaktionen gegen das Mehlwurmprotein, allergischer Vorerkrankung und Antikörperkonzentration im Blut (Bajuk et al. 2021). Im Allgemeinen konnte festgestellt werden, dass sich Antikörper an Mehlwurmprotein banden, sich diesbezüglich jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen klinisch gesunden und klinisch erkrankten Hunden fanden (Bajuk et al. 2021). Im Mehlwurmprotein selbst konnten Proteinverbindungen identifiziert werden, die zumindest bei Menschen als Allergene bekannt sind. In Anbetracht dessen schlussfolgerten Bajuk et al., dass ein potenzielles Risiko besteht, dass Hunde, die allergisch gegen Milben sind, eine Kreuzreaktion gegen Mehlwurmprotein aufweisen (Bajuk et al. 2021).

8. *Böhm et al. (2018):*

Böhm et al. untersuchten die Auswirkungen einer Fütterung mit Insektenprotein auf die allergische Symptomatik futtermittelallergischer Hunde. Sie entwickelten eine Interventionsstudie, an der 20 Hunde teilnahmen, die aufgrund einer Futtermittelallergie an atopischer Dermatitis litten (Böhm et al. 2018).

18 der 20 teilnehmenden Hunde litten zu Beginn der Studie akut an gering- bis mittelgradigem Juckreiz sowie an geringgradigen Hautläsionen (Böhm et al. 2018).

Informationen bezüglich dessen, wie die Hunde vor der Bewerksstellung des Experiments gefüttert wurden, finden sich nicht. Eine Kontrollgruppe wurde nicht eingeschlossen.

Nach einer Übergangsphase, welche drei bis vier Tage andauerte, wurden die Hunde über einen Zeitraum von 14 Tagen ausschließlich mit einem auf Mehlwurmlarvenmehl basierendem Alleinfuttermittel gefüttert. Das Futtermittel bestand zu 10 % aus Insekten. Es handelte sich hierbei um entfettetes Mehlwurmlarvenmehl (Böhm et al. 2018). In diesem Alleinfuttermittel findet sich kein Getreide, dessen Protein allergen ist, und es wird daher als hypoallergen beworben (Green Petfood 2021).

Vier Hunde konnten nicht bis zum Abschluss der Studie untersucht werden, da deren Besitzer nicht erreichbar waren. Ein weiterer „Hund reagierte nach wenigen Tagen mit starker Flatulenz, Vomitus und Foetor ex ore“ (Böhm et al. 2018). Nach insgesamt zehn Tagen brachen die Hundebesitzer das Experiment ab, da sich das Wohlbefinden des Hundes nicht verbesserte. Nach Abbruch des Experiments und dem damit verbundenen Wiederverwenden herkömmlicher Futtermittel kamen diese Symptome zum Erliegen (Böhm et al. 2018).

Bei zwölf von 15 Hunden kam es zu signifikanten Verbesserungen bezüglich der Hautläsionen. Bei zwei Hunden kam es zu einer geringfügigen Verschlechterung der Hautläsionen, bei einem Hund konnten keine Veränderungen festgestellt werden (Böhm et al. 2018). Hinsichtlich des Juckreizes kam es bei acht von 15 Hunden zu signifikanten Verbesserungen, bei drei Hunden kam es zu signifikanten Verschlechterungen, bei einem dieser Hunde machte sich eine signifikante, starke Verschlechterung bemerkbar. Bei vier Hunden konnte keine Veränderung festgestellt werden (Böhm et al. 2018).

Sämtliche der 15 Hundebesitzer, die bis zum Ende am Experiment teilnahmen, bewerteten die Verträglichkeit des insektenbasierten Alleinfuttermittels als sehr gut (Böhm et al. 2018). Die Fellqualität verbesserte sich bei sechs von 15 Hunden, blieb bei acht Hunden unverändert und wurde von einem Hundebesitzer nicht abschließend beurteilt (Böhm et al. 2018).

8.3 Tabellarischer Überblick der Studien

8.3.1 Tabelle 1: Studien von Lei et al. (2019) und Freel et al. (2021)

Studie	Lei et al. (2019) 'Evaluation of Supplementation of Defatted Black Soldier Fly (BSF) Larvae Meal in Beagle Dogs'	Freel et al. (2021) 'Digestibility and safety of dry black soldier fly larvae (BSFL) meal and black soldier fly larvae oil in dogs'
Intention	Auswirkung der Fütterung von entfettetem Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege auf gesunde Beagle Hündinnen	(1) Akzeptanz sowie (2) Verträglichkeit von entfettetem Larvenmehl und Öl der Schwarzen Soldatenfliege bei Beagle Hunden
Studiendesign	Kontrollierte Interventionsstudie	Beide Experimente (1) und (2) als kontrollierte Interventionsstudie
Studiendauer	Für 42 Tage 2x tgl. Fütterung der 15-18 Monate alten Beagle Hündinnen	(1) 48h (2) 28 Tage
Art und Zeitpunkt der Probennahme	Stuhl- und Blutproben zu Beginn und Ende der Studie	Blutproben zu Beginn und Ende der Studie Stuhlproben zwischen 22. & 27. Tag
Gruppeneinteilung	<p>(1) 3 weibliche (w) Beagle Hunde als Kontrollgruppe (KG) mit 0 % BSF Mehl Zusatz</p> <p>(2) 3 w Beagle Hunde mit 0,1 % BSF Mehl Anteil</p> <p>(3) 3 w Beagle Hunde mit 2 % BSF Mehl Anteil</p> <p>Ende 6. Woche: intraperitoneale Injektion mit Escherichia coli Lipopolysaccharid in einer Menge von 100 µg/kg Körpergewicht bei allen Hunden</p>	<p>(1) Akzeptanz von Futter mit BSFL-Mehl Anteil von 5,0 %, 10,0 % und 20,0 % oder BSFL-Öl Zusatz von 2,5 % und 5,0 % bei 10 männlichen und 10 weiblichen Beagle Hunden</p> <p>(2) Fütterung von 56 Beagle Hunden (16 männlich und 40 weiblich) in 7 Gruppen- 1. Kontrollgruppe mit 0 % BSF Zusatz,</p> <p>(3) Fütterung Versuchsgruppen 1. mit 5% BSFL Mehl, 2. Mit 10% BSFL Mehl, 3. 20% BSFL Mehl, 4. BSFL Öl Zusatz von 1%, 5. BSFL</p>

		Öl bei 2,5%, 6. BSFL Öl bei 5%
Insektenart & Metamorphose Stadium	Entfettetes Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege als Zusatz zu getreidebasiertem Futter	Teilweise entfettetes Larvenmehl und Larvenöl der Schwarzen Soldatenfliege
Bekannte Vorerkrankungen	keine	Keine
Untersuchte Parameter	<p>Bestimmung der Verdaulichkeit/ apparent total tract digestibility (ATTD) des jeweiligen Futters</p> <p>Chemische Zusammensetzung der jeweiligen Futtermittel</p> <p>Blutproben Entnahme für Blutchemie</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Konzentrationen von Alanin-Transaminase (ALT), Albumin, Aspartat-Transaminase (AST), Bilirubin, Blut-Harnstoff-Stickstoff (BUN), Globulin, Glukose und Protein (2) Konzentrationen von High-Density-Lipoprotein-Cholesterin (HDL-C), Low-Density-Lipoprotein-Cholesterin (LDL-C), Gesamtcholesterin (TC) und Triglycerid (TG) (3) Mengen an Kalzium (Ca), Chlor (Cl), Magnesium (Mg), Phosphor (P), Kalium (K) und Natrium (Na) (4) Konzentrationen von Tumor-Nekrose-Faktor-α (TNF-α) und Interleukin-6 (IL-6) (5) Konzentrationen von Superoxid-Dismutase (SOD) und Glutathion-Peroxidase (GPx) 	<p>Bestimmung der Verdaulichkeit/ apparent total tract digestibility (ATTD) des jeweiligen Futters</p> <p>Chemische Zusammensetzung der jeweiligen Futtermittel</p> <p>Futterakzeptanz und Futteraufnahme</p> <p>Hämatologie und Blutchemie</p> <p>Körpergewicht</p> <p>Bewertung der Kotqualität makroskopisch mittels des Score von Zahn (2010)</p>

Auffälligkeiten	Albumin und Calcium Konzentrationen im Blut stiegen linear mit ansteigendem Futteranteil des BSF Larvenmehls	Keine bedenklichen Veränderungen der Blutwerte, Gesamtverdaulichkeit, Futteraufnahme, des Gewichts oder der Nährstoffzufuhr
Beschriebene Verdaulichkeit	Verbesserte Verdaulichkeit (ATTD) des Futters mit steigendem BSF Larvenmehl Anteil, gemessen am Nährstoffanteil der Stuhlproben	ATTD war für alle untersuchten Nährstoffe hoch und die Kotqualität gut
Auftreten allergischer Symptome	Keine allergischen Symptome der Hündinnen über den Studienverlauf beschrieben	Keine allergischen Symptome der Hunde über den Studienverlauf beschrieben
Anmerkungen	Mögliche beschriebene anti-oxidative Wirkung des Chitinanteils des BSF Larvenmehls benötigt weitere Untersuchungen, Insektenanteil des Futtermittels war sehr niedrig, Versuchstiere waren vorberichtlich gesund und in niedriger Anzahl pro Gruppe	Das BSFL Mehl hat Geflügelnebenprodukt Mehl und Maismehl im Anteil von 5%, 10% oder 20% nur teilweise ersetzt. BSFL Öl hat Geflügelfett in einem Verhältnis von 1:1 im Anteil von 1%, 2,5 % und 5% nur teilweise ersetzt. Der Insektenanteil des Futters war somit niedrig Die beschriebene gute Verträglichkeit und Akzeptanz bei den gesunden Beagle Hunden dieser Studie bedeutet somit, dass BSFL Produkte eine Alternative als Proteinquelle darstellen und einem gesunden Tier in diesem prozentualen Anteil keine gesundheitlichen Nachteile bieten. Autoren der Studie jedoch Arbeitnehmer eines BSFL- Produkt Produzenten.

