



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 98 | Ausgabe 2

Agrarwissenschaft
Forschung

Praxis

Welches Potenzial haben Algen- und Insektenproteine als Futtermittelkomponente in Deutschland?

Ergebnisse einer Expertenbefragung

von Marie Diekmann

1 Einleitung

Die Suche nach alternativen Lebens- und Futtermitteln und insbesondere nach alternativen Proteinquellen drängt: Bis 2050 wird ein Anstieg der Weltbevölkerung auf rund 9,5 Milliarden Menschen erwartet (United Nations, 2015), deren Ernährung auf Grundlage der begrenzt verfügbaren natürlichen Ressourcen und unter Berücksichtigung der zunehmend auftretenden Wetterextreme gesichert werden muss. Mit dem Bevölkerungszuwachs geht nach aktuellen Schätzungen eine Verdoppelung des Eiweißbedarfs einher. Fleisch gilt hierbei als wichtigster Lieferant für Proteine und andere essentielle Nährstoffe für die menschliche Ernährung. Die weltweite Nachfrage nach Fleischprodukten steigt kontinuierlich an und eine Trendwende ist gegenwärtig nicht zu erwarten. Ursächlich hierfür sind der nach wie vor hohe Fleischkonsum im westlichen Europa sowie die sozio-ökonomischen Veränderungen in einigen Entwicklungsländern: In Folge einer zunehmenden Kaufkraft und der Orientierung am westlichen Lebensstil steigt in Ländern mit bislang geringem Fleischverzehr der Fleischkonsum, der als Ausdruck des Wohlstandes verstanden wird (Delgado, 2003; Boland et al., 2013). Die Produktion von Fleisch wird jedoch mit starken Umwelteffekten in Verbindung gebracht und beansprucht ohnehin knappe Ressourcen, wie Ackerflächen und Wasser, die für die Nutzpflanzenproduktion zur menschlichen Ernährung verloren gehen (Henchion et al., 2017). Der Proteinbedarf für die Fütterung landwirtschaftlicher Nutztiere zur Produktion von Fleisch und anderen tierischen Produkten ist hoch. Insbesondere in der Schweine- und Geflügelhaltung wird in den kommenden Jahren eine weiterhin steigende Nachfrage nach Proteinfuttermitteln erwartet, um die wachsende Nachfrage zu bedienen. Proteine stellen die teuerste und am stärksten limitierend wirkende Futtermittelkomponente dar, zumal die klimatischen Bedingungen in weiten Teilen Europas den Anbau von Eiweißpflanzen stark einschränken. Zur Deckung der sogenannten Eiweißlücke wird auf Sojaimporte aus Nord- und Südamerika zurückgegriffen, die etwa 40 % des Eiweißbedarfs der EU decken (Taelman et al., 2015; Kim et al.,

2019). Aufgrund der negativen ökologischen, ökonomischen und sozialen Effekte des Sojaanbaus in den Herkunftsländern wird jedoch eine zunehmende Fokussierung auf pflanzliche Proteinquellen, die in Europa produziert werden können, angestrebt. Während proteinreiche Pflanzen einerseits für die Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung notwendig sind, werden sie andererseits als Futtermittel für die Nutztierproduktion benötigt, um die steigende Nachfrage nach tierischen Produkten zu bedienen. Mit Blick auf die begrenzte Verfügbarkeit des fruchtbaren Ackerlandes für die Pflanzenproduktion wird der zunehmende Konflikt zwischen der Verwertungsmöglichkeit von Pflanzen als Lebens- oder Futtermittel deutlich. Der Einsatz innovativer Proteinquellen in der Nutztierfütterung kann diesen Konflikt entschärfen (Boland et al., 2013).

Als innovative und zukunftsweisende Proteinquellen werden in diesem Zusammenhang Algen und Insekten bewertet, die im asiatischen Raum seit Jahrhunderten als wertvolle Proteinquelle geschätzt werden. In Europa ist die Kultivierung von Algen und Insekten als Futter- oder Lebensmittel bislang weitgehend unüblich. Zudem wird – insbesondere mit Blick auf Insekten – eine überwiegend ablehnende Haltung seitens der Verbraucher gegenüber dem direkten Verzehr erwartet. Aus diesem Grund wird zunächst der Einsatz von Insekten- und Algenprotein auf die Verfütterung an Nutztiere und die daraus resultierende Veredelung innovativer Proteinquellen zu Fleischprodukten angestrebt. Es wird erwartet, dass auf diese Weise die Hemmschwelle für die Akzeptanz des Algen- und Insektenproteins als Konsumprodukte gesenkt werden kann (Vantomme, 105; Verbeke et al., 2015; Henchion et al., 2017; Sogari et al., 2019). Den beiden alternativen Proteinquellen wird eine hohe Ressourceneffizienz zugesprochen: Für die Produktion hochwertiger Nährstoffe, die für die menschliche und tierische Ernährung als gut geeignet bewertet werden, benötigen sie nur wenige Ressourcen. Ihre Reproduktionsraten sind hoch und ihr Platzbedarf gering (Bleakley und Hayes, 2017; Madeira et al., 2017; House, 2018). Der wissenschaftliche Kenntnisstand zu und die wirtschaftlichen Erfahrungen mit der Produktion von Algen und Insekten in Größeneinheiten, die einen relevanten Beitrag zur menschlichen und tierischen Ernährung leisten können, sind in Europa bislang sehr begrenzt. Die fehlende Datengrundlage zu wirtschaftlichen und produktionstechnischen Aspekten der Algen- und Insektenproduktion erschwert die Abschätzung ihres tatsächlichen Potenzials und wirkt sich hemmend auf die Verbreitung der in Europa als innovativ eingestuften Produktionsverfahren aus (Henchion et al., 2017). Insbesondere in Deutschland sind die Erfahrungen mit der Algen- und Insektenproduktion äußerst gering und beschränken sich auf einzelne Pionierbetriebe (von Jeinsen et al., 2019).

Sofern die Algen- und Insektenproduktion einen Beitrag zur Sicherung der Proteinversorgung in Lebens- und Futtermitteln leisten soll, werden jedoch große und gleichzeitig ressourceneffiziente Produktionseinheiten benötigt (Veldkamp et al., 2012; Pali-Schöll et al., 2018). Neben den

notwendigen rechtlichen Voraussetzungen setzt dies die Akzeptanz der innovativen Proteinquellen durch alle Akteure entlang der Wertschöpfungskette Fleisch voraus. Zudem erfordert die Integration der Insekten- und Algenproduktion als alternativer Proteinlieferant für die Futtermittelindustrie eine teilweise Umstrukturierung der bisherigen Wertschöpfungskette (Henchion et al., 2017). Die Einstellung der beteiligten Akteure gegenüber den alternativen Proteinquellen, die über die weitere Etablierung am Markt entscheidet, ist bislang weitgehend unbekannt (House, 2018; Dillard, 2019).

Ziel dieser Arbeit ist es, einen ersten Beitrag zur Schließung dieser Forschungslücke zu leisten. In qualitativen Experteninterviews werden elf Akteure, die entlang der Wertschöpfungskette auf verschiedenen Stufen an der Etablierung von Algen- und Insektenproteinen als alternative Futtermittelkomponente beteiligt sind, zu ihrer Wahrnehmung der innovativen Proteinquellen befragt. Die qualitative Untersuchung soll dazu beitragen, das Potenzial der alternativen Proteinquellen besser abschätzen zu können und mögliche Hemmnisse, die die Etablierung am deutschen Markt beeinträchtigen, aufzudecken.

Der folgende Abschnitt gibt, basierend auf einer Literaturrecherche, einen Überblick zu den Grundzügen der Algen- und Insektenproduktion.

Anschließend wird im dritten Kapitel das methodische Vorgehen während der Erhebung und Auswertung des Datenmaterials dargestellt.

Die Ergebnisse der qualitativen Experteninterviews werden in Kapitel 4 wiedergegeben.

In der anschließenden Diskussion, Kapitel 5, werden die Aussagen gegenübergestellt und die bestehende Literatur eingeordnet.

Das Paper schließt mit einer Zusammenfassung, in der der weitere Forschungsbedarf ausgewiesen wird.

2 Algen und Insekten als alternative Proteinquellen

Algen und Insekten werden gegenwärtig als wichtigste Stellschraube für die notwendige Steigerung der Proteinbereitstellung für die menschliche und tierische Ernährung betrachtet. Insbesondere ihr geringer Anspruch an natürliche Ressourcen spricht in der Debatte um alternative Proteinquellen für die Algen- und Insektenproduktion. Die Verfütterung von Algen wurde bereits durch die in der Verordnung (EU) Nr. 68/2013 erfolgte Zulassung als Einzelfuttermittel von der EU genehmigt. In die in Deutschland angewandte Positivliste Einzelfuttermittel, die auf Grundlage einer freiwilligen Vereinbarung der betroffenen Akteure beruht und Futtermittel ausweist, die nach verschiedenen Tests als geeignet eingestuft werden, werden neben dem Seealgenmehl die Algenarten Spirulina, Chlorella und Schizochytrium lomaginum als zugelassene Einzelfuttermittel aufgeführt

(Zentralausschuss der Deutschen Landwirtschaft, 2019). Der Grundstein für die Verfütterung von Insekten an Nutztiere wurde durch den in der Verordnung (EU) 2017/893 genehmigten Einsatzes von Insektenprotein als Futtermittel in der Aquakultur gelegt. Die Bedeutung von Insekten und Algen als alternative Proteinquelle wurde zuletzt durch das in der Novel-Food-Verordnung verankerte, vereinfachte Zulassungsverfahren betont: Produkte, die eine Verwendungsgeschichte als sicheres Lebensmittel in einem Land außerhalb der EU haben, erfordern statt eines Zulassungsverfahrens lediglich eine Meldung bei der Europäischen Kommission, die – sofern keine begründeten Einwände erhoben werden – das Produkt in die Unionsliste für sichere Lebensmittel einträgt (Verordnung (EU) 2015/2283). In die deutsche Positivliste Einzelfuttermittel haben Insekten bislang keinen Eingang gefunden (Zentralausschuss der Deutschen Landwirtschaft, 2019).