8.3.2 Tabelle 2: Studien von Kröger et al. (2020) und Meyer et al. (2019)

Studie	Kröger et al. (2020) ‘Evaluation of an extruded diet for adult dogs containing larvae meal from the Black soldier fly (<i>Hermetia illucens</i>)‘	Meyer et al. (2019) ‘Hundefutter mit Insekten? Untersuchungen zu Mischfuttermitteln mit Larven der Schwarzen Soldatenfliege als Proteinquelle‘
Intention	Vergleich von Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege und Lammfleisch als Hauptproteinquelle eines Hundefuttermittels in Hinblick auf Verdaulichkeit und immunologische Akzeptanz	Auswirkung der Fütterung von Geflügelmehl und Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege auf die Stuhlqualität von Hunden
Studiendesign	Cross- over- Studie	Cross- over- Studie
Studiendauer	5 Wochen	10 Tage (5 Tage Adaptationsphase & 5 Tage Kollektionsphase)
Art und Zeitpunkt der Probennahme	Blutproben zu Ende jeder Fütterungsperiode, Kotproben über fünf Tage während jeder Fütterungsperiode	Kotproben ab dem 6. bis zum einschließlich 10. Tag von jedem Kotabsatz der einzelnen Hunde
Gruppeneinteilung	(4) Fütterung von 6 Beagle Hunden (3 männlich & 3 weiblich) für 5 Wochen 1x tgl. mit Hundefutter mit 200g/ kg BSF Mehl Anteil (5) Fütterung von 6 Beagle Hunden (3 männlich & 3 weiblich) für 5 Wochen 1x tgl. mit Hundefutter mit Lammfleischmehl	(1) 3 weibliche unkastrierte Beagle Hunde (2) 3 weibliche unkastrierte Beagle Hunde 1. extrudiertes Alleinfuttermittel mit Geflügelmehl 2. extrudiertes Alleinfuttermittel mit BSFL Mehl 3. pelletiertes Alleinfuttermittel mit BSFL Mehl
Insektenart & Metamorphose Stadium	Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege als Zusatz zu getreidebasiertem Futter	kommerziell gezüchtete Larven der Schwarzen Soldatenfliege, teilentfettet und anschließend getrocknet

Bekannte Vorerkrankungen	keine	keine
Untersuchte Parameter	<p>Bestimmung der Verdaulichkeit/ apparent total tract digestibility (ATTD) des jeweiligen Futters</p> <p>Bestimmung Chitinkonzentration und Chitinaseaktivität im Kot</p> <p>Bestimmung mikrobieller Stoffwechselprodukte im Kot</p> <p>Hämatologie und Blutchemie sowie Lymphozytenphänotypisierung und-proliferation</p> <p>Kotmenge, Kotabsatzfrequenz & Bewertung der Kotqualität makroskopisch mittels des Score von Zahn (2010)</p>	<p>Bestimmung der scheinbaren Verdaulichkeit (ATTD) des jeweiligen Futters</p> <p>Futterakzeptanz, Körpergewicht</p> <p>Chemische Zusammensetzung der jeweiligen Futtermittel</p> <p>Tägliche Wasseraufnahme</p> <p>Kotmasse, Kotabsatzfrequenz & Bewertung der Kotqualität makroskopisch mittels des Score von Zahn (2010)</p>
Auffälligkeiten	Keine signifikanten Unterschiede der untersuchten Parameter der Blut- und Stuhlproben die BSFL konsumierende Gruppe zeigte eine geringere tägliche Kotmenge	Keine signifikanten Veränderungen der Gesamtverdaulichkeit, Futteraufnahme, des Gewichts oder der Nährstoffzufuhr
Beschriebene Verdaulichkeit	keine signifikanten Unterschiede der Gesamttrakt Nährstoffverdaulichkeit zwischen beiden Futtermitteln, Kotqualität beider Gruppen gut	die BSFL- Mehl gefütterten Tiere zeigten eine höhere Kotmenge und ihre Kotkonsistenz wurde als signifikant besser bewertet, die Stuhlfrequenz der BSFL- sowie der Geflügelmehl gefütterten Tiere war gleich
Auftreten allergischer Symptome	Keine allergischen Symptome der Hunde über den Studienverlauf beschrieben	Keine allergischen Symptome der Hunde über den Studienverlauf beschrieben
Anmerkungen	bei dieser Verfütterung von Larvenmehl der BSF an gesunde Hunde zeigten sich keine statistisch signifikanten Veränderungen der Immunparameter im Vergleich zu der Verfütterung von Lammfleisch.	verschlechterte Stuhlqualität der Hunde, welche mit Geflügelmehl gefüttert wurden, eventuell da Geflügelmehl nicht nur aus Muskelfleisch bestand, sondern auch aus schwer verdaulichen Bestandteilen wie beispielsweise Knochen und Bindegewebe

8.3.3 Tabelle 3: Studien von Bosch et al. (2016) und Bosch et al. (2014)

Studie	Bosch et al. (2016) ‘In vitro digestibility and fermentability of selected insects for dog foods‘	Bosch et al. (2014) ‘Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods‘
Intention	Bewertung der Proteinqualität und Fermentationsmerkmale der nicht verdaulichen Fraktionen von Larven der Schwarzen Soldatenfliege, der Stubenfliege sowie des Gelben Mehlwurms	Bewertung der Proteinqualität einer Auswahl von Insektenarten als potenzielle Zutaten für Hunde- und Katzenfutter
Studiendesign	<i>in-vitro</i> - Studie mit Absicht der Simulation der Futtermitteldigestion und -Fermentation des caninen Gastrointestinaltrakts von Insektenmehl	<i>in-vitro</i> - Studie mit Intention der Simulation der Futtermitteldigestion durch Magen und Dünndarm von Hunden. Verschiedene Insektensubstrate wurden hierbei mit Fisch-, Sojabohnen- und Geflügelmehl in Referenz gesetzt
Studiendauer	Fermentation für 48h der frischen Kotproben der Hunde angereichert mit dem jeweiligen Larvenmehl in einem speziellen Inkubator zur Simulation der caninen Dickdarmverdauung	Keine genauen Angaben da <i>in-vitro</i> Studie mittels Inkubator zur Simulation der caninen Verdauung
Art und Zeitpunkt der Probenahme	Kotproben unmittelbar nach dem Kotabsatz	
Gruppeneinteilung	Frischer Kot von drei adulten privaten Golden Retriever Hunden, welche das selbe Futtermittel in zwei gleichen Portionen über einen Zeitraum von mindestens 2 Wochen vor der Kotsammlung erhielten	<i>in-vitro</i> - Digestion via Inkubator der einzelnen Futtermittelsubstrate
Insektenart & Metamorphose- Stadium	gefriergetrocknete und gemahlene Larven der Schwarzen Soldatenfliege, Stubenfliegenlarven und Larven des Gelben Mehlwurms	Stubenfliegenpuppen, erwachsene Heimchen, Larven des Gelben Mehlwurms, Larven des Kleinen Mehlwurms, Larven des großen Schwarzkäfers, Larven und Puppen der Schwarzen Soldatenfliege, Sechsfleckschabe, Totenkopfschabe und Argentinische Schabe

Bekannte Vorerkrankungen	keine	keine
Untersuchte Parameter	<p>Chemische Zusammensetzung von gefriergetrockneten und gemahlene Larven</p> <p><i>in-vitro</i>-Verdaulichkeitskoeffizienten der gefriergetrockneten und gemahlene Larven</p> <p>Chemische Zusammensetzung der unverdauten Rückstände der gefriergetrockneten und gemahlene Larven</p> <p>Gasproduktion bei der Fermentation der gefriergetrockneten und gemahlene Larven</p>	<p>Chemische Zusammensetzung der jeweiligen Substrate</p> <p>Gehalt an Trockensubstanz, Stickstoff, Rohfett, Asche und Aminosäuren</p> <p><i>in-vitro</i>-Verdaulichkeit von organischen Stoffen und Stickstoffverbindungen</p> <p>Bestimmung der scheinbaren Verdaulichkeit des jeweiligen Substrats</p>
Auffälligkeiten	Chitinverdaulichkeit insgesamt niedrig	Große Varianz zwischen Protein- und Fettgehalt und Aminosäurewerten innerhalb der Insektenarten und der jeweiligen Metamorphose- Stadien
Beschriebene Verdaulichkeit	Verdaulichkeit am höchsten bei Larven der Hausfliege und am niedrigsten bei Larven der Schwarzen Soldatenfliege	<i>in-vitro</i> - Verdaulichkeit ebenfalls sehr individuell und mit hoher Varianz zwischen den Insektenarten und Metamorphose- Stadien, Verdaulichkeit bei Mehlwürmern und Larven des großen Schwarzkäfers am höchsten, Verdaulichkeit am niedrigsten bei Puppen und Larven der Schwarzen Soldatenfliege
Auftreten allergischer Symptome	keine allergischen Symptome der Hunde über den Studienverlauf beschrieben	keine
Anmerkungen	<p><i>in-vitro</i> allgemein beobachtete gute Verdaulichkeit von 93,3 % beziehungsweise 87,7 % der drei Insektenmehle. Weitere Exploration dieser Angaben durch <i>in-vivo</i> Studien notwendig.</p> <p>Potentieller Nutzen schlecht verdaulicher Fraktionen wie z.B. Chitin erfordert weiterer Forschung</p>	<p>Unterschiedliche Verdaulichkeit der einzelnen Insektenarten abhängig vom jeweiligen Metamorphose- Stadium sowie dem jeweiligen Chitin-gehalt.</p> <p>Ein Nutzen als Futtermittel dieser Insektenarten wird jedoch in diesem</p>

		<p><i>in-vitro</i>- Versuch auch für die Insekten mit der vergleichsweise niedrigsten Verdaulichkeit nicht ausgeschlossen, da diese vergleichsweise immer noch ausreichend hoch für die Nutzung als Futtermittel bewertet wird.</p> <p>Eine bessere Verwertung des Chitins und ein mögliches Zunutzen machen dieser Rohfaser erfordert weitere Forschung</p>
--	--	--

8.3.4 Tabelle 4: Studien von Bajuk et al. (2021) und Böhm et al. (2018)

Studie	Bajuk et al. (2021) ‘Insect Protein-Based Diet as Potential Risk of Allergy in Dogs’	Böhm et al. (2018) ‘Effekt eines Insektenprotein-basierten Futters auf die Symptomatik von futtermittelallergischen Hunden‘
Intention	Bewertung der möglichen negativen Reaktionen des Immunsystems von Hunden auf Proteine des Gelben Mehlwurms	Auswirkung der Fütterung von Insektenprotein auf allergische Symptomatik von Hunden mit Futtermittelallergie
Studiendesign	<i>in-vitro</i> - Studie zur Untersuchung der Interaktion zwischen Mehlwurmproteinen und dem Immunsystem von allergischen Hunden, welche auf Milben sensibilisiert sind, und dem Immunsystem klinisch gesunder Hunde	Unverblindete Fallstudie
Studiendauer	keine genaue Angabe	Graduelle Umstellungsphase der Fütterung von 3-4 Tagen und Studiendauer von 14 Tagen
Art und Zeitpunkt der Probennahme	Blutproben zu Studienbeginn von 14 männlichen und 17 weiblichen Hunden verschiedener Rassen im Alter zwischen 0,8 bis 7,8 Jahren in Privatbesitz	Keine Angabe
Gruppeneinteilung	<p>(1) Blutproben von 21 Hunden welche klinisch allergisch sind</p> <p>(2) Blutproben von 10 Hunden welche klinisch gesund sind</p> <p>Keiner der Hunde hatte vorberichtlich zuvor Futter mit Zusatz des Gelben Mehlwurms konsumiert</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Blutproben aller Hunde zur Bestimmung spezifischer Antikörper gegen Milbenproteine 2. enzymatische Inkubation des Insektenprotein zur Prüfung der Verdaulichkeit 3. Inkubation des Insektenproteins mit den Blutproben zur Bestimmung spezifischer Antikörper gegen Mehlwurmprotein 	<p>20 Hunde (männlich und weiblich, kastriert und unkastriert) verschiedener Rassen und verschiedenen Alters in Privatbesitz</p> <p>Bei allen Hunden wurde zuvor eine Futtermittelunverträglichkeit mittels Eliminationsdiät und Provokationsprobe diagnostiziert</p> <p>Hunde wurden zu Beginn und Ende der Studie von Dermatologen untersucht zur Erstellung eines individuellen Läsionsscores für die Atopische Dermatitis</p> <p>Fellqualität und Juckreiz wurden zu Beginn und Ende der Studie von den jeweiligen Besitzern beurteilt</p>

Insektenart & Metamorphose Stadium	Mehlwurmlarven Protein	entfettetes Mehlwurmlarvenmehl
Bekannte Vorerkrankungen	21 Hunde vorberichtlich und klinisch mit Milbenallergie	20 Hunde mit atopischer Dermatitis aufgrund einer diagnostizierten Futtermittelunverträglichkeit
Untersuchte Parameter	<p>Enzymatische Verdaulichkeit von Mehlwurmprotein</p> <p>Identifikation verschiedener Proteine der Gelben Mehlwurmlarven und Bestimmung allergener Potenziale dieser über eine Internetdatenbank</p> <p>Antikörper Konzentration im Blut gegen Milbenproteine</p> <p>Antikörper Konzentration im Blut gegen Mehlwurmlarvenprotein, vor und nach enzymatischer Verdauung dessen</p>	<p>Juckreiz</p> <p>Fellqualität</p> <p>Beurteilung Hautläsionen</p> <p>Verträglichkeit</p>
Auffälligkeiten	<p>Antikörper- Bildung gegen Milben bei allergisch vorgestellten Hunden sowie auch bei als ‚gesund‘ klassifizierten Hunden, Kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen klinischer Gesundheit und Antikörper Prävalenz</p> <p>Bei sämtlichen Hunden signifikante Antikörperbildung gegen Mehlwurmprotein</p> <p>Proteinverdaulichkeit hoch</p>	<p>Nur 15/ 20 Hunden schlossen die Studie ab</p> <p>Juckreiz: 8/15 signifikante Verbesserung 3/15 signifikante Verschlechterung 4/15 keine Veränderung</p> <p>Fellqualität: 6/15 Verbesserung 8/15 keine Veränderung 1/15 nicht beurteilt</p> <p>Hautläsionen: 12/15 signifikante Verbesserung 2/15 milde Verschlechterung 1/15 keine Veränderung</p> <p>Verträglichkeit: Bei den 15 Hunden welche die Studie beendeten wurde die Palatibilität als sehr gut bewertet und es gab</p>
Beschriebene Verdaulichkeit		

Auftreten allergischer Symptome	keine allergischen Symptome der Hunde über den Studienverlauf beschrieben	keine Beanstandungen der Verdaulichkeit
Anmerkungen	Kein signifikanter Zusammenhang zwischen immunologischer Kreuzreaktion gegen Mehlwurmprotein und allergischer Vorerkrankung gegen Milben sowie einer hohen Antikörper Konzentration im Blut. Das mögliche Bestehen einer allergischen Kreuzreaktion zwischen Milben- und Mehlwurmprotein sollte durch in- vivo Studien geprüft werden, um den Gesamtkontext allergischer Erkrankungen zu berücksichtigen	Ein Hund zeigte nach wenigen Tagen starke Flatulenz, Vomitus und Foetor ex ore und musste die Studie abbrechen Keine Kontrollgruppe, nur geringer Anteil des Insektenmehls von 10 % am Hundefutter. Bei der Mehrheit von 12/15 Hunden welche die Studie abschlossen zeigte sich keine Verschlechterung der atopischen Dermatitis. Weitere Studien zur Verträglichkeit auch mit anderen Zusammensetzungen der Futtermittelkomponenten und der Erforschung möglicher Kreuzreaktionen und Allergene sind interessant.

8.4 Allgemeine Diskussion der Ergebnisse

Bei drei der insgesamt acht begutachteten Studien, und zwar den Studien von Bosch et al. (2014), Bosch et al. (2016) sowie Bajuk et al. (2021), handelt es sich um *in-vitro*- Studien. Ebenfalls bei drei Studien wurde die immunologische Auswirkung von Insektenfuttermitteln mit einbezogen, diese Studien waren von Böhm et al. (2018), Kröger et al. (2020) und Bajuk et al. (2021). In diesem Kontext befasste sich jedoch auch nur die Studie von Böhm et al. (2018) als unverblindete Fallstudie mit der tatsächlichen Auswirkung von Insektenfutter auf Hunde mit diagnostizierter Futtermittelallergie.

Bei Bajuk et al. (2021) wurde zwar auch die immunologische Reaktion auf Insektenprotein im Rahmen einer *in-vitro*- Studie mit der Untersuchung der Antikörper Bildung im Blut ermittelt, allerdings ist eine solche *in-vitro*- Studie durch ihr limitiertes Simulationsvermögen physiologischer Vorgänge immer begrenzt auf die im Körper ablaufenden Mechanismen übertragbar. Bajuk et al. hatten die Intention, eine mögliche allergische Kreuzreaktion zwischen Mehlwurmproteine sowie Milbenproteinen festzustellen. Einige der Versuchshunde, deren Blutproben auf Antikörper Bildung gegen Mehlwurm- sowie Milbenproteine untersucht wurden, waren somit vorberichtlich mit einer Milbenallergie diagnostiziert worden. Dies war jedoch keine Futtermittelallergie sondern eine Allergie gegen Vorratsmilben. Insgesamt zeigte sich eine signifikante Antikörperbildung gegen Mehlwurmproteine bei sämtlichen Tieren, unabhängig von voriger diagnostizierter Milbenallergie. Auch ein Vorhandensein von einem hohen Antikörpertiter gegen Milbenproteine bei Hunden der Gruppe der vorberichtlich Milbenallergie freien Tiere war signifikant vertreten. Die Schlussfolgerung von Bajuk et al.

(2021), dass Kreuzreaktionen zwischen einer Futtermittelallergie und einer Kontaktallergie durch Insekten bestehen können, müsste weiter durch *in-vivo*- Studien geprüft werden.