Entsprechend der unterschiedlichen Zulassungen von Algen und Insekten liegen zur Algenproduktion bereits weitreichendere Informationen vor, wohingegen die Angaben zur Insektenproduktion überwiegend auf Studienergebnissen beruhen. Doch auch die industrielle Mikroalgenproduktion ist trotz der bereits seit einigen Jahren bestehenden Zulassung als Lebens- oder Futtermittel auch auf weltweiter Ebene ein relativ junger Wirtschaftszweig, der aufgrund der geringen Produktionsmenge noch nicht in der Lage ist, einen signifikanten Beitrag zur Sicherung einer ausreichenden Proteinversorgung zu leisten. In den kommenden Jahren wird jedoch mit einem starken Produktionsanstieg in China und Australien gerechnet – den Ländern, in denen sich bislang die größte Anzahl der auf die Mikroalgenproduktion spezialisierten Unternehmen angesiedelt haben. Der Anteil der europäischen Algenproduzenten fällt mit schätzungsweise rund 5 % der globalen Produktionsmenge vergleichsweise gering aus. Aufgrund der großen technologischen Fortschritte und der steigenden Nachfrage nach inländischen Proteinen wird jedoch erwartet, dass auch die europäischen Produzenten ihren Marktanteil in den kommenden Jahren stark ausweiten werden (Vigani et al., 2015).

Bislang werden Mikroalgen, wenngleich sie als Lebensmittel oder Nutztierfuttermittel geeignet sind, vorwiegend in der Kosmetikindustrie, als Nahrungsergänzungsmittel oder in Heimtierfuttermitteln verwendet (Fleurence, 1999). Dennoch wird Algen eine steigende Relevanz als Nutztierfuttermittel prognostiziert, da getrocknete und entfettete Algen als Substitut für Soja in Geflügel- und Schweinefutter eingesetzt werden können. Von den zahlreichen bekannten Algenarten sind Seetang und Mikroalgen als Proteinquelle für die menschliche und tierische Ernährung besonders geeignet. Während Seetang zum Wachstum Salzwasser und die natürlichen Bedingungen des Meers benötigt, können Mikroalgen unter unterschiedlichsten Voraussetzungen wachsen und sind somit gut für die Produktion in einem kontrollierten Umfeld geeignet. Mikroalgen zeichnen sich durch eine sehr hohe Photosyntheseleistung aus, die die Leistung anderer Pflanzen übertrifft. Innerhalb der EU werden die

Algenarten *Chlorella* und *Spirulina* in der industriellen Produktion eingesetzt (Becker, 2007; Henchion et al., 2017; Bleakley und Hayes, 2017; Madeira et al., 2017). *Spirulina*-Algen werden gegenwärtig vor allem für die Produktion von Heimtierfutter genutzt. *Chlorella*-Algen gelten als wichtige Nährstofflieferanten für die Produktion von Nahrungsergänzungsmitteln (Bishop und Zubeck, 2012). Wenngleich die genannten Arten auch aus Japan oder China importiert werden könnten, werden mit Blick auf die Importware in der Literatur mehrfach Bedenken hinsichtlich der Toxingehalte, möglicher mikrobieller Belastungen und weiterer hygienischer Faktoren geäußert (Becker, 2007; Henchion et al., 2017; Madeira et al., 2017).

Insekten leisten seit jeher einen wichtigen Beitrag zur natürlichen Ernährung von Wildfischen und frei-lebenden Monogastriern (Van Huis, 2013). Sie sind effiziente Abfallverwerter, die stickstoffhaltige Verbindungen in wertvolles Protein umwandeln können. Hierzu benötigen Insekten kaum natürliche Ressourcen, wie Wasser oder Platz, die dementsprechend für andere Zwecke genutzt werden können. Zudem stoßen sie weniger CO² aus als herkömmliche Nutztiere (Van Huis, 2013; Smetana et al., 2016). Wenngleich die Nährwertzusammensetzungen in Abhängigkeit von der Insektenart schwanken, entsprechen die Nährwerte zahlreicher Insektenarten in vielen Aspekten den Ansprüchen der menschlichen und tierischen Ernährung. Defizitär ist die Nährwertzusammensetzung vieler Insektenarten jedoch hinsichtlich einiger Aminosäuren, z.B. Tryptophan und Lysin. Zudem kann das chitinhaltige Exoskelett der Insekten die Verdaulichkeit herabsetzen (Van Huis et al., 2013). Dem Chitin wird jedoch auch eine stimulierende Eigenschaft auf das Immunsystem zugesprochen, die den Immunstatus der Nutztiere verbessern könnte. Chitin, das im Verarbeitungsprozess vom Insektenmehl extrahiert wird, stellt ein wertvolles Nebenprodukt für die Pharmazie- oder Kosmetikindustrie dar. Bislang kommen Insekten als Futtermittel in Zoos und in der Aquakultur zu Einsatz. Darüber hinaus werden sie zu Heimtierfuttermitteln verarbeitet. Von den zahlreichen Insektenarten eignen sich als Lebensmittel für die menschliche Ernährung besonders Grillen, der kleine Mehlwurm sowie der gelbe Mehlwurm. Für die industrielle Produktion zur Erzeugung ausreichender Quantitäten für die Futtermittelindustrie werden die Schwarze Soldatenfliege, der gelbe Mehlwurm und die Hausfliege als besonders geeignet angesehen (Veldkamp et al., 2012; Van der Spiegel et al., 2013).

Sollen Algen und Insekten als alternative Proteinquellen in der Futtermittelindustrie eingesetzt werden, wirkt sich dies auf die bestehende Struktur der Wertschöpfungskette aus: Im Falle der Insektenproduktion beginnt die Wertschöpfungskette mit den Akteuren der Abfallwirtschaft, die organische Lebensmittelabfälle als Nährsubstrat für die Insekten bereitstellen können. Auf den folgenden Stufen werden Unternehmen benötigt, die die Aufzucht der Insekten übernehmen, bevor sie zur weiteren Verarbeitung zugeführt werden können. Die Verarbeitung von Insekten zu

Tierfuttermitteln erfolgt über die Gefriertrocknung oder mithilfe eines Wirbelschichttrockners. Anschließend werden die Insekten gemahlen, bevor das Insektenmehl entfettet oder anderwärtig aufbereitet wird. Die aufbereiteten Insektenprodukte können an die Futtermittelindustrie abgegeben werden. Durch die Verfütterung an Schweine oder Geflügel wird das Insekteneiweiß in tierisches Eiweiß umgewandelt, das für den menschlichen Verzehr vorgesehen ist (Veldkamp et al., 2012). Die Wertschöpfungskette der Algenproduktion ist vergleichsweise kürzer, da die Abfallwirtschaft nicht als Lieferant für Nährsubstrate benötigt wird. In Photobioreaktoren, die als Panel- oder Röhrensystem konstruiert sein können, erzeugen die autotrophen Mikroalgen unter Zugabe von Kohlendioxid und Energie in Form von Sonnenlicht eine nährstoffreiche Biomasse (Madeira et al., 2017). Die Qualität des Mikroalgenproteins wird als hochwertiger eingeschätzt als andere pflanzliche Proteine (Becker, 2007). Anschließend können unterschiedliche Verfahren zur Trocknung der Mikroalgen und Extraktion der einzelnen Komponenten angewandt werden. Eine Übersicht über die aktuell angewandten Verfahren geben Wang et al. (2019).

3 Methode

Auf Grundlage einer umfassenden Literaturrecherche zur Produktion, Verarbeitung und Vermarktung von Insekten und Algen als alternative Futtermittelkomponente wurde ein Interviewleitfaden entwickelt, anhand dessen elf Experten interviewt wurden. Entlang der potenziellen Wertschöpfungskette für die Algen- und Insektenproduktion wurden mögliche Akteure zunächst telefonisch kontaktiert und für ein Interview angefragt. Von den 34 angefragten Personen stimmten elf Personen einem Interview zu. Eine Übersicht der befragten Experten und ihrer jeweiligen Wertschöpfungsstufe bietet Tabelle 1. Die Interviews wurden telefonisch geführt und dauerten jeweils ca. eine Stunde. Der Interviewleitfaden untergliederte sich in einen Fragenblock zu Insekten und einen Fragenblock zu Algen. Es wurden jeweils die Effekte auf die gesamte Wertschöpfungskette, die Wettbewerbschancen auf unternehmerischer Ebene und die mit den innovativen Proteinquellen verbundenen Risiken thematisiert. Zu jedem der genannten Themenfelder wurden drei bis fünf Fragen gestellt.

Tabelle 1:
Übersicht der befragten Experten

Abkürzung	WS-Stufe	Produktionsrichtung	Position Interviewpartner	Sitz
E01	Abfallentsorgung	-	Produktionsleiter	DE
E02	Abfallentsorgung	Schwein und Geflügel	Geschäftsführer	DE
E03	Futtermittelindustrie	Schwein und Geflügel	Geschäftsführer	DE
E04	Futtermittelindustrie	Geflügel	Geschäftsführer	DE
E05	Futtermittelindustrie	Geflügel	Geschäftsführer	DE
E06	Fleischindustrie	Schwein und Geflügel	Geschäftsführer	DE
E07	Landwirtschaft	Geflügel	Leiter Landwirtschaft	DE
E08	Futtermittelindustrie	Geflügel	Produktentwickler	NL
E09	Produktion	Algen	Geschäftsführer	DE
E10	Produktion	Algen	Geschäftsführer	DE
E11	Fleischindustrie	Schwein	Leiter Forschung	DE

Quelle: Eigene Darstellung; DE= Deutschland, NL= Niederlande

Zu Beginn der Auswertung wurden die Interviews transkribiert und anonymisiert. Die inhaltliche Analyse der Datensätze folgt dem von Mayring (2015) vorgestellten Verfahren. Ziel der Analyse ist es, ein Kategoriensystem zu entwickeln, welches den „latenten Sinn“ (Mayring, 2015) der Interviews in komprimierter und strukturierter Form wiedergibt. Bei der Datenanalyse wird das induktive Vorgehen angewandt, bei der die Kategorien während der Analyse des Materials gebildet werden. Als Oberkategorien ergaben sich die Themenschwerpunkte „Standortbedingungen“, „Produktion“, „Futtermittelindustrie und landwirtschaftliche Nutztierhaltung“ sowie „Vermarktungsmöglichkeiten und erwartete Verbraucherresonanz“. Die Wahrnehmung der Algen- und Insektenproduktion in Deutschland durch die befragten Experten wird im folgenden Kapitel anhand dieser Oberkategorien untergliedert. Es wird jeweils zunächst auf die bereits verbreitetere Algenproduktion eingegangen, bevor die Einschätzungen zur Insektenproduktion wiedergegeben werden.