Bajuk et al. identifizierten (2021) jedoch auch für den humanen Organismus bekannte Allergene im Mehlwurmprotein. Auch hier besteht hinsichtlich der Verträglichkeit dieser durch futtermittelallergische Hunde weiterer Forschungsbedarf. Bei der *in-vivo*- Studie von Kröger et al. (2020) zeigte sich zumindest hinsichtlich der untersuchten Immunparameter im Rahmen der Lymphozytenbeurteilung bei gesunden Hunden kein signifikanter Unterschied durch die Fütterung mit Insektenmehl oder Lammfleischmehl. Insgesamt wurden bei den Studien von Kröger et al. (2020) und Meyer et al. (2019), sowie den Studien von Lei et al. (2019) und Freel et al. (2021) durch die Fütterung gesunder Versuchshunde mit Insektenmehlzusatz, eine gute Verträglichkeit desselben und keine negativen Veränderungen der untersuchten Blut- und Stuhlparameter berichtet.

Bei den gesunden Versuchstieren, dieser vier soeben genannten *in-vivo*- Studien, wurde zudem eine gute Akzeptanz des jeweiligen mit Insektenmehl versetzten Futters- und in keinem Fall von einer allergischen Symptomatik der Versuchshunde über den Studienverlauf berichtet.

Durch die *in-vitro*- Studien von Bosch et al. (2014) sowie Bosch et al. (2016) ließ sich trotz ihres reduktionistischen Charakters im Hinblick auf die physiologischen *in-vivo* ablaufenden Verdauungsvorgänge, eine hohe Varianz der Verdaulichkeit sowie des Nährstoffgehalts verschiedener Insektenarten beobachten, welche vor allem im Chitin Gehalt der jeweiligen Art sowie des jeweiligen Metamorphose Stadiums begründbar zu sein scheint. Insgesamt war die beschriebene *in-vitro* Verdauung jedoch immer noch hoch, müsste aber auch anhand von *in-vivo*- Studien weiter eruiert werden. Zusätzlich bedarf eine bessere Verwertung des Chitins weiterer Forschung.

Die Studie von Böhm et al. (2018) stellt im Hinblick auf Insektenprotein als mögliches neues gut verträgliches Futtermittel für futtermittelallergische Hunde, die bedeutsamste Forschung dar. Alle Versuchshunde dieser Studie litten vorberichtlich an einer ,durch den Goldstandard der Eliminationsdiät mit anschließender Provokationsprobe, diagnostizierten Futtermittelallergie. In diesem Fall äußerte sich diese bei sämtlichen an der Studie teilnehmenden Hunden durch eine Hautsymptomatik. Die Hunde waren akut von der Pathogenese der atopischen Dermatitis betroffen und wurden über die Dauer der Studie hinsichtlich ihres Juckreizes, ihrer Hautläsionen sowie der Fellqualität beurteilt. Von den zu Beginn zwanzig vorgestellten Hunden, beendeten lediglich fünfzehn die Studie, da vier der Tierbesitzer sich nicht mehr rückmeldeten und ein Hund, aufgrund sehr starker Verschlechterung der allergischen Symptomatik, die Studie abbrechen musste.

Hinsichtlich der allergischen Symptomatik der Studienabsolventen zeigte sich ein insgesamt durchmisches Ergebnis. Bei einer Mehrheit der Hunde fand eine signifikante Verbesserung der Hautläsionen sowie des Juckreizes statt, jedoch wurde ebenfalls in beiden Kategorien auch eine signifikante Verschlechterung bei anderen Studienteilnehmern festgestellt. Bei allen Kategorien resultierte die Futterumstellung mit Insektenprotein als Zusatz auch in keinerlei Veränderung der Symptomatik. Diese veränderten oder gleichbleibenden Symptomatiken lassen sich jedoch nicht ohne Weiteres auf die Insektenbestandteile des verwendeten Futtermittels zurückführen. Dieses bestand nämlich lediglich zu 10 % aus Insektenmehl. Da keine In-

formationen bezüglich der vorigen individuellen Fütterung vorliegt, können die weiteren Bestandteile wie zum Beispiel die Hefe, das Kartoffeleiweiß und das Johannisbrotmehl ebenfalls eine allergische Symptomatik bewirkt haben.

Eine Eliminationsdiät mit nachfolgenden Provokationsproben und dem daraus resultierenden strikten Vermeiden der als Allergene identifizierten Futtermittel, ist für futtermittelallergische Hunde die wahrscheinlich langfristig wichtigste Behandlungsmethode.

9. Evaluation der Thesen

1. Wie sich eine einseitige Insektenfütterung auf die Gesundheit von an Futtermittelallergien leidenden Hunden auswirkt, ist nach wie vor unklar. Darüber hinaus ist nicht klar, wie sich eine einseitige Insektenfütterung bei langer Verabreichung auf die Gesundheit von Hunden auswirkt, welche nicht an Futtermittelallergien leiden. In Anbetracht der Tatsache, dass sich die spezifische Nährstoffkonzentration zwischen unterschiedlichen Insektenarten bisweilen zumindest hinsichtlich der Mikronährstoffe erheblich unterscheidet, sind insektenproteinbasierte Futtermittel, in denen ausschließlich eine Insektenart enthalten sind, eher kritisch zu bewerten. Auch bei Hundefutter auf Insektenbasis sollte somit eine genaue Auswahl und Anpassung an die individuellen Bedürfnisse des jeweiligen Tieres erfolgen. Bei konventionell erhältlichen Futtermitteln für Hunde, mit Insektenprotein als Hauptprotein- oder einzige tierische Proteinquelle, ist jedoch meist eine genaue Skalierung für die unterschiedlichen Größen und Altersbereiche mit Empfehlungen vorhanden. Diese sind nach Fütterungsempfehlungen mit allen notwendigen Nährstoffen angereichert und können auch über längere Zeit, bei guter Akzeptanz und Verträglichkeit durch das jeweilige Einzeltier, verfüttert werden.

2. In Anbetracht der geleisteten theoretischen Vorarbeit lassen sich hinsichtlich des Verschlechterns der allergischen Symptomaten nun sowohl die Insektenproteine selbst, als auch andere mögliche Allergene, Pestizide oder Toxine in Betracht ziehen.

Hinsichtlich des Verbesserns der allergischen Symptomaten ließe sich beispielsweise auch vermuten, dass die Hunde zuvor allergisch gegen andere Proteine reagiert hatten, mit denen sie gefüttert wurden und diese bei dem im Versuch verwendeten Futtermittel nicht enthalten waren.

Bei futtermittelallergischen Tieren, wie den Versuchshunden der Studie von Böhm et al. (2018), welche sich in einem akuten Allergiestadium befinden, ist ein häufig stark in Mitleidenschaft gezogener Verdauungstrakt und eine starke Reaktivität auch auf dem Organismus bis dato unbekannte Proteine oft der limitierende Faktor für eine rasche symptomatische Besserung der Tiere. In manchen Fällen reicht die Fütterung der Eliminationsdiät nicht aus um den Tieren eine schnelle Linderung ihrer Symptomatik zu bringen und es wird zusätzlich eine medikamentelle Suppression der Immunabwehr eingeleitet.

3. Was sich bezüglich der Studie von Böhm et al. (2018) festhalten lässt, ist, dass die Prognosen eines gleichzeitigen Verbesserns sowie Verschlechterns der allergischen Symptomatik zutreffend waren. Zutreffend war auch die Prognose, dass die Zunahme allergischer Symptomaten in einigen Fällen gravierend ausfallen kann – wie beispielsweise bei dem Hund, dessen Besitzer das Experiment nach zehn Tagen abbrachen.

Unklar ist jedoch, welche Faktoren maßgeblich zum Verbessern beziehungsweise Verschlechtern der allergischen Symptomaten geführt haben.

Bei futtermittelallergischen Tieren, welche sich in einer akuten Erkrankungsphase befinden und dadurch oftmals ein entzündliches Geschehen des Verdauungstraktes vorliegt, ist die Barrierefunktion desselben nicht gegeben und die Immunabwehr vermindert oder hyperreaktiv. Somit ist es sämtlichen Stoffen möglich, auch mit kleiner atomarer Masse, den Gastrointestinaltrakt zu überwinden und zu einer Immunreaktion zu führen. Dies führt zu einer Antikör-

perbildung des Organismus und einer etwaigen Sensibilisierung, welche bei erneutem Kontakt mit den exogenen Stoffen in einer starken Abwehrreaktion zu resultieren vermag. Ebenfalls kann die Entstehung eines langfristigen Allergiegeschehens begünstigt sein.

10. Veterinärmedizinischer Kontext

Insgesamt erschließt sich die Notwendigkeit, mehr Aufmerksamkeit für die vielfältige Symptomatik von caninen Futtermittelallergien zu schaffen, da eine Therapie und Futterumstellung im Anfangsstadium dieser leichter zur Tilgung der Symptome und verbundenen Verbesserung der Lebensqualität führen. Generell ist es wichtig, die Bedeutsamkeit der Eliminationsdiäten zu betonen sowie die darauf zu folgende Provokation mit anschließend vollständiger Vermeidung der als Allergene wirkenden Futtermittelbestandteile.

Die Compliance der Besitzer ist hierbei stark gefordert und es ist ein aufwendiger diagnostischer Weg, allerdings gilt diese Methode derzeit als Goldstandard. Denn wie auch die Studie von Bajuk et al. (2021) verdeutlichte, ist ein reines Vorhandensein der Antikörper gegen bestimmte Proteine, keinesfalls ein Beweis für eine klinische Erkrankung.

Für gesunde Tiere zeigte sich im Rahmen dieser beschriebenen Studien, dass die Futtermittel mit Insektenprotein über den meist kurzen Zeitraum des Studienverlaufs, nicht zu einem Neuentstehen von allergischen Symptomatiken bei gesunden Hunden geführt haben. Jedoch ist die Pathogenese von Futtermittelallergien nicht nur multikausal, sondern entwickelt sich häufig über einen längeren Zeitraum hinweg (Oyoshi et al. 2014).