4 Ergebnisse der qualitativen Interviews

4.1 Standortbedingungen

Seitdem Algen 2013 als Futtermittelkomponente zugelassen wurden, ist es aus Sicht eines Interviewpartners relevant, sich intensiv mit der Weiterentwicklung der Produktionsverfahren auseinanderzusetzen. Durch die Zulassung sei das betriebswirtschaftliche Risiko der Algenproduktion gesenkt worden (E05). Neben Mikroalgen wurden von einigen Interviewpartnern auch Makroalgen

als mögliche alternative Proteinquelle aufgeführt. Die Kosten für Makroalgenimporte aus China belaufen sich nach Angaben der befragten Experten auf etwa 2.000 €/t (E09; E10). Aufgrund der sehr spezifischen Standortanforderungen, z.B. der Produktion in offenen Gewässern, und der hohen Produktionskosten, die u.a. aus einer arbeitsintensiven Ernte resultieren, werden Makroalgen jedoch als ungeeignet für die Produktion in Deutschland angesehen (E05; E09; E10). Es wird erwartet, dass die Makroalgenproduktion auch zukünftig in Ländern mit geringeren Lohnkosten angesiedelt sein wird (E10). Mikroalgen eignen sich nach Ansicht der Befragten für die Produktion in Deutschland, da sie in Photobioreaktoren produziert werden, in denen optimale Wachstumsbedingungen geschaffen werden können (E05; E09).

Mit Blick auf die Insektenproduktion berichten die Befragten, dass in den Niederlanden und Frankreich bereits einige Unternehmen in die Insektenproduktion eingestiegen sind. Die erzeugten Insekten werden zu Heimtierfutter sowie zu Futtermitteln für die Aquakultur verarbeitet (E02; E04). Es wird angenommen, dass diese Unternehmen einen Wissensvorsprung sammeln, der ihnen einen Wettbewerbsvorteil gegenüber deutschen Unternehmen verschafft (E04; E05). Aus diesem Grund nehmen die Befragten an, dass sich die Insektenproduktion zukünftig verstärkt im Ausland ansiedeln und von spezialisierten Unternehmen übernommen wird (E02; E03; E08). Entgegen dieser Annahme hat eines der befragten Abfallentsorgungsunternehmen mit dem Ziel der Vorwärtsintegration in eine Prototypanlage zur Produktion der Schwarzen Soldatenfliege investiert. Jedoch wird eine weitere Entwicklung in diese Richtung als fraglich angesehen. Aus ökonomischer Sicht sei die Insektenproduktion erst ab einer Produktionsmenge von 30 bis 40 t pro Tag rentabel. Diese Produktionsmenge sei jedoch nur für große Abfallentsorger mit kontinuierlich hohen Abfallmengen der benötigten Qualität realisierbar (E02). Trotz des genannten Beispiels zweifeln die befragten Experten daran, ob Deutschland aufgrund der relativ kühlen Temperaturen in der Insektenproduktion mit anderen, wärmeren Standorten konkurrieren kann. Die hohen Temperaturansprüche der Insekten verschaffe wärmeren Ländern einen natürlichen Standortvorteil (E05; E06). Zudem sei die gesellschaftliche Einstellung gegenüber der industrialisierten Insektenproduktion in anderen Ländern, wie beispielsweise China, kulturell bedingt positiver als in Deutschland. Dies resultiere in geringeren gesetzlichen Auflagen und schnelleren Genehmigungsverfahren, die diese Länder im internationalen Wettbewerb begünstigen (E02). Hinzu kommen die bislang sehr geringen Transportkosten für verarbeitetes Insektenprotein, die die Produktion in ausländischen Gunststandorten und den anschließenden Import nach Deutschland weiter bevorteilen (E03; E04). Die erwartete steigende Nachfrage nach Insektenmehlen bietet nach Einschätzung einiger Befragten aufgrund der natürlichen Standortvorteile insbesondere verschiedenen Entwicklungsländern neue wirtschaftliche Möglichkeiten (E05; E07). Lediglich

Lebendinsekten werden als ungeeignet für lange Transportwege angesehen und sollten in einer näheren Distanz zum Verarbeitungs- oder Verwertungsstandort produziert werden (E04).

4.2 Produktion

Mit Blick auf die Produktion von Mikroalgen werden vor allem der hohe Wärmebedarf und somit die Energiekosten als wesentlich Treiber der Produktionskosten eingeschätzt (E09; E08; E10). Während die Algenart *Spirulina* 32°C bis 35 °C für eine optimale Entwicklung benötigt, sei das Wachstum der Algenart *Chlorella* bereits ab niedrigeren Temperaturen über 12 °C möglich. Daher wird die Produktion der *Chlorella*-Algen als kostengünstiger eingeschätzt (E10). Aufgrund des hohen Wärmebedarfs der *Spirulina*-Algen bringen wärmere Klimazonen einen natürlichen Standortvorteil mit sich, mit dem die deutsche Produktion konkurrieren muss. Zur Erzeugung der in der *Spirulina*-Produktion notwendigen, höheren Temperaturen sollte möglichst die Abwärme aus Biogasanlagen oder Kraftwerken genutzt werden (E03; E04; E10). Zudem wird angenommen, dass in den weniger dicht besiedelten und wärmeren Klimazonen die notwendige Stellfläche für die Photobioreaktoren eher verfügbar und Genehmigungen leichter zu erhalten sein werden (E05; E08; E09). Als Argumente gegen die Produktion in weniger dicht bebauten, wärmeren Ländern sprechen jedoch die größere Entfernung zum Absatzmarkt und die damit verbundenen höheren Transportkosten (E05; E10).

Als wichtigstes Argument, weshalb Algen bislang keinen großen Marktanteil in der Nutztierfütterung haben, führen zwei der Befragten die sehr hohen Produktionskosten an. Aufgrund der hohen Produktionskosten können Mikroalgen aktuell (noch) nicht mit Sojaextraktionsschrot konkurrieren (E09; E10). Ein Ansatzpunkt, um die Kosten der Mikroalgenproduktion zu reduzieren, wird in dem Bau größerer Produktionsanlagen zur Erzielung von Skaleneffekten gesehen. Die Investition in größere Anlagen wird jedoch auch als Lock In wahrgenommen, das aufgrund der ungewissen Nachfrageentwicklung nach inländisch produzierten Algen mit einem hohen Risiko für den Produzenten verbunden ist. Für Landwirte, die im Sinne eine Diversifizierungsstrategie in die Algenproduktion einsteigen könnten, werden die hohen Investitions- und Produktionskosten bei gleichzeitig geringen Erfahrungen in der Vermarktung als hohe Einstiegsbarriere gewertet (E07; E10). Als eine Option, die Attraktivität der Mikroalgenproduktion zu steigern, wird die Entwicklung neuer Algensorten mit höheren Proteingehalten, die durch Züchtung oder gentechnische Veränderung entstehen könnten, gesehen (E10).

Die Insektenproduktion sei vor allem aufgrund der guten Futterwertungs- und Zuwachsraten und der entsprechend hohen Flächeneffizienz der Produktionsverfahren eine interessante Alternative (E01;

E02; E05; E07). Vorstellbar ist für die befragten Experten außerdem, dass landwirtschaftliche Betriebe ihre bestehenden Wirtschaftszweige um die Insektenproduktion ergänzen. Da Insekten eine relativ hohe Produktionsleistung je Flächeneinheit erzielen können, wird die Insektenproduktion als interessante Alternative betrachtet. Aufgrund der bislang wenig erprobten Verarbeitung wird die Integration der auf einem Betrieb erzeugten Insekten in die eigene Futtermittelproduktion jedoch als schwierig erachtet (E03; E04; E07). Bei der Kultivierung von Insekten gilt es zu beachten, dass die Insekten selbst auch gefüttert werden müssen und ihre Futtermittel dem europäischen Futtermittelrecht entsprechen müssen. Derzeit werden vor allem zugelassene Futtermehle für die Insektenproduktion genutzt (E01; E08). Unter den Aspekten der ökologischen Nachhaltigkeit wird die Verfütterung von Lebensmittelabfällen angestrebt werden. Diese sei jedoch aus futtermittelrechtlicher Sicht stark eingeschränkt (E01; E02; E05). Sollte die Verfütterung von Lebensmittelabfällen an Insekten zugelassen werden, würde dies mit einigen Herausforderungen für die Akteure entlang der Wertschöpfungskette einhergehen: Um qualitativ gleichbleibendes Insektenprotein zu gewinnen, sind die Insektenproduzenten darauf angewiesen, dass das Futtersubstrat für die Insekten eine gleichbleibend hohe Qualität hat. Von kleineren Abfallentsorgern können Lebensmittelabfälle jedoch nicht in einem ausreichenden Maß homogenisiert werden, um für die Insektenproduktion geeignet zu sein. Viele Produkte, die vom Lebensmitteleinzelhandel an die Abfallwirtschaft abgegeben werden, sind zudem aufgrund des Verpackungsmaterials ungeeignet für die weitere Verarbeitung zum Insektensubstrat (E01; E02). Als besser geeignet werden die Speiseabfälle aus dem Gastronomiebereich angesehen, wenngleich sie häufig hohe Salzgehalte aufweisen (E01; E02; E04). Vorzugsweise sollten Abfallprodukte aus der Ernährungsindustrie, wie z.B. Ausputzreste aus der Gemüseverarbeitung, genutzt werden. Als vorteilhaft werden hier insbesondere die nahezu gleichbleibende Verfügbarkeit sowie die konstante Inhaltsstoffzusammensetzung bewertet (E04; E05). Auch die Verfütterung von Insekten mit Futtermitteln, deren Haltbarkeitsdatum überschritten wurde, ist denkbar (E04). Des Weiteren werden in den Niederlanden Versuche zur Verfütterung von Geflügelkot an Insekten durchgeführt. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Verfütterung tierischer Exkreme an die Insekten gesellschaftlich nicht akzeptiert werden würde (E04; E05; E08).