Eine Kompromittierung des Gastrointestinaltrakts kann über mehrere Tage, Wochen oder sogar Monate entstehen. Folglich wird sich erst im Laufe der Zeit zeigen, ob Insektenfuttermittel tatsächlich aus veterinärmedizinischer Perspektive als unbedenklich bewertbar sind.

Bezüglich Insektenfutter im Allgemeinen ist aus veterinärmedizinischer Perspektive weiterhin relevant, dass eine einzelne Insektenart nicht das volle Ernährungsspektrum abdecken kann. Die Langzeitfolgen des einseitigen Insektenproteinkonsums sind bis dato unbekannt. Wünschenswert wäre eine Durchmischung der Insektenarten, wenn eine Fütterung mit Insekten erfolgt und eine individuelle Anpassung an die Bedürfnisse des Tieres. Auch Hundefutterherstellern sollte empfohlen werden, insektenbasiertes Hundefutter vielfältiger hinsichtlich der Artenauswahl zu gestalten und sich nicht auf eine einzelne Insektenart zu beschränken.

11. Wissenschaftliches Fazit

Fundamental für jede veterinärmedizinische Maßnahme oder Empfehlung ist die Berücksichtigung des Kontexts, in dem sich ein Tier befindet. Dies gilt auch für die Verfütterung von Insektennahrung bei Hunden, welche an Futtermittelallergien leiden. Eine Fütterung mit Insektennahrung kann im Einzelfall durchaus sinnvoll oder zumindest legitim sein. Insektenprotein ist zudem für die meisten Hunde ein noch unbekanntes Futtermittel und kann somit in Relation mit anderen, dem Tier bis dato unbekanntem Futtermitteln auch als Eliminationsdiät eingesetzt werden. Die essentielle Bedingung bei der Handhabung von futtermittelallergischen Tieren, sowie auch der generellen Fütterung von Hunden, bleibt die individuelle Anpassung und Auswahl.

Die Fütterung mit Insektennahrung vermag allerdings durchaus auch zu mehr oder weniger schwerwiegenden gesundheitlichen sowie immunologischen Komplikationen zu führen. Folglich kann keine klare Empfehlung ausgesprochen werden. Jeder Einzelfall muss separat bewertet werden. Es kann als Vorsichtsmaßnahme sinnvoll sein, bei einer Futterumstellung eine Gewöhnungsphase einzubauen, in der das Futter langsam fortschreitend ausgetauscht wird. Sollte eine Verschlechterung der allergischen Symptome eintreten, sollte eine andere Fütterungsstrategie verfolgt werden.

Nicht abschließend geklärt ist, ob die Insektenzucht tatsächlich in großem Maße umsetzbar und bei hoher Produktionszahl immer noch als ökologisch vorteilhaft gegenüber der konventionellen Nutztierzucht zu bewerten ist. Es lässt sich jedoch zumindest festhalten, dass die Insektenzucht potenziell zu einer effizienteren Ressourcenverwendung führt, da sich Abfallprodukte und für Menschen unverdauliche organische Materie an Insekten verfüttern lassen, wobei diesbezüglich potenzielle Risiken der Pathogenbelastung bestehen. Darüber hinaus reproduzieren sich Insekten schnell, weisen eine kurze Generationszeit auf und sind effiziente Futtermittelverwerter, sofern die verfütterte Nahrung hochwertig ist.

12. Zusammenfassung

Diese Diplomarbeit befasst sich im Rahmen einer Literaturrecherche mit der Verträglichkeit von insektenbasierten Futtermitteln bei nahrungsmittelsensiblen Hunden. Es wird die momentane Forschungslage zur ernährungsphysiologischen Qualität und Bekömmlichkeit von insektenbasiertem Hundefutter dargestellt und die gesetzlichen Grundlagen der Produktion und Vermarktung von Insektennahrung ermittelt.

Insgesamt zeigt sich, dass insektenbasierte Futtermittel im Nährstoffgehalt und ihrer diesbezüglichen Qualität als Futtermittel für Hunde sehr breit gefächert sind und sich je nach verarbeiteter Insektenart sowie Metamorphose Stadium derselben stark unterscheiden. Bei gesunden Hunden zeigte sich in dieser Literaturrecherche eine insgesamt gute Verträglichkeit der Futtermittel mit Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege als Insektenzusatz. Bei Hunden mit bekannter Futtermittelunverträglichkeit wurde ein ambivalenteres Bild ersichtlich. Hier führte eine insektenbasierte Fütterung zu einer verbesserten sowie zu einer verschlechterten Symptomatik der Futtermittelunverträglichkeit bei den Versuchstieren.

Die aufgeführten *in-vitro* Studien zeigten zudem, dass eine Antikörper-Bildung gegen Insektenprotein, bei klinisch gesunden Hunden in gleichem Maße wie bei klinisch als futtermittelallergisch bekannten Hunden erfolgt. Eine klinische Reaktion auf das gefütterte Insektenprotein in Form einer Futtermittelunverträglichkeit, ist somit von der Konstitution des Individuums wie beispielsweise der Intaktheit des Immunsystems, der Mukosabarriere des Gastrointestinaltraktes und der oralen Toleranz abhängig.

Allgemein zeigt sich für nahrungsmittelsensible Hunde die Wichtigkeit einer Eliminationsdiät verbunden mit dazu gehörigen Provokationsproben und folgendem Ausschluss der als unverträglich erwiesenen Futterbestandteile. Viele der in den in dieser Diplomarbeit begutachteten Studien arbeiteten mit Mischfuttermitteln, bei welchen die Versuchshunde im Fall einer Futtermittelunverträglichkeit auch auf andere Proteinquellen als Allergene reagieren konnten. Insektenbasierte Futtermittel können somit, als für die meisten Hunde neuwertige und dem Immunsystem als Allergen unbekannte Proteinquelle, eine Alternative zu konventionellen Futtermitteln darstellen, müssen jedoch im Einzelfall erprobt werden und als Mischfutter mit anderen, für den jeweiligen Hund, gut verträglichen Futtermittelkomponenten kombiniert sein. Bei einer insgesamt schlechten Verfassung der futtermittelsensiblen Hunde und einer vorliegenden Schädigung des Gastrointestinaltraktes oder einer fehlgesteuerten Immunregulation, können aber auch die Insektenproteine als potente Antigene wirken und eine allergische Reaktion hervorrufen.

13. Summary

This diploma thesis deals with the compatibility of insect-based feeds in nutritionally sensitive dogs within the framework of a literature research. The current research situation on the nutritional quality and digestibility of insect-based dog food is presented and the legal basis for the production and marketing of insect-based food is determined.

Overall, it is shown that insect-based feeds are very broad in nutrient content and their related quality as feed for dogs and vary greatly depending on the processed insect species as well as the metamorphosis stage of the same. Regarding healthy dogs, this literature research showed an overall good tolerance of feeds with larval meal of the black soldier fly as an insect supplement. In the case of dogs with known feed intolerance, a more ambivalent picture became apparent. Here, insect-based feeding led to improved as well as worsened symptoms of feed intolerance. The listed *in vitro* studies also showed that antibody formation against insect protein occurs to the same extent in clinically healthy dogs as in dogs known to be clinically allergic to the food. A clinical reaction to the fed insect protein in the form of food intolerance, is therefore dependent on the constitution of the individual such as the integrity of the immune system, the mucosal barrier of the gastrointestinal tract and oral tolerance.

In general, for food-sensitive dogs, the importance of an elimination diet as well as provocation testing and the following exclusion of dietary components are found to be treatment steps of particular importance. Many of the studies investigated in this thesis used compound feeds in which the dogs could also react to other protein sources as allergens in the case of feed intolerance.

Insect-based feeds, as a protein source that is new to most dogs and unknown to the immune system as an allergen, can thus represent an alternative to conventional feeds. However, it should be tested on a case-by-case basis and, as a mixed feed, must be combined with other feed components that are well tolerated by the respective dog. In the case of an overall poor condition of the food-sensitive dog and an existing damage of the gastrointestinal tract or a malfunctioning immune regulation, the insect proteins can also act as potent antigens and cause an allergic reaction.

14. Eidesstattliche Erklärung:

Ich versichere an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und alle wörtlich und sinngemäß übernommenen Textstellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Stellen, die anderen Werken (gilt ebenso für Werke aus elektronischen Datenbanken oder aus dem Internet) wörtlich oder sinngemäß entnommen sind, habe ich unter Angabe der Quelle und Einhaltung der Regeln wissenschaftlichen Zitierens kenntlich gemacht. Die Versicherung bezieht sich auch auf in der Arbeit gelieferte Zeichnungen, Skizzen, bildliche Darstellungen und dergleichen.

Datum: Bonn, 20. 02. 2022

Unterschrift: 

15. Literaturverzeichnis:

Aarts K, Hubert A, Katz H. 2014. Insects, Food Safety First - First time Right: Regulatory roadmap for insect products in Feed and Food applications. International Producers of Insects for Feed and Food.

Adeyemi HA, Arogbokun OA, Jaiyeola TO, Ajiboye J, Bawala AE, Berinyuy BE. 2019. The prospects of the use of insects as an alternative source of proteins and medicine for human. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences* 9 (1), 39–45. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2019.9.1.0129>.

Alessandri G, Milani C, Mancabelli M, Mangifesta M, Lugli L, Viappiani L, Duranti S, Turroni S, Ossiprandi M, van Sinderen D, Ventura M. 2019. Metagenomic dissection of the canine gut microbiota: insights into taxonomic, metabolic and nutritional features. *Environmental microbiology* 21 (4), 1331–1343. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14540>.