4.3 Futtermittelindustrie und landwirtschaftliche Nutztierhaltung

Um als Alternative zu Soja angesehen zu werden, müssen Algen und Insekten mindestens eine gleichwertige Nährstoffqualität vorweisen (E05; E07; E11). Der deutlich höhere Preis für Mikroalgen gegenüber Soja sei bislang nicht durch eine bessere Futterverwertung der Mikroalgennährstoffe und etwaige positive Effekte auf die Tiergesundheit zu rechtfertigen (E09; E10). Wenngleich die

Proteingehalte der Mikroalgen mit 60 % die des Sojaextraktionsschrots (52 %) etwas überschreiten, weichen die Aminosäuregehalte ab. So enthält beispielsweise die Mikroalgenart Spirulina geringere Gehalte an Lysin, Cystein, Arginin und Histidin. Um eine optimale Futtermittelzusammensetzung zu erzielen, wird daher bei der Substitution von Soja durch Algen die Anreicherung mit Aminosäuren notwendig (E03; E05; E07). Ein weiterer Punkt, der aus Sicht der Experten die Wettbewerbsfähigkeit der Algen gegenüber Soja schwächt, ist die teilweise schwere Verdaulichkeit einiger Mikroalgenarten (E05; E09). Beispielsweise ist im Verarbeitungsprozess der Chlorella-Alge das Aufbrechen der Zellwände mit unterschiedlichen Mühlensystemen notwendig, um eine bessere Verdaulichkeit sicherzustellen. Dieser zusätzliche Arbeitsschritt, der bei Spirulina-Algen nicht notwendig ist, verteuert die zunächst kostengünstigere Produktion (E09; E11). Weiterhin befürchtet ein Interviewpartner, dass von den in den Mikroalgen enthaltenen Microcystinen toxische Wirkungen ausgehen könnten (E10). Bei Makroalgen, die aus den Meeren geerntet werden, wird hingegen eine Belastung mit Plastik- und Schwermetallen befürchtet (E05).

Die Extraktion der Mikroalgenproteine für die Futtermittelindustrie wird von Vertretern der Algenproduzenten und der Futtermittelindustrie als kritisch bewertet, da die Extraktion die Produktionskosten weiter erhöht und gleichzeitig wichtige Inhaltsstoffe für andere Absatzwege verloren gingen (E05, E09). Dementsprechend prognostiziert einer der befragten Algenproduzenten dem Algenfuttermittelmarkt nur ein geringfügiges Wachstum in den nächsten Jahren (E10). Als eine potenzielle Marktnische wird jedoch algenbasiertes Futter für die biologische Nutztierhaltung gesehen (E07; E10). Aufgrund des Fütterungsverbots synthetischer Aminosäuren in der biologischen Tierhaltung sei eine Leistungssteigerung durch die Verfütterung von Algenproteinen eher zu erwarten als in der konventionellen Tierhaltung (E07; E10). Die Zahlungsbereitschaft ökologisch wirtschaftender Betriebe wird folglich als höher eingeschätzt. Inwiefern Algen die Anforderungen der Richtlinien zur biologischen Tierhaltung erfüllen können, gilt es genauer zu untersuchen (E05). Innerhalb der Wertschöpfungskette Fleisch gewinnt zudem die gentechnikfreie Fütterung an Bedeutung. Der Zukauf von gentechnikfreien Futtermittelkomponenten, z.B. gentechnikfreien Soja, verursacht aktuell Mehrkosten, die durch die Verkaufserlöse nicht in gleichen Umfang gedeckt werden. Die Substitution von Soja durch gentechnikfreies Algenprotein könnte, sofern die Produktionskosten für Algenproteine gesenkt werden können, eine interessante Alternative für den Markt darstellen (E11).

Mit Blick auf die Insekten als alternative Proteinquelle stellt aus Sicht eines Befragten aus der Futtermittelindustrie die Vermarktung von Lebendinsekten an private Hühnerhalter eine interessante Alternative dar, da die Zahlungsbereitschaft dieser Kundengruppe als höher eingeschätzt wird (E04). In der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung müssen die Insektenfuttermittel

jedoch mit den herkömmlichen Futtermitteln konkurrieren und sowohl hinsichtlich des Preises als auch der Nährstoffzusammensetzung überzeugen können (E07). Es wird jedoch nicht erwartet, dass Lebendinsekten oder Insektenmehle langfristig günstiger angeboten werden können als Soja (E04; E08). Die Verdaulichkeit der Insekten wird durch den Chitinpanzer herabgesetzt. Eine Trennung des Chitins vom besser verdaulichen Insektenrestkörper erscheint aufgrund der unterschiedlichen spezifischen Gewichte jedoch technologisch möglich. Der technologische Aufwand sowie die einzuhaltenden Qualitätsanforderungen werden für die Insektenmehlproduktion nicht höher eingeschätzt als für die Produktion anderer Tiermehle (E05; E11). Problematisch ist aus Sicht eines Interviewpartners jedoch die Produktion von Mischfuttermitteln mit Insektenprotein in Futtermittelwerken, die ebenfalls Futter für Wiederkäuer herstellen. Die Verfütterung von Insektenprotein wird nur für Monogastrier diskutiert, für Polygastrier kommt sie jedoch nicht in Frage. Dementsprechend müssen Futtermittelwerke eine Verunreinigung des Wiederkäuerfuttermittels mit Insekten sicher verhindern können. Dies könnte beispielsweise durch getrennte Mischlinien gewährleistet werden, die jedoch mit höheren Kosten für die Futtermittelwerke einhergehen (E05).

Um Proteinkomponenten mit gleichbleibenden Qualitäten auf Insektenbasis liefern zu können, benötigt die Futtermittelindustrie homogene und ganzjährig verfügbare Rohstoffe. Die Abweichungen in den Proteingehalten sollten unter 1% liegen. Diese Homogenität wird als Voraussetzung für gleichbleibend hohe tierische Leistungen und somit auch als Voraussetzung für die Akzeptanz des Insektenproteins durch die Landwirte angesehen (E03; E05). Die Homogenisierung des Insektenmehls auf Ebene der Futtermittelindustrie ist für die befragten Akteure dieser Wertschöpfungsstufe gegenwärtig nicht vorstellbar, da die Produktionskosten der Eiweißkomponente auf Insektenbasis weiter steigen und die Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu Sojaextraktionsschrot sinken würde (E04; E05; E08). Die Verdaulichkeit einiger Insektenarten, wie z.B. der Schwarzen Soldatenfliege, wird als geringer als jene von Soja eingeschätzt und auch die Schmackhaftigkeit der Insekten sei nicht immer gegeben. Die Kosten für Lebendmaden belaufen sich, so die Angaben eines Interviewpartners, gegenwärtig auf rund 10.000 €/t (E04).

Die Verfütterung von Insekten wird als eine Differenzierungsmöglichkeit für landwirtschaftliche Betriebe angesehen, die jedoch mit einem hohen Kommunikationsaufwand einhergeht. Denn nur, wenn den Verbrauchern die als besonders naturnahe Fütterungsweise vermittelt werden kann, können höhere Erlöse erzielt werden. Als Herausforderung in diesem Zusammenhang nennt einer der Befragten das geringe Interesse der Verbraucher an der Fütterung der Nutztiere. Dennoch wird die Integration von Lebendinsekten oder Insektenprotein in die Futtermittelration von Geflügel als Beitrag zur Verbesserung des Tierwohls angesehen (E07). Ein anderer Interviewpartner führt an, dass viele

Landwirte der Integration von tierischen Eiweißen in die Futterrationen von Geflügel oder Schweinen aufgeschlossen gegenüberstehen und als eine Möglichkeit sehen, dem oftmals problematischen Kannibalismus innerhalb der Bestände vorzubeugen. Diese Erwartung wird auch als relevantes Argument in Bezug auf die gesellschaftliche Akzeptanz der Insektenfuttermittel angesehen (E05). Das in den Niederlanden durchgeführte OERei-Projekt, in dem Legehennen u.a. mit lebenden Insekten gefüttert werden, zeigt die Relevanz dieser möglichen Diversifizierungsstrategie für landwirtschaftliche Betriebe auf (E05; E08): Die an dem Projekt beteiligten Landwirte erzielen für die konventionell produzierten Eier einen Vermarktungspreis von 30 Cent/Ei. Das bedeutet für die Landwirte nach Angaben eines Interviewpartners eine um 4 Cent höhere Gewinnmarge pro Ei (E05). Die Nachfrage nach Eiern aus dem OERei-Projekt wird aktuell als steigend angesehen, da die Fütterung als besonders naturnah wahrgenommen wird (E08).

4.4 Vermarktungsmöglichkeiten und erwartete Verbraucherresonanz

Algen wird generell eine sehr große gesellschaftliche Akzeptanz zugeschrieben, die vor allem auf die gesundheitsfördernden Inhaltsstoffe zurückgeführt wird. Auch wird angenommen, dass die gesellschaftliche Akzeptanz von Algen als alternative Proteinquelle deutlich höher sei als die von Insekten (E05; E06; E11). Wenngleich Algen als Lebens- und Futtermittel in vielen Küstenregionen Europas seit langer Zeit bekannt sind, gehören sie nicht zu den natürlichen Futtermitteln vieler Tierarten. Dies wird als ein Punkt wahrgenommen, der der gesellschaftlichen Akzeptanz gegenüber Algenprotein in Futtermitteln entgegenstehen könnte (E06; E09). Die Vermarktungsmöglichkeiten von Fleisch, bei dessen Produktion Algenproteine verfüttert wurden, werden als relativ gut eingeordnet. Da bekannt sei, dass Algen zahlreiche wertvolle Inhaltsstoffe enthalten, sei eine hohe Verbraucherakzeptanz nicht unwahrscheinlich (E11). Mikroalgen werden bislang nur in sehr geringem Umfang in der Lebensmittelproduktion eingesetzt. Vorwiegend werden die Algeninhaltsstoffe in der Kosmetikindustrie oder zur Produktion von Nahrungsergänzungsmitteln verwendet. Als ursächlich für den verbreiteteren Einsatz der Mikroalgen in diesen Sparten wird die vergleichsweise höhere Zahlungsbereitschaft der Endkunden für die Produktkategorien angesehen (E05; E09).

Die Verfütterung von Insekten an landwirtschaftliche Nutztiere wird als eine Differenzierungsmöglichkeit für die Fleischwarenindustrie angesehen (E11). Um das Fleisch von Tieren, die mit Insekten gefüttert wurden, als eigenes Produkt auszuweisen, benötigt die Fleischwarenindustrie eine gewisse Menge, die kontinuierlich geliefert werden muss. Hierfür müsste eine entsprechende Anzahl an landwirtschaftlichen Tierhaltern auf die Fütterung mit Insekten

umsteigen, was aktuell noch nicht abzusehen ist (E06). Zudem geben die Experten zu bedenken, dass die Auswirkungen des Insekteneiweißes auf die Fleischqualität abzuwarten bleibt (E06; E11).

Einige der Befragten geben zu bedenken, dass ein Großteil der deutschen Bevölkerung bei der Betrachtung von Insekten Ekel empfindet. Diese Empfindungen gegenüber Insekten können sich möglicherweise negativ auf die gesellschaftliche Akzeptanz der Produkte auswirken (E05; E06). Dementsprechend sei mit gesellschaftlichen Widerständen bei möglichen Genehmigungsverfahren für Insektenproduktionsanlagen zu rechnen (E03). Zudem kann die Verfütterung von Insektenmehlen in der gesellschaftlichen Wahrnehmung fälschlicherweise mit der Verfütterung von Tiermehlen gleichgesetzt werden. Die Verfütterung von Tiermehlen ist aufgrund der BSE-Krise im Jahr 2000 im Gedächtnis vieler Verbraucher negativ verankert (E04; E05). In diesem Zusammenhang geben die Befragten zu bedenken, dass die gesellschaftliche Meinungsbildung gegenwärtig stärker von dem Diskussionstenor in den sozialen Medien abhängt als von den Ergebnissen wissenschaftlicher Studien (E03; E04; E05; E07). Zudem wird eine mögliche gesellschaftliche Sorge vor der Einführung invasiver Arten und deren Auswilderung durch ein eventuelles Entweichen der Insekten aus den Produktionsanlagen als potenzielles Hindernis eingestuft. Gleichzeitig wird auch im gesellschaftlichen Bewusstsein für das Artensterben der Insekten ein mögliches Gegenargument gesehen, da die Verfütterung der ohnehin bedrohten Insekten an die Nutztiere als widersprüchliche wahrgenommen werden könnte (E05; E06; E11). Als möglicherweise positiver Effekt auf die gesellschaftliche Wahrnehmung wird die Orientierung an der natürlichen Nahrungsaufnahme von Geflügel und Schweinen angesehen, die durch die Verfütterung von Insekten umgesetzt wird (E03; E07). Zudem ist die Verfütterung von Insektenmehlen in der Aquakultur bislang auf keine ablehnende Reaktion der Gesellschaft gestoßen, was als positives Signal für die Ausweitung des Einsatzgebietes der Insektenproteine gesehen wird (E03). Als ein weiterer relevanter Einflussfaktor auf die Akzeptanz der Verfütterung von Insekten wird auch die gesellschaftliche Einstellung gegenüber den Sojaimporten angesehen. Es wird erwartet, dass mit zunehmender Ablehnung gegenüber den Sojaimporten die Akzeptanz für alternative Proteinquellen steigt. Politische Maßnahmen zur Einschränkung der Sojaimporte werden darüber hinaus als relevanter Treiber für die weitere Entwicklung der Insektenproduktion angesehen (E08). Ebenso wird die Nachhaltigkeit der Insektenproduktion als Einflussfaktor auf die gesellschaftliche Akzeptanz angesehen. Mit Blick auf die Gestaltung nachhaltiger Produktionsprozesse nimmt ein Interviewpartner jedoch die unterschiedliche Auslegung nachhaltiger Prozesse durch die Wirtschaft und die Verbraucher wahr: Während Nachhaltigkeit aus unternehmerischer Sicht ressourceneffiziente Produktionsweisen erforderlich mache, beinhaltet der Begriff aus Sicht der Konsumenten eher ethische Aspekte des Tierwohls (E05).

5 Diskussion

Die Insekten- und Algenproduktion birgt ein hohes Potenzial, um der steigenden Nachfrage nach Proteinen zu begegnen. Während Algen bereits für die Futtermittelproduktion zugelassen sind, ist die Verwendung von Insekten bislang auf den Aquakulturbereich beschränkt. Die Aufnahme der Insekten in die Novel Food Verordnung, wird jedoch als wichtiges Indiz für die Ausweitung der Zulassung von Insekten als Futtermittel gewertet. Sowohl für die menschliche, als auch für die tierische Ernährung ist der Einsatz der beiden alternativen Proteinquellen denkbar, wenngleich die Akzeptanz als Futtermittelkomponente eher gegeben zu sein scheint (Henchion et al., 2017; Sogari et al., 2019).

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die befragten Experten sowohl Algen als auch Insekten ein gewisses Potenzial als Futtermittel für den deutschen Nutztiersektor zusprechen. Gleichzeitig äußern sie jedoch Bedenken, ob Algen- und Insektenproteine aus deutscher Produktion unter ökonomischen und ökologischen Aspekten konkurrenzfähig gegenüber der ausländischen Produktion sein können. Um sich als tatsächliche Alternative in der Nutztierfütterung zu etablieren, sind ausreichende Qualitäten und Quantitäten des Algen- und Insektenproteins erforderlich. Andernfalls wird eine Integration der alternativen Proteinquellen in die automatisierten Prozesse der Futtermittelindustrie als kaum umsetzbar angesehen. Auch Kim et al. (2018) kommen zu dem Schluss, dass diese Voraussetzung erfüllt sein muss, damit Algen- und Insektenprodukte einen relevanten Beitrag zur Sicherung der Proteinversorgung leisten können. Während Insektenproteine nur für die Verfütterung an Monogastrier geeignet sind, können Mikroalgenproteine auch an Wiederkäuer verfüttert werden (Becker, 2004). Als entscheidend für die weitere Etablierung von Algen und Insekten als alternative Proteinkomponenten in Futtermitteln werden die wirtschaftliche Erzeugung qualitätsstabiler Algen- und Insektenmehle sowie die Schaffung der futtermittelrechtlichen Voraussetzungen, insbesondere hinsichtlich des Einsatzes von Insektenmehl, angesehen (Vantomme, 2015; Neumann et al., 2018; Velten et al., 2018).

Verglichen mit den Niederlanden und Frankreich ist Deutschland bislang kaum in die Algen- und Insektenproduktion integriert. Als ausschlaggebender Faktor für die gegenwärtige und möglicherweise auch zukünftige geringe Beteiligung Deutschlands an der Algen- und Insektenproduktion geben einige der Befragten die vergleichsweise nachteiligen klimatischen Bedingungen an. So wird die Zukunft der Algen- und Insektenproduktion eher in den klimatisch wärmeren Regionen gesehen. Die im Vergleich zu Deutschland relativ weit fortgeschrittene Verbreitung der Insektenproduktion in den Niederlanden verdeutlicht jedoch, dass auch westeuropäische Länder für die Produktion geeignet sind (Verbeke et al., 2015; Marberg et al., 2017). Die Umsetzung einer Prototypanlage zu Kultivierung der Schwarzen Soldatenfliege durch eines der

befragten Abfallunternehmen zeigt weiterhin, dass auch in Deutschland erste Bemühungen für den Einstieg in die Insektenproduktion betrieben werden. Die aktuell erzeugten Margen werden jedoch als zu gering für eine aus ökonomischer Sicht rentable Produktion angesehen. Im Bereich der Algenproduktion ist jedoch, wie auch die befragten Experten zu bedenken gaben, davon auszugehen, dass lediglich die Mikroalgenproduktion in Photobioreaktoren für den deutschen Markt relevant sein wird. Die zur Produktion von Makroalgen in natürlichen Gewässern benötigten klimatischen Bedingungen sind in Deutschland nicht gegeben.

Die bislang recht hohen Produktionskosten der Algen- und Insektenproduktion werden von den Befragten als stärkstes Gegenargument mit Blick auf die Etablierung der alternativen Proteinquellen angeführt. Insbesondere im Vergleich mit Soja können Insekten und Algen bislang nach Einschätzung der Experten nicht standhalten. Es ist davon auszugehen, dass die erwartete Erweiterung der Zulassung die technische Entwicklung im Bereich der Algen- und Insektenproduktion vorantreiben wird. Bislang geht ein hemmender Einfluss von der ungewissen Nachfrageentwicklung auf die Verbreitung der Algen- und Insektenproduktion in Deutschland aus. Im Laufe des Innovationszyklusses wird dieser hemmende Einfluss mit der erweiterten Zulassung des Insektenproteins und mit der Verbreitung der Erfahrungen erster Pionierbetriebe geringer wird (Sogari et al., 2019; von Jeinsen et al., 2019).

Während die Algen- und Insektenproduktion in anderen Ländern bereits Fuß gefasst hat, befindet sie sich in Deutschland noch in einem frühen Stadium der Innovation. Die Einschätzungen der befragten Experten, dass dem Einstieg in die Algen- oder Insektenproduktion bislang die geringen Erfahrungen, die ungewisse Nachfrageentwicklung sowie die hohen Investitions- oder Produktionskosten entgegenstehen, decken sich mit den Ergebnissen von von Jeinsen et al. (2019), die ähnliche Hemmnisse für die Adoption innovativer Produktionsverfahren in der Landwirtschaft identifizierten. Die Produktionssysteme von Algen und Insekten müssen weiterentwickelt und automatisiert werden, um wirtschaftliche wettbewerbsfähig zu sein. Auch die Verarbeitungs- und Extraktionsverfahren werden bislang als zu teuer für eine wettbewerbsfähige Produktion eingeschätzt und erfordern technische Weiterentwicklungen (Halloran et al., 2016; Beakley und Hayes, 2017; Dobermann et al., 2017). Damit das Insektenmehl als Futtermittelkomponente für die Geflügel- und Schweinehaltung wettbewerbsfähig ist, sollten der Preis pro Kilogramm zwischen 1 € und 1,50 € liegen. Möglichkeiten, die Kosten der Insektenproduktion zu senken, bestehen im Einsatz günstigerer Nährsubstrate aus der Abfallwirtschaft, eine höhere Futtermittelverwertung durch die optimale Nährstoffzusammensetzung des Nährsubstrates, die Mechanisierung und Automatisierung der Produktionsprozesse sowie die Erzielung von Skaleneffekten durch den Bau größerer Produktionsanlagen (Veldkamp et al., 2012; Van Huis et al., 2013; Vantomme, 2015). Auch mit Blick auf das Algenmehl werden die aktuellen

Produktionskosten ebenfalls als zu hoch angesehen, um im Wettbewerb mit Sojaextraktionsschrot bestehen zu können. Einen Ansatzpunkt bietet die technische Weiterentwicklung der Produktions- und Verarbeitungssysteme (Madeira et al., 2017). Die gegenwärtig stattfindenden Studien zur Entwicklung effizienterer Verarbeitungstechniken befinden sich noch in den Anfangsstadien, so dass weitere Untersuchungen in diesem Bereich notwendig sind (Wang et al., 2019).