Alltech. Global Feed Survey (2016), https://cdn2.hubspot.net/hubfs/745395/PDFs/2016GFS-Booklet_SE3.pdf (August 2021)

Aniebo A, Owen O. 2010. Effects of age and method of drying on the proximate composition of housefly larvae (*Musca domestica* Linnaeus) meal (HFLM). *Pakistan Journal of Nutrition*. 9:485-487

Axelsson E, Ratnakumar A, Arendt ML, Maqbool Khurram, Webster MT, Perlofski M, Liberg O, Arnemo JM, H A, Lindblad-Toh K. 2013. The genomic signature of dog domestication reveals adaptation to a starch-rich diet. *Nature* 495 (7441), 360–364. <https://doi.org/10.1038/nature11837>.

Banjo AD, Lawal OA, Adeduji OO. (2005): Bacteria and fungi isolated from house fly (*Musca domestica* L.) larvae. *Afr. J. Biotechnol.* 4: 780-784

Barragan-Fonseca KB, Dicke M, van Loon JJA. 2017. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review, *Journal of Insects as Food and Feed*, 3:2: 105-120. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0055>.

Barry T. 2004. Evaluation of the economic, social, and biological feasibility of bioconverting food wastes with the black soldier fly (*Hermetia illucens*).

Beard RL, Sands DC. 1973. Factors affecting degradation of poultry manure by flies. *Environmental Entomology*. 2:801-806.

Belluco S, Halloran A, Ricci A. 2017. New protein sources and food legislation: The case of edible insects and EU law. *Food Security*, 9: 803.

Belluco S, Losasso C, Maggioletti M, Alonzi CC, Paoletti MG, Ricci A. 2013. Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 12:296-313.

Bergmann KC, Heinrich J, Niemann H. 2016. Aktueller Stand zur Verbreitung von Allergien in Deutschland. Positionspapier der Kommission Umweltmedizin am Robert Koch-Institut. *Allergo Journal International*, 25 (6): 6–10.

Biourge VC, Fontaine J, Vroom MW. 2004. Diagnosis of adverse reactions to food in dogs: Efficacy of a soy-isolate hydrolyzate-based diet. *Journal of Nutrition*, 134: 2062-2064.

Bodnaryk R, Morrison P. 1966. The relationship between nutrition, haemolymph proteins, and ovarian development in *Musca domestica*. *Journal of Insect Physiology*. 12:963-976.

Böhm T, Klinger CJ, Gedon N, Udraitė L, Hiltenkamp K, Mueller RS. 2018. Effekt eines Insektenprotein-basierten Futters auf die Symptomatik von futtermittelallergischen Hunden. *Tierärztliche Praxis. Ausgabe K, Kleintiere/Heimtiere* 46 (5): 297–302. <https://doi.org/10.15654/TPK-170833>.

Bosch G, Hagen-Plantinga EA, Hendriks WH. 2015. Dietary nutrient profiles of wild wolves: insights for optimal dog nutrition? *British Journal of Nutrition*, 113 S1: 40-54. <https://doi.org/10.1017/S0007114514002311>.

Bosch G, Vervoort JJM, Hendriks WH. 2016. In vitro digestibility and fermentability of selected insects for dog foods. *Animal Feed Science and Technology* 221, 174–184. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.018>.

Bosch G, Zhang S, Oonincx DG, Hendriks WH. 2014. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. *Journal of nutritional science*, 3, e29. <https://doi.org/10.1017/jns.2014>.

Bradley SW, Sheppard D. 1984. House fly oviposition inhibition by larvae of *Hermetia illucens*, the black soldier fly. *Journal of chemical ecology*. 10:853-859

Braithwaite V. 2010. *Do Fish Feel Pain?* Oxford: Oxford University Press

Bund für Risikobewertung. 2020. Nahrungsmittelallergie durch Insekten? Mitteilung Nr. 044. Online verfügbar unter: <https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/nahrungsmittelallergie-durch-insekten.pdf> (abgerufen am 10.12.2021)

Bundesamt für Ernährungssicherheit. 2017. Insekten als Futtermittel. GZ: BAES-FMT-A-2017-0006. Online verfügbar unter: <https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/lebensmittelgewerbe/Insekten-als-Futtermittel---BAES---19.9.2017.pdf> (abgerufen am 10.12.2021)

Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz. 2021. Leitlinien für gezüchtete Insekten als Lebensmittel. BMGF-75210/0003-II/B/13/2017 vom 15.2.2017. Online verfügbar unter: https://www.verbrauchergesundheits.gv.at/lebensmittel/buch/hygieneleitlinien/LL_Insekten_10_05_2021.pdf?8015q4. (abgerufen am 04.01.2022)

Capinera JL. 2008. House Fly, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). In Encyclopedia of Entomology. Springer. 1877-1880.

Castro RJ, Ohara A, Aguilar JG, Domingues MA. 2018. Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. Trends in Food Science and Technology, 76: 82–89.

Cave NJ. 2006. Hydrolyzed protein diets for dogs and cats. Veterinary Clinics of North America, Small Animal Practice, 36 (6): 1251-1268.

Chapagain AK, Hoekstra AY. 2003. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. Value of Water Research Report Series No. 13, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands

Chesney CJ. 2001. Systematic review of evidence for the prevalence of food sensitivity in dogs. Veterinary Record 148 (14): 445–448.
<https://doi.org/10.1136/vr.148.14.445>.

Čičková H, Newton GL, Lacy RC, Kozánek M. 2014. The use of fly larvae for organic waste treatment. Waste Management
Clifford CW, Roe RM, Woodring J. 1977. Rearing methods for obtaining house crickets, *Acheta domestica*, of known age, sex, and instar. Annals of the Entomological Society of America. 70:69-74

Craig SD, Larry NG, Thompson SA, Savage S. 1994. A value added manure management system using the black soldier fly. Bioresource Technology 50 (3): 275–279. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90102-3).

DeFoliart GR. 1997. An overview of the role of edible insects in preserving biodiversity. Ecology of Food and Nutrition 36 (2-4): 109–132.
<https://doi.org/10.1080/03670244.1997.9991510>.

Design B. 2008. Black soldier fly: compiled research on best cultivation practices. Vol. 2014.

Diener S, Gutiérrez F, Zurbrugg C, Tockner K. 2009. Are larvae of the Black soldier fly- *Hermetia illuscens*- a financially viable option for organic waste management in Costa Rica. Cagliari, CISA.

Diener S, Zurbrugg C, Gutiérrez FR, Nguyen DH, Morel A, Koottatep T, Tockner K. 2011. Black soldier fly larvae for organic waste treatment—prospects and constraints. In Proceedings of the Waste Safe—2nd International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries. Khulna, Bangladesh.

DiGiacomo K, Leury B. 2019. Review: Insect meal: A future source of protein feed for pigs? *Animal*, Cambridge University Press, 13 (12): 3022-3030. doi:10.1017/S1751731119001873.

Dobenecker B, Frank V, Kienzle E. 2010. High calcium intake differentially inhibits nutrient and energy digestibility in two different breeds of growing dogs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 94 (5), 109-14. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.00989.x>.

Duden (2021). Allergie. Online verfügbar unter <https://www.duden.de/rechtschreibung/Allergie> (abgerufen am 30.06.2021).

Ekop EA, Udoh AI, Akpan PE. 2010. Proximate and anti-nutrient composition of four edible insects in Akwa Ibom State, Nigeria. *World J. Appl. Sci. Technol.* 2 (2): 224 – 231

El Boushy, A. 1991. House-fly pupae as poultry manure converters for animal feed: A review. *Bioresource technology* 38:45-49.

Elwood RW. 2011. Pain and Suffering in Invertebrates?, *ILAR Journal*, Volume 52, Issue 2: 175–184

Erickson MC, Islam M, Sheppard C, Liao J, Doyle MP. 2004. Reduction of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* serovar enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly. *Journal of Food Protection*. 67:685-690.

Ermel RW, Kock M, Griffey SM, Reinhart GA, Frick OL. 1997. The atopic dog: a model for food allergy. *Laboratory Animal Science* 47 (1): 40–49.

European Food Safety Authority. 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>

F.E.D.I.A.F. European Pet Food Industry Federation. 2018. Nutritional Guidelines for Complete and Complementary Pet Food for Cats and Dogs. European Pet Food Industry Federation, Publication.

FAO 2011. Global food losses and food waste – extent, causes and prevention. FAO, Rome, Italy.

FAO 2013. Edible insects – future prospects for food and feed security. FAO, Rome, Italy.

Fatchurochim S, Geden C, Axtell R. 1989. Filth fly(Diptera) oviposition and larval development in poultry manure of various moisture levels. *Journal of Entomological Science*. 24:224-231.

Finke MD. 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biol*.

Förster M, Klimpel S, Sievert K. 2009. The house fly (*Musca domestica*) as a potential vector of metazoan parasites caught in a pig-pen in Germany. *Vet Parasitol* 160, 163- 167.

Frantz LAF, Bradley DG, Larson G, Orlando Ludovic. 2020. Animal domestication in the era of ancient genomics. *Nature Reviews Genetics* 21 (8): 449–460. <https://doi.org/10.1038/s41576-020-0225-0>.

Freel TA, McComb A, Koutsos EA. 2021. Digestibility and safety of dry black soldier fly larvae meal and black soldier fly larvae oil in dogs. *Journal of Animal Science* 99 (3). <https://doi.org/10.1093/jas/skab047>.

Graczyk T.K., Fayer R., Cranfield M.R., Mhangami-Ruwende B., Knight R., Trout J.M., Bixler H. (1999b): Filth flies are transport hosts of *Cryptosporidium parvum*. *Emerg. Infect. Dis.* 5: 726-727.