Die für die Produktion von Algen und Insekten nachteiligen klimatischen Bedingungen in Westeuropa, die einen hohen Energieeinsatz erforderlich machen, verringern nach Einschätzung der Befragten die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber den herkömmlichen Proteinquellen. Sowohl die Algen- als auch die Insektenproduktion kann nach Auffassung der Befragten von einer Standortnähe zu Biogasanlagen profitieren. Die Abwärme der Biogasanlagen kann dem hohen Energieverbrauch zum Beheizen der Produktionsanlagen begegnen. Es wird jedoch auch auf die unterschiedlichen Temperaturbedürfnisse verschiedener Mikroalgenarten verwiesen. Die Chlorella-Alge zeichnet sich durch relativ geringe Temperatursprüche aus. Verglichen mit der Spirulina-Alge wird sie daher als vorteilhafter für die westeuropäische Produktion angesehen. Die Reduzierung der Energiekosten durch geeignete Abwärmenutzungskonzepte wurde auch von Veldkamp et al. (2012) sowie von Van Huis et al. (2013) als ein relevanter Ansatzpunkt zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit bewertet.

Als ein wesentlicher Einflussfaktor auf die ökologische Nachhaltigkeit und die ökonomische Tragbarkeit der Insektenproduktion wird die Zulassung organischer Abfälle aus der Lebensmittelproduktion als Nährsubstrat für die Insektenproduktion angesehen. Insekten, die auf pflanzlichen Produkten, wie beispielsweise Soja- oder Roggenmehl, produziert werden, hinterlassen einen großen ökologischen Fußabdruck. Zudem treten sie in direkte Konkurrenz um Ressourcen, die anderenfalls direkt für die menschliche bzw. tierische Ernährung genutzt werden könnten. Die Verfütterung minderwertiger Agrarprodukte oder organischer Abfälle aus der Lebensmittelindustrie, die durch die Insekten in hochwertige Nährstoffe transformiert werden können, bringen einen neuen, ökologischen Ansatz in die Wertschöpfungskette Fleisch. Die Aufwertung von Produkten, die andernfalls aus der Nahrungskette ausscheiden würden, entschärft den Konflikt um den Einsatz andernorts benötigter Ressourcen für die Fütterung landwirtschaftlicher Nutztiere (Boland et al., 2013; Van Huis et al., 2013; Vantomme, 2015; Smetana et al., 2016). Die von Veldkamp et al. (2012) beschriebene Verfütterung tierischer Exkreme als Nährsubstrat für Insekten wird – trotz der erwähnten ökologischen Aufwertung – als irrelevante Alternative für den europäischen Markt angesehen (Bland et al., 2013).

Um Insektenmehle von gleichbleibender Qualität produzieren zu können, werden jedoch Nährsubstrate mit gleichbleibenden Nährwertzusammensetzungen in ausreichenden Mengen benötigt. Die befragten Experten aus der Abfallindustrie gaben an, dass dies insbesondere für

kleinere Entsorgungsbetriebe nicht konstant zu gewährleisten sei. Erschwerend kommt hinzu, dass die Verfütterung von Abfällen an Nutztiere in Folge verschiedener Lebensmittelskandale, wie etwa der BSE-Krise oder der Verunreinigung von Futtermitteln mit PCB oder Dioxinen, stark eingeschränkt wurde (Boland et al., 2013). Wenngleich es bislang keine Hinweise darauf gibt, dass infektiöse Formen von Prionen, die eine Transmissible Spongiforme Enzephalopathie auslösen können, in Insekten angesiedelt sind, wird dennoch von der Verfütterung von fleischhaltigen Abfallprodukten an Insekten abgeraten (Charlton et al., 2014). Neben den erwähnten ökologischen Vorteilen birgt die Verfütterung von organischen Abfällen auch einige Risiken, die in der Planung der Insektenproduktion Berücksichtigung finden müssen: Beispielsweise können sich im Laufe von Vergärungsprozessen in den organischen Abfällen Mykotoxine bilden, deren Eintrag in die Insektenkultur unerwünscht ist (Charlton et al., 2014). Um den Eintrag von Mykotoxinen, Schwermetallen oder auch Dioxinen in die Insektenkultur zu verhindern, wird ein regelmäßiges Monitoring der Nährsubstrate empfohlen. Zudem sollten die EU-Grenzwerte für die Schwermetallbelastung von Futtermitteln an das jeweils artenspezifische Akkumulationsverhalten unterschiedlicher Insektenarten angepasst werden (Schrögel und Wätjen, 2019). Mögliche Belastungen der Insektenkultur können während des Verarbeitungsprozesses in einem begrenzten Umfang reduziert werden: Das toxische lipophile Dioxin kann beispielsweise durch Entfetten von dem Insektenmehl abgeschieden werden (Charlton et al., 2014). Verbeke et al. (2015) identifizierten die Sorge vor einer Kontamination des Insektenproteins als ein relevantes Hemmnis hinsichtlich der Akzeptanz von Insektenproteinen durch die Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette. Auch die Ergebnisse der Expertenbefragung weisen darauf hin, dass eine Sicherstellung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit eine zentrale Voraussetzung für die Akzeptanz des Insektenproteins darstellt.

Im Zusammenhang mit der Produktion von Insekten in den benötigten Größeneinheiten kamen einige der Interviewpartner auf die Frage nach dem Tierwohl in der Insektenhaltung zu sprechen. Die Aspekte des Tierwohls in der Insektenhaltung sind bislang wissenschaftliche kaum thematisiert worden. Pali-Schöll et al. (2018) verweisen darauf, dass die intensive Insektenproduktion eine Vielzahl von Fragen mit Bezug zum Tierschutz aufwerfen kann. Beispielsweise sind die Bereiche der Aufzucht, Haltung und Tötung von Insekten bislang nur unzureichend durch gesetzliche Rahmenbedingungen festgelegt. Mit Blick auf das Tierwohl empfehlen die Autoren, Insektenarten zu wählen, die unter leicht zu kontrollierenden Bedingungen leben können, geringe Ansprüche an das Futtermaterial stellen und auch in großen Einheiten sozialverträglich sind. Diese Anforderungen werden u.a. von Mehlwürmern oder der Schwarzen Soldatenfliege erfüllt. Die Aussagen zu einem möglichen Schmerzempfinden sind zudem widersprüchlich, so dass gegenwärtig keine klare Entscheidung darüber getroffen werden kann. Aus diesem Grund weisen Pali-Schöll et al. (2018) die

Entwicklung von Welfare-Standards für Insekten als relevanten Bereich für zukünftige Untersuchungen aus, auf dessen Grundlage geeignete Produktionssysteme entwickelt werden können.

Um eine tatsächliche Alternative zu dem importierten Soja darstellen zu können und so einen Beitrag zur Reduzierung der in Europa bestehenden „Proteinlücke“ leisten zu können, muss die Nährstoffzusammensetzung der Algen- und Insektenfuttermittel nach Meinung der befragten Experten mindestens gleichwertig zu der des zu ersetzenden Sojas sein. Die befragten Experten sehen hier vor allem die teilweise defizitären Aminosäuregehalte in Mikroalgen als kritisch an. Auch wird von beiden Produkten eine im Vergleich zu Soja schlechtere Verdaulichkeit erwartet. Fütterungsversuche mit Masthähnchen oder Schweinen, in denen der Sojaanteil im Mischfuttermittel vollständig durch Algen- oder Insekteneiweiß ersetzt wurde, widersprechen teilweise der von den befragten Experten erwarteten schlechteren Futtermittelverwertung der alternativen Proteinquellen: In der Fütterung von Masthähnchen erzielte die Substitution von Sojaextraktionsschrot durch Insektenmehl eine verbesserte Futtermittelverwertung bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Endlebensmasse. Die Ergebnisse des Mikroalgenmehls fielen hingegen etwas ungünstiger aus: Trotz einer Anreicherung mit den ansonsten defizitären Aminosäuren konnte die Futtermischung mit Mikroalgenmehlen nicht die gleiche Futtermittelqualität erzielen wie herkömmliche Futtermittelmischungen. Auch in der Fütterung von Mastschweinen wurde unter Zugabe der defizitären Aminosäuren eine bessere Verdaulichkeit des mit Insektenmehl hergestellten Futtermittels erzielt. Die Futtermischung mit Algenmehl erzielte jedoch auch bei den Mastschweinen etwas geringere Effekte auf die Leistungsparameter. Die Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass die Integration von Algenmehlen in Futtermischungen eine umfangreiche Supplementation mit Aminosäuren erforderlich macht. Ähnliche Effekte wurden für eine 50 % Substitution des Sojaextraktionsschrots durch Insekten- oder Algenmehle beobachtet. Als entscheidendes Hindernis für die Substitution des Sojaextraktionsschrots durch Algen oder Insekten wird die bislang geringe Produktionsmenge genannt (Neumann et al., 2018; Velten et al., 2018; Rothstein, 2019).