Green Petfood. 2021. InsectDog Hypoallergen, Getreidefreie Rezeptur. Online verfügbar unter <https://www.green-petfood.de/shop/insectdog-hypoallergen.html> (abgerufen am 20.10.2021).

Hall EJ. 2002. Gastrointestinale Krankheitsbilder bei Futtermittelunverträglichkeiten. *Praktische Tierärzte*, 83(1):30–36.

Hall GM. 2015. Impact of climate change on aquaculture: the need for alternative feed. *Turk J Fish Aquat Sci* 15:569–574.

Halloran A, Roos N, Flore R, Hanboonsong Y (2016) The development of the edible cricket industry in Thailand. *J Insect Food Feed* in press: in press.

Halloran A, Vantomme P, Hanboonsong Y, Ekesi S (2015) Regulating edible insects: the challenge of addressing food security, nature conservation, and the erosion of traditional food culture. *Food Sec* 7:739–746.

Herrero M, Henderson B, Havlík P, Thornton P, Rigolot C, Conant RT, Smith P, Hristov AN, Gerber PJ, Gill M. 2016. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*, 6 (2016), pp. 452-461

Herrero M, Wirsenius S, Henderson B, Rigolot C, Thornton P, Havlík P, Boer Imke, Gerber, PJ. 2015. Livestock and the Environment: What Have We Learned in the Past Decade? *Annual Review of Environment and Resources* 40 (1): 177–202. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-031113-093503>.

Hill P. 1999. Diagnosing cutaneous food allergies in dogs and cats-some practical considerations. *In Practice*, 21(6): 287-294.

Hogsette JA. 1992. New diets for production of house flies and stable flies (Diptera: Muscidae) in the laboratory. *Journal of economic entomology*. 85:2291-2294.

Holmes L, Vanlaerhoven S, Tomberlin J. 2013. Substrate effects on pupation and adult emergence of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental entomology*. 42:370-374.

Inoue Y, Shimojo N. 2015. Microbiome/microbiota and allergies. *Seminars in Immunopathology* 37 (1): 57–64. <https://doi.org/10.1007/s00281-014-0453-5>.

IPIFF 2019. The European Insect Sector today: challenges, opportunities and regulatory landscape. IPIFF vision paper on the future of the insect sector towards 2030. IPIFF, Brussels, Belgium.

Jeffers JG, Meyer EK, Sosis EJ. 1996. Responses of dogs with food allergies to single ingredient dietary provocation. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 209: 608–611.

Jensen-Jarolim E, Einhorn L, Herrmann I, Thalhammer JG, Panakova L. 2015. Pollen Allergies in Humans and their Dogs, Cats and Horses: Differences and Similarities. *Clinical and Translational Allergy* 5 (1): 15. <https://doi.org/10.1186/s13601-015-0059-6>.

Jongema Y. 2017. List of edible insects of the world – WUR. Available at: www.wur.nl/en/Expertise-Services/Chairgroups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm

Kalaba F, Quinn C. 2013. Contribution of forest provisioning ecosystem services to rural livelihoods in the Miombo woodlands of Zambia. *Population and Environment* 35(2): 159-182.

Kennis RA. 2006. Food Allergies: Update of Pathogenesis, Diagnoses, and Management. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 36: 175-84.

Klunder, H, Wolkers-Rooijackers J, Korpela J, Nout M. 2012. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control*. 26:628-631.

Koeleman, E. 2014. Insects crawling their way into feed regulation. *All About Feed*. 22 (6):18-21.

Kölle P, Schmidt M. 2015. BARF (Biologisch Artgerechte Rohfütterung) als Ernährungsform bei Hunden. *Tieraerztliche Praxis*. Ausgabe K, Kleintiere/Heimtiere 43 (6), 409-19; quiz 420. <https://doi.org/10.15654/TPK-150782>.

Kourimska L, Adamkova A. 2016. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal* 4: 22–26. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.07.001>.

Kröger S, Heide C, Zentek J. 2020. Evaluation of an extruded diet for adult dogs containing larvae meal from the Black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Animal Feed Science and Technology*, 270. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114699>.

Lähteenmäki-Uutela A, Grmelová N, Hénault-Ethier L, Deschamps MH, Vandenberg GW, Ai Z, Yumei Z, Baoru Y, Nemane V. 2017. Insects as food and feed: laws of the European Union, United States, Canada, Mexico, Australia, and China. *European Food & Feed Law Review* 12: 22–36.

Lei XJ, Kim TH, Park JH, Kim IH. 2019. Evaluation of Supplementation of Defatted Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal in Beagle Dogs. *Annals of Animal Science* 19 (3): 767–777. <https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0021>.

Liddell-Scott-Jones. 2020. ἀλλεργία - Ancient Greek. Online verfügbar unter <https://lsj.gr/wiki/%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%B1> (abgerufen am 30.06.2021).

Makkar HPS, Tran G, Heuzé V, Ankers P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed- Review. *Animal Feed Science and Technology*. 197:1-33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>.

Makkar HPS. 2018. Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *Animal* 2018, 12, 1744–1754.

Marone PA. 2016. Food Safety and Regulatory Concerns. 10.1016/B978-0-12-802856-8.00007-7.

McFarlane J, Neilson, Ghouri A. 2011. Artificial diets for the house cricket, *Acheta domesticus* (L.). *Canadian Journal of Zoology*. 37. 913-916. 10.1139/z59-088.

Meyer LF, Kölln M, Kamphues J. 2019. Hundefutter mit Insekten? Untersuchungen zu Mischfuttermitteln mit Larven der Schwarzen Soldatenfliege als Proteinquelle. *Kleintierpraxis*: 124–135. <https://doi.org/10.2377/0023-2076-64-124>.

Morgan N, Eby H. 1975. Fly protein production from mechanically mixed animal wastes. *Israel journal of entomology*.

Mottet A, De haan C, Falcucci A, Tempio G, Opio C, Gerber P. 2017. Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security*. 14. 10.1016/j.gfs.2017.01.001.

Nakagaki B, Sunde M, DeFoliart G. 1987. Protein quality of the house cricket, *Acheta domesticus*, when fed to broiler chicks. *Poultry Science*. 66:1367-1371.

Nakagaki BJ, deFoliart GR. 1991. Comparison of diets for mass-rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as a novelty food, and comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock.

National Research Council. 2006. Nutrient requirements of dogs and cats. Washington, D.C.: The National Academies. <https://doi.org/10.17226/10668>.

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

Nijdam D, Rood T, Westhoek H. 2012. The price of protein: review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food Policy* 37, 760–770

Nurmatov U, Devereux G, Sheikh A. 2011. Nutrients and foods for the primary prevention of asthma and allergy: systematic review and meta-analysis. *The Journal of allergy and clinical immunology* 127 (3): 724-33. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2010.11.001>.

Oonincx DG, de Boer IJ. 2012. Environmental impact of production of mealworms as a protein source for humans – a life cycle assessment. *PLoS ONE* 7: e51145.

Oonincx DG, de Boer IJ. 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans- A life cycle assessment. *PLoS ONE*, 7, 51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>.

Oonincx DG, van Huis A, van Loon JJA. 2015. Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *Journal of Insects as Food and Feed* 1 (2): 131–139. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0023>.

Oonincx DGAB, van Itterbeeck J, Heetkamp MJW. 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLoS One* 5:e14445.

Ortega- Hernández J. 2016. Making sense of 'lower' and 'upper' stem-group Euarthropoda, with comments on the strict use of the name Arthropoda von Siebold, 1848. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society* 91 (1): 255–273. <https://doi.org/10.1111/brv.12168>.

Oyoshi MK, Oettgen HC, Chatila TA, Geha RS, Bryce PJ. 2014a. Food allergy: Insights into etiology, prevention, and treatment provided by murine models. *The Journal of allergy and clinical immunology* 133 (2): 309–317. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2013.12.1045>.

Oyoshi MK, Oettgen HC, Chatila TA, Geha RS, Bryce PJ. 2014b. Food allergy: Insights into etiology, prevention, and treatment provided by murine models. *The Journal of allergy and clinical immunology* 133 (2): 309–317. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2013.12.1045>.

Pali- Schöll I, Meinlschmidt P, Larenas- Linnemann D, Purschke B, Hofstetter G, Rodriguez- Monroy F, Einhorn L, Mothes- Luksch N, Jensen- Jarolim E, Jäger H. 2019. Edible insects: Cross recognition of IgE from crustacean- and house dust mite allergic patients, and reduction of allergenicity by food processing. *World Allergy Organization Journal*. Volume 12, Issue 1. <https://doi.org/10.1016/j.wajojou.2018.10.001>

Paterson S. 1995. Food hypersensitivity in 20 dogs with gastrointestinal signs. *Journal of Small Animal Practice*, 36: 529-34.

Pereira AM, Maia MR, Fonseca AJ, Cabrita AR. 2021. Zinc in Dog Nutrition, Health and Disease: A Review. *Animals : an open access journal from MDPI* 11 (4): 978. <https://doi.org/10.3390/ani11040978>.

Pimentel D, Berger B, Filiberto D, Newton M, Wolfe B. 2004. Water resources: agricultural and environmental issues. *BioScience* 54:909–18

Popa R, Green TR. 2012. Using black soldier fly larvae for processing organic leachates. *Journal of economic entomology*. 105:374-378.

Premrov Bajuk B, Zrimšek P, Kotnik T, Leonardi A, Križaj I, Jakovac Strajn B. 2021. Insect Protein-Based Diet as Potential Risk of Allergy in Dogs. *Animals : an open access journal from MDPI* 11 (7), 1942. <https://doi.org/10.3390/ani11071942>.

- Proverbio D, Perego R, Spada E, Ferro E. 2010. Prevalence of adverse food reactions in 130 dogs in Italy with dermatological signs: a retrospective study. *Journal of Small Animal Practice* 51 (7): 370–374. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2010.00951.x>.
- Ramos-Elorduy J, Gonzalez A, Rocha Hernandez A, Pino JM 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *J. Econ. Entomol.* 95: 214–220.
- Ricci R, Granato A, Palagiano C, Vascellari M, Boscarato M, Andrighetto I, Mutinelli F. 2013. Identification of undeclared sources of animal origin in canine dry foods used in dietary elimination trials. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 97 (1): 32-38. <https://doi.org/10.1111/jpn.12045>.
- Ring J, Krämer U, Schäfer T, Behrendt H. 2001. Why are allergies increasing? *Current Opinion in Immunology* 13 (6): 701–708. [https://doi.org/10.1016/S0952-7915\(01\)00282-5](https://doi.org/10.1016/S0952-7915(01)00282-5).
- Rosef O, Kapperud G. 1983. House flies (*Musca domestica*) as possible vectors of *Campylobacter fetus* subsp. *jejuni*. *Appl. Environ. Microbiol.* 45: 381-383.
- Rumpold BA, Schlüter OK. 2013a. 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>.
- Rumpold BA, Schlüter OK. 2013b. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research* 57 (5): 802–823. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>.
- Ruppert EE, Fox RS, Barnes RD. 2004. *Invertebrate zoology. A functional evolutionary approach.* 7. Auflage. Belmont: Thomson Brooks/Cole.
- Sachs J, Remans R, Smukler S. 2010. Monitoring the world's agriculture. *Nature* 466, 558–560 <https://doi.org/10.1038/466558a>
- 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>.
- Sarker MS, Ahaduzzaman M, Kabir MN, Rahman MK, Hossain F, Nath SK, Bupasha ZB. 2015. Prevalence of Clinical Conditions in Dogs and Cats at Central Veterinary Hospital (CVH) in Dhaka, Bangladesh. *Van Veterinary Journal* 26 (2): 101–105.

Sasaki T, Kobayashi M, Agui N. 2000. Epidemiological potential of excretion and regurgitation by *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) in the dissemination of *Escherichia coli* O157:H7 to food. *Journal of Med Entomol.* 37: 945-949

Schweigert FJ, Bok V. 2000. Vitamin A in blood plasma and urine of dogs is affected by the dietary level of vitamin A. *International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift für Vitamin- und Ernährungsforschung. Journal international de vitaminologie et de nutrition* 70 (3): 84–91. <https://doi.org/10.1024/0300-9831.70.3.84>.

Shane SM, Montrose MS, Harrington KS. 1985. Transmission of *Campylobacter jejuni* by the housefly (*Musca domestica*). *Avian Dis.* 29: 384-391.

Sheppard C, Newton DG, Thompson SA, Savage S. 1994. A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource technology* . 50:275-279.

Sicherer SH, Sampson HA. 2010. Food allergy. *The Journal of allergy and clinical immunology* 125 (2 Suppl 2): 116-125. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.08.028>.

Singer MS, Carrière Y, Theuring C, Hartmann T. 2004. Disentangling food quality from resistance against parasitoids: diet choice by a generalist caterpillar. *The American naturalist* 164 (3): 423–429. <https://doi.org/10.1086/423152>.

Smetana S, Mathys A, Knoch A, Heinz V. 2015. Meat Alternatives: Life Cycle Assessment of Most Known Meat Substitutes. *The International Journal of Life Cycle Assessment.* 20. 10.1007/s11367-015-0931-6.

Smetana S, Palanisamy M, Mathys A. 2016. Sustainability of insect use for feed and food: Life Cycle Assessment perspective. *Journal of Cleaner Production.* 137. 10.1016/j.jclepro.2016.07.148.

Smith R, Pryor, R. 2013. Enabling the exploitation of Insects as a Sustainable Source of Protein for Animal Feed and Human Nutrition.

Sogari G, Amato M, Biasato I, Chiesa S, Gasco L. 2019. The Potential Role of Insects as Feed: A Multi-Perspective Review. *Animals*, 9: 119. <https://doi.org/10.3390/ani9040119>

Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M. 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options.* Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2006.

Tilman D, Cassman K, Matson P. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671–677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>

Tomberlin JK, Sheppard DC. 2002. Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) in a colony. *Journal of Entomological Science*. 37:345-352.

Tsai PY, Zhang B, He WQ, Zha JM, Odenwald MA, Singh G, Tamura A, Le Shen, Sailer A, Yeruva S, Kuo W, Fu YX, Tsukita S, Turner JR. 2017. IL-22 Up-regulates Epithelial Claudin-2 to Drive Diarrhea and Enteric Pathogen Clearance. *Cell Host & Microbe* 21 (6): 671-681. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2017.05.009>.

van Huis A 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology* 58: 563–583.

van Huis A, Oonincx DG. 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37 (5). <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>.

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. Rom. FAO Forestry Paper 171. Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/Full-Record.aspx?p=3239199>.

Vantomme P, Göhler D, N'Deckere-Ziangba F. 2004. Contribution of forest insects to food security and forest conservation: the example of caterpillars in Central Africa. *ODI Wildlife Policy Briefing* 3: 1-4.

Varijakshapanicker P, Mckune S, Miller L, Hendrickx S, Balehegn M, Dahl GE, Edesogan, AT. 2019. Sustainable livestock systems to improve human health, nutrition, and economic status. *Animal Frontiers* 9 (4): 39–50. <https://doi.org/10.1093/af/vfz041>.

Veldkamp, T. 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets: a feasibility study. Wageningen UR Livestock Research

Verlinden A, Hesta M, Millet S, Janssens GPJ. 2006. Food allergy in dogs and cats: a review. *Critical reviews in food science and nutrition* 46 (3): 259–273. <https://doi.org/10.1080/10408390591001117>.

Wang H, Zhang Z, Czapar G, Winkler MK, Zheng J. 2013. A full-scale house fly (Diptera: Muscidae) larvae bioconversion system for value-added swine manure reduction. *Waste Management & Research*:0734242X12469431.

Wüthrich B. 2000. Lethal or life-threatening allergic reactions to food. *Journal of investigational allergology and clinical immunology* 10 (2): 59–65.

Zimmer A. 2012. Futtermittel-spezifisches IgG und IgE vor und nach Eliminationsdiäten bei allergischen Hunden [Dissertation]. München: Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität.

Zuidhof MJ, Molnar CL, Morley FM, Wray TL, Robinson FE, Khan BA, Al-Ani L, Goonewardene LA. 2003. Nutritive value of house fly (*Musca domestica*) larvae as a feed supplement for turkey poults. *Animal Feed Science and Technology*.105:225-230.

15.1 Rechtstexte:

Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung

Tierschutzgesetz Deutschland vom 24.07.1972 in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das zuletzt durch Artikel 105 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist

Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (Verordnung über tierische Nebenprodukte)

Verordnung (EG) Nr. 183/2005 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Januar 2005 mit Vorschriften für die Futtermittelhygiene

Verordnung (EG) Nr. 767/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über das Inverkehrbringen und die Verwendung von Futtermitteln, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Richtlinien 79/373/EWG des Rates, 80/511/EWG der Kommission, 82/471/EWG des Rates, 83/228/EWG des Rates, 93/74/EWG des Rates, 93/113/EG des Rates und 96/25/EG des Rates und der Entscheidung 2004/217/EG der Kommission

Verordnung (EG) Nr. 999/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Mai 2001 mit Vorschriften zur Verhütung, Kontrolle und Tilgung bestimmter transmissibler spongiformer Enzephalopathien

Verordnung (EU) 2016/2031 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Oktober 2016 über Maßnahmen zum Schutz vor Pflanzenschädlingen, zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 228/2013, (EU) Nr. 652/2014 und (EU) Nr. 1143/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Richtlinien 69/464/EWG, 74/647/EWG, 93/85/EWG, 98/57/EG, 2000/29/EG, 2006/91/EG und 2007/33/EG des Rates

Verordnung (EU) 2017/893 der Kommission vom 24. Mai 2017 zur Änderung der Anhänge I und IV der Verordnung (EG) Nr. 999/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Anhänge X, XIV und XV der Verordnung (EU) Nr. 142/2011 der Kommission in Bezug auf die Bestimmungen über verarbeitetes tierisches Protein

Verordnung (EU) 2017/893 der Kommission vom 24. Mai 2017 zur Änderung der Anhänge I und IV der Verordnung (EG) Nr. 999/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Anhänge X, XIV und XV der Verordnung (EU) Nr. 142/2011 der Kommission in Bezug auf die Bestimmungen über verarbeitetes tierisches Protein

Verordnung (EU) 2021/1925 der Kommission vom 5. November 2021 zur Änderung bestimmter Anhänge der Verordnung (EU) Nr. 142/2011 im Hinblick auf die Anforderungen für das Inverkehrbringen bestimmter Insektenprodukte und auf die Anpassung einer Einschlussmethode

Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten

Verordnung (EU) Nr. 142/2011 der Kommission vom 25. Februar 2011 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte sowie zur Durchführung der Richtlinie 97/78/EG des Rates hinsichtlich bestimmter gemäß der genannten Richtlinie von Veterinärkontrollen an der Grenze befreiter Proben und Waren

Verordnung (EU) Nr. 68/2013 der Kommission vom 16. Januar 2013 zum Katalog der Einzelfuttermittel