Die von den Umfrageteilnehmern befürchtete schlechtere Verdaulichkeit beruht vor allem auf dem chitinhaltigen Exoskelett der Insekten, das jedoch in der Aufbereitung vom Insektenmehl abgeschieden werden kann. Die Nachfrage nach Chitin aus anderen Industriezweigen, beispielsweise der Kosmetik- und Nahrungsergänzungsmittelindustrie, ist hoch, so dass sich für die Nebenprodukte der Insektenmehlherstellung potenzielle Absatzmärkte ergeben. Frühere Studien verweisen zudem auf positive Auswirkungen des Chitins auf das tierische Immunsystem. Ob und inwieweit durch die Verfütterung von Insektenbestandteilen ein geringerer Einsatz von Antibiotika in der Nutztierhaltung erzielt werden kann, ist bislang unklar (Veldkamp et al., 2012). Auch von der Verfütterung von

Mikroalgen werden positive Effekte auf das tierische Immunsystem erwartet. So sollen Mikroalgen im Futtermittel die Krankheitsresistenz erhöhen und die Darmfunktionen der Tiere verbessern. In Folge dessen soll die Futteraufnahme ansteigen und die Reproduktionsleistung der Tiere verbessert werden (Harel und Clayton, 2004). Mit Blick auf die Verdaulichkeit wird die Spirulina-Alge gegenüber Chlorella als vorteilhafter bewertet. Anders als bei der verdaulicheren Spirulina-Alge bestehen die Zellwände der Chlorella-Art aus Zellulose, die das Futtermittelverwertungsverhalten von Wiederkäuern und Monogastriern unterschiedlich beeinflussen. Während Wiederkäuer die Mikroalgenbestandteile direkt verarbeiten können, erfordert die Verfütterung an Monogastrierer zunächst die Aufspaltung der Zellwände (Becker, 2004). Bei der Bewertung der Verdaulichkeit alternativer Proteinquellen sollte zudem nicht außer Acht gelassen werden, dass auch die bereits etablierten proteinreichen Nutzpflanzen oftmals antinutritive Inhaltsstoffe enthalten und daher in verschiedenen Prozessschritten für die Verfütterung aufbereitet werden müssen (Kim et al., 2019).

Die Umfrageteilnehmer gaben darüber hinaus an, dass die Auswirkungen der Verfütterung von Algen- und Insektenproteinen auf die Fleischqualität nicht abzuschätzen sind. Die in einer Pilotstudie durchgeführten Fütterungsversuche, in denen in den Futterrationen von Mastgeflügel Soja anteilig durch Spirulina-Mehl oder das Mehl der Schwarzen Soldatenfliegen Larve ersetzt wurde, zeigten geringfügige Auswirkungen auf die Fleischqualität. Die Fütterungsversuche mit dem Mehl der Schwarzen Soldatenfliege resultierten in erhöhten Mastgewichten und einem intensiveren Geschmack des Fleisches. Das Brustfleisch von Geflügel, dessen Futter Spirulina beinhaltet, hat generell einen höheren pH-Wert und ein höheres Wasserhaltevermögen während der Lagerung und der Zubereitung. Die Farbe des Brustfleisches ist dunkler, röter und hat eine leichte Gelbfärbung. Hier wird von den Wissenschaftlern weiterer Forschungsbedarf ausgewiesen, bevor die Spirulina in größeren Mengen in der Geflügelfütterung eingesetzt wird (Altmann et al., 2018). Die Verfärbung des Fleisches mit zunehmendem Mikroalgenanteil in der Futtermittelration stellten auch Phelps et al. (2016) bei der Untersuchung des Fleisches der Rückenmuskulatur von Rindern fest. Gleichzeitig beobachteten sie einen höheren Anteil mehrfach ungesättigter Fettsäuren im Fleisch.

Die gesellschaftliche Akzeptanz innovativer Produktionsverfahren, wie der Algen- oder Insektenproduktion sowie ihr Einsatz als alternative Futtermittelkomponente, wird als maßgeblich für deren weitere Etablierung am Markt angesehen. Der Einschätzung der Interviewpartner zur Folge, werden Algen als Futtermittel eher durch die Gesellschaft akzeptiert als Insekten. Insbesondere die Verknüpfung der Verfütterung von Tiermehl mit der BSE-Krise, aber auch die gesellschaftliche Sorge um das Insektensterben und der Widersprüchlichkeit zwischen der Verfütterung von Insekten einerseits und den bislang wenig diskutierten Aspekten des Tierwohls in der Insektenproduktion andererseits prägen diese Einschätzung. Verbeke et al. (2015) und Sogari et al. (2019) beobachteten

jedoch, dass die Akzeptanz von Insektenproteinen als Tierfuttermittel durch Verbraucher generell gegeben ist.

Zudem wird befürchtet, dass Ekelgefühle gegenüber Insekten oder die Sorge vor einer möglichen Krankheitsübertragung durch Insekten die gesellschaftliche Akzeptanz negativ beeinflussen können. Van Huis et al. (2013) schätzen das Risiko einer zoonotischen Krankheitsübertragung durch Insekten jedoch als geringer ein als durch andere Tierarten. Smetana et al. (2016) sehen in der Insektenproduktion unter kontrollierten Bedingungen kein grundsätzliches Gesundheitsrisiko für den Menschen. Stattdessen beobachten sie, dass die Sorge um mögliche gesundheitliche Auswirkungen die gesetzlich geregelten Einsatzgebiete des Insektenproteins stark limitieren. Bislang ist jedoch ungeklärt, inwieweit der Kontakt bzw. der Konsum zu Insekten als Lebens- oder Futtermittel Allergien auslösen kann (Pali-Schöll et al., 2018). Schrögel und Wätjen (2019) fassen in ihrer Literaturübersicht zusammen, dass von den Insekten an sich kein gesundheitliches Risiko ausgehe. Gesundheitliche Risiken können jedoch entstehen, wenn das an die Insekten verfütterte Substrat mit Mykotoxinen oder Schwermetallen verunreinigt ist. Es wurde beobachtet, dass Schwermetalle sich in Abhängigkeit von dem Metall und der Insektenart in unterschiedlichem Umfang in Insekten anreichern können. So reichert sich Cadmium in den Schwarzen Soldatenfliegen und Arsen in Larvenkörpern des gelben Mehlwurms an. Wenngleich keine Akkumulation der Mykotoxine in Insekten beobachtet werden konnte, sind viele Aspekte der Stoffwechselfunktionen der Insekten bislang unklar. Die regelmäßige Überwachung der Nährsubstrate ist daher wesentlich für die Gewährleistung eines sicheren Futter- und Lebensmittels (Schrögel und Wätjen, 2019). Sofern die Sicherheit der innovativen Proteinquellen nicht vollständig anhand entsprechender Mess- und Kontrollprozesse festgestellt und überwacht werden kann, wird eine weitere Zulassung als unwahrscheinlich eingestuft (Charlton et al. 2014).

Als maßgeblich für die öffentliche Meinungsbildung über Insekten und Algen als alternatives Futtermittel wird von den Befragten die Kommunikation in den Sozialen Medien angesehen. Um eine positive gesellschaftliche Wahrnehmung der Verfütterung von Insektenmehlen zu begünstigen, sollte die Orientierung an den natürlichen Nahrungsquellen von Geflügel und Schweinen kommuniziert werden. Die Akzeptanz von Algenfuttermitteln kann durch die Kommunikation der gesundheitsfördernden Inhaltsstoffe gestärkt werden. Auch Verbeke et al. (2015) sehen die Kommunikation und das Marketing der alternativen Proteinfuttermittel als entscheidend für die Akzeptanz entlang der Wertschöpfungskette an. Henschion et al. (2017) geben jedoch zu bedenken, dass weniger die Kommunikation ihrer gesundheitlichen und ökologischen Vorteile über die Akzeptanz von Algen und Insekten als alternative Proteinquelle entscheiden wird, sondern dass vielmehr die Abwesenheit abschreckender Produktmerkmale, wie beispielsweise assoziierte negative sensorische Eigenschaften und möglicher gesundheitsschädlicher Auswirkungen, zu einer langfristigen

Gewöhnung führen wird. Die Integration von verarbeiteten Insektenkomponenten, z.B. Insektenmehl, in etablierten Produkten wird als eine potenzielle Strategie aufgezeigt, um die Akzeptanz des Insekteneiweißes zu erzielen. Produkte auf Basis innovativer Proteinquellen sollten für den Konsumenten die interessanteste Alternative darstellen und in der Zubereitung sowie im Verzehr keinen zusätzlichen Aufwand erforderlich machen (Van Trijp und Fischer, 2011).

6 Schlussfolgerungen

Algen und Insekten werden von den befragten Experten insgesamt mit Blick auf die Tierernährung als interessante Alternative zu herkömmlichen Proteinquellen bewertet. Dennoch zeigen die Auswertungen der Interviews bestehende Schwachstellen auf, die die Etablierung des Algen- und Insektenproteins bislang erschweren. So wird sowohl für die Algen- als auch für die Insektenproduktion der Standort Deutschland aufgrund seiner verglichen mit anderen Ländern nachteiligeren klimatischen Bedingungen aber auch aufgrund der als langwierig eingeschätzten Genehmigungsverfahren als weniger prädestiniert eingestuft. Um den klimatischen Voraussetzungen zu begegnen wird die Weiterentwicklung bestehender Produktionssysteme als entscheidend angesehen. Auf gesetzlicher Ebene wird die Überarbeitung der zugelassenen Nährsubstrate für die Insektenproduktion als besonders relevant erachtet, um das volle Potenzial der Insekten zur Erhöhung der Nachhaltigkeit in der Wertschöpfungskette auszuschöpfen. Die Festlegung einheitlicher Produktionsstandards kann darüber hinaus zur Vereinfachung der Genehmigungsprozesse beitragen.

Zusammenfassung

Welches Potenzial haben Algen- und Insektenproteine als Futtermittelkomponente in Deutschland?

Ergebnisse einer Expertenbefragung

Die Nachfrage nach Proteinen für die menschliche und tierische Ernährung steigt. Als eine mögliche Alternative wird vermehrt die Nutzung von Algen- und Insektenproteinen diskutiert. Insbesondere in der Tierernährung können Algen- und Insektenproteine das bislang vornehmlich eingesetzte aber unter Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit kritisch bewertete Soja (teilweise) ersetzen. Um die Potenziale der Algen- und Insektenproduktion in Deutschland einordnen zu können, werden im vorliegenden Beitrag anhand einer qualitativen Analyse die Einschätzungen von elf Experten entlang der Wertschöpfungskette ausgewertet. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass insbesondere hinsichtlich

der Produktionstechnik aber auch der rechtlichen Produktionsvoraussetzungen weiterer Entwicklungsbedarf besteht, damit die inländische Algen- und Insektenproduktion eine tatsächliche Alternative zu den bereits etablierten Proteinfuttermitteln darstellen können.

Summary

What potential do algae and insect proteins have as feed components in Germany?

Results of an expert survey

The demand for proteins for human and animal nutrition is increasing. The use of algae and insect proteins is increasingly being discussed as a possible alternative. In animal nutrition, in particular, algae and insect proteins can (partially) replace the soy that has so far been primarily used but has been critically assessed with regard to its impact on sustainability. In order to be able to classify the potential of algae and insect production in Germany, the present article uses a qualitative analysis to evaluate the opinion of eleven experts along the value chain. The results show that there is a need for further development, particularly with regard to production technology, but also with view to the legal production requirements, for domestic algae and insect production to be able to represent an actual alternative to the already established protein sources.

Literatur

1. Altmann, B.A, C. Neumann, S. Velten, F. Liebert und D. Mörlein (2018): Meat quality derived from high inclusion of a micro-alga or insect meal as an alternative protein source in poultry diets: a pilot study. In: *Foods* 7 (3): 1-15.
2. Becker, E.W. (2007): Microalgae as a source of protein. In: *Biotechnology* 25: 207-210.
3. Becker, E.W. (2004): Microalgae in human and animal nutrition. In: Richmond A (Hrsg.): *Handbook of Microalgae Culture. Biotechnology and Applied Phycology*. Oxford, Blackwell Science.
4. Bishop, W.M. und H.M. Zubeck (2012): Evaluation of microalgae for use as nutraceuticals and nutritional supplements. In: *Journal of Nutrition and Food Science* 2 (5): 1-7.
5. Bleakley, S. und M. Hayes (2017): Algal Proteins: Extraction, Application, and Challenges Concerning Production. In: *Foods* 6 (5): 33-67.
6. Boland, M.J., A.N. Rae, J.M. Vereijken, M.P.M. Meuwissen, A.R.H. Fischer, M.A.J.S. Van Boekel, S.M. Rutherford, H. Gruppen, P.J. Moughan und W.H. Hendriks (2013): The future supply of animal-derived protein for human consumption. In: *Trends in Food Science and Technology* 29: 62-73.
7. Charlton, A.J., M. Dickinson, M.E. Wakefield, E. Fitches, M. Kenis, R. Han, F. Zhu, N. Kone, M. Grant, E. Devic, G. Bruggeman, R. Prior und R. Smith (2015): Exploring the chemical safety of fly larvae as a source of protein for animal feed. In: *Journal of Insects as Food and Feed* 1(1): 7-16.
8. Delgado, C.L. (2003): Rising consumption of meat and milk in developing countries has created a new food revolution. In: *The Journal of Nutrition* 133: 3907-3910.

9. Dillard, H.R. (2019): Global food and nutrition security: from challenges to solutions. In: Food Security 11(1): 249-252. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00893-3>
10. Dobermann, D., J.A. Swift und L.M. Field (2017): Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. In: Nutrition Bulletin 42: 293-308.
11. Fleurence, J. (1999): Seaweed proteins; biochemical, nutritional aspects and potential uses. In: Trends in Food Science and Technology 10: 25-28.
12. Halloran, A., N. Roos, J. Eilenberg, A. Cerutti und B. Bruun (2016): Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. In: Agronomy for Sustainable Development 36 (57): 1-13.
13. Harel, M. und D. Clayton (2004): Feed formulation for terrestrial and aquatic animals. US Patent 20070082008 (WO/2004/080196).
14. Henchion, M., M. Hayes, A.M. Mullen, M. Fenelon und B. Tiwari (2017): Future Protein Supply and Demand: Strategies and Factors Influencing a Sustainable Equilibrium. In: Foods 6(7): 53-74.
15. House, J. (2018): Insects as food in the Netherlands: Production networks and the geographies of edibility. In: Geoforum 84: 82-93. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.05.011>
16. Kim, S.W., J.F. Less, L. Wang, T. Yan, V. Kiron, S.J. Kaushik und X.G. Lei (2019): Meeting Global Feed Protein Demand: Challenge, Opportunity, and Strategy. In: Annual Review of Animal Biosciences 7: 221-243.
17. Madeira, M.S., C. Cardoso, P.A. Lopes, D. Coelho, C. Afonso, N.M. Bandarra und J.A.M. Partes (2017): Microalgae as feed ingredients for livestock production and meat quality: a review. In: Livestock Science 205: 111-121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2017.09.020>
18. Marberg, A., H. van Kranenburg und H. Korzilius (2017): The big bug: The legitimization of the edible insect sector in the Netherlands. In: Food Policy 71: 111-123.
19. Mayring, P. (2015): Qualitative Inhaltsanalyse- Grundlagen und Techniken. Weinheim, Beltz Verlag.
20. Neumann, C., S. Velten und F. Liebert (2018): Improving the Dietary Protein Quality by Amino Acid Fortification with a High Inclusion Level of Micro Algae (*Spirulina platensis*) or Insect Meal (*Hermetia illucens*) in Meat Type Chicken Diets. In: Open Journal of Animal Sciences 8: 12-26. <https://doi.org/10.4236/ojas.2018.81002>
21. Pali-Schöll, I., R. Binder, Y. Moens, F. Polesny und S. Monsó (2018):. In: Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 59 (17): 2760-2771. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1468731>
22. Phelps, K.J., J.S. Drouillard, T.G. O'Quinn, D.D. Burnett, T.L. Blackmon, J. Axmann, C. Van Bibber-Krueger und J.M. Gonzalez (2016): Feeding microalgae meal (All-G Rich; *Schizochytrium limacinum* CCAP 4087/2) to beef heifers. I: effects on longissimus lumborum steak color and palatability. In: Journal of Animal Science 94:4016-4029.
23. Rothstein, S. (2019): Ernährungsphysiologische Bewertung von teilentfettetem Larvenmehl der schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) für den Einsatz in ressourcenschonenden Ernährungskonzepten der Schweine- und Hähnchenmast. Dissertationsschrift, Agrarwissenschaftliche Fakultät der GAU, Göttingen.
24. Schrögel, P. und W. Wätjen (2019): Insects for Food and Feed – Safety Aspects Related to Mycotoxins and Metals. In: Foods 8: 1-28.
25. Smetana, S., M. Palanisamy, A. Mathys und V. Heinz (2016): Sustainability of insect use for feed and food: Life cycle assessment perspective. In: Journal of Cleaner Production 137: 741-751.
26. Sogari, G., M. Amto, I. Biasato, S. Chiesa und L. Gasco (2019): The Potential Role of Insects as Feed: A Multi-Perspective Review. In: Animals 9 (4): 1-15.
27. Taelman, S.E., S. De Meester, W. Van Dijk, V. da Silva und J. Dewulf (2015): Environmental sustainability analysis of a protein-rich livestock feed ingredient in The Netherlands: Microalgae production versus soybean import. In: Resources, Conservation and Recycling 101, 61-72.

28. United Nations (2015): Revision of World Population Prospects, United Nations. Online verfügbar: <https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/keyfindingswpp2015.pdf> (Abgerufen am 06.08.2019).
29. Van der Spiegel, M., M.Y. Noordam und H.J. van der Fels-Klerx (2013): Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed and rapeseed) and legislative aspects for application in food and feed production. In: *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12(6): 662-678.
30. Van Huis, A., J. Van Itterbeeck, H. Klunder, E. Mertens, A. Halloran, G. Muir und P. Vantomme (2013): *Edible Insects: Future Prospects for Food and Food; Food and Agriculture Organisation of the United Nations: Rome, Italy.*
31. Vantomme, P. (2015): Way forward to bring insects in the human food chain. In: *Insects as food and feed* 1 (2): 121-129.
32. Van Trijp, H.C.M. und A.R.H. Fischer (2011): Mobilizing consumer demand for sustainable development. In: H. C. van Latesteijn und K. Andeweg (Hrsg.): *Transforming agro innovation toward sustainable development: The TransForum model.* Springer, Dordrecht: 79-103.
33. Verbeke, W., T. Spranghers, P. De Clercq, S. Se Smet, B. Sas und M. Eeckhout (2015): Insects in animal feed: Acceptance and its determinants among farmers, agriculture sector stakeholders and citizens. In: *Animal Feed Science and Technology* 204: 72-87.
34. Veldkamp, T., G. van Duinkerken, A. van Hous, C.M.M. Lakemond, E. Otttevanger, G. Bosch, G. und M.A.J.S. van Boekel (2012): *Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets – a feasibility study.* Report 638. Wageningen UR Livestock Research.
35. Velten, S., C. Neumann, J. Schäfer und F. Liebert (2018): Effects of the partial replacement of soybean meal by insect or algae meal in chicken diets with graded amino acid supply on parameters of gut microbiology and dietary protein quality. In: *Open Journal of Animal Sciences* 8: 259-279. <https://doi.org/10.4236/ojas.2018.83020>
36. Von Jeinsen, T., R. Weinrich und M. Diekmann (2019): *Insekten als Proteinquelle im Futtermittel von Schweinen oder Geflügel – Eine Akzeptanzanalyse bei deutschen Landwirten.* 59. Jahrestagung der GEWISOLA, Braunschweig, Deutschland, 25.-27. September 2019.
37. Vigani, M., C. Parisi, E. Rodríguez-Cereso, M.J. Barbosa, L. Sijtsma, M. Ploeg und C. Enzing (2015): Food an feed products from micro-algae: Market opportunities and challenges for the EU. In: *Trends in Food Science and Technology* 42: 81-92.
38. Wang, J., M. Zhang und Z. Fang (2019): Recent development in efficient processing technology for edible algae: A review. In: *Trends in Food Science and Technology* 88: 251-259.
39. Zentralausschuss der Deutschen Landwirtschaft, Normenkommission für Einzelfuttermittel (2019): *Positivliste für Einzelfuttermittel.* 13. Auflage. www.landwirtschaftskammern.de/pdf/futtermittel-positivliste.pdf

Anschrift der Autoren

Dr. Marie Diekmann

Georg-August-Universität Göttingen

Department für Agrarökonomie und RURale Entwicklung

Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness

Platz der Göttinger Sieben 5

37073 Göttingen

Marie.diekmann@agr.uni-goettingen.de