

## Exposé zukunftsweisender Einkommensoptionen für Biogasanlagenbetreiber

### Kopplung von Biogas- und Insektenproduktion



© H. Katz | Hermetia Baruth GmbH

Dr. Verena Wilken, Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Benedikt Hülsemann, Universität Hohenheim

Erstellt: Oktober 2021

Diese Veröffentlichung entstand im Rahmen des Projektes „Biogas Progressiv: Zukunftsweisende Strategien für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ (ProBiogas), finanziert mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) aus dem Sondervermögen Energie- und Klimafond (FKZ: 22405416; 22407617; 22408117)

## Einleitung

Für zahlreiche Biogasanlagenbetreiber stellt sich mit Ablauf der 1. EEG-Förderperiode nach 20 Jahren die Frage, wie ihre Anlage weiterhin rentabel regenerative Energie produzieren kann. Die im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2021) vorgesehene Verlängerung der Vergütung über die Ausschreibungen für Biomasseanlagen bietet grundsätzlich die Möglichkeit eines Weiterbetriebs, allerdings sind dafür technisch sowie ökonomisch optimierte Anlagenkonzepte notwendig.

Mit dem Projekt „Biogas Progressiv – zukunftsweisende Strategien für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ (ProBiogas) verfolgen die Projektpartner das Ziel, praxistaugliche Verfahrensoptionen für den Weiterbetrieb von Biogasanlagen zu evaluieren. Alle potenziellen Nutzungsoptionen, die im Projekt nicht techno-ökonomisch detailliert dargestellt werden konnten, werden in Form einer Konzeptbeschreibung vorgestellt.

Bei den hier beschriebenen Verfahrensoptionen handelt es sich um Konzepte, die derzeit zum Beispiel nur über einen eingeschränkten Absatzmarkt verfügen, sich noch in der Entwicklung befinden, nicht die Marktreife erlangt haben oder nur unter sehr speziellen Bedingungen realisiert werden können. Sie alle eint jedoch, dass sie in Zukunft eine mögliche Einkommensquelle für landwirtschaftliche Biogasanlagen darstellen können.

Vorliegendes Exposé soll als fundierte Entscheidungshilfe dienen, ob sich durch die Kopplung von Biogasanlage und Insektenproduktion für den Biogasbetrieb eine Erlössituation realisieren lässt.

## 1. Allgemeine Beschreibung

Weltweit werden Insekten zu unterschiedlichen Zwecken gezüchtet. Dabei finden allein für die menschliche Ernährung mindestens 1.400 verschiedene Spezies Erwähnung (FAO 2010). Einige Spezies stehen im Fokus der Forschung und Entwicklung, da sie günstige Eigenschaften für eine Züchtung und Nutzung aufweisen, darunter *Hermetia illucens* (Schwarze Soldatenfliege), *Tenebrio molitor* (Mehlkäfer), *Musca domestica* (Hausfliege) sowie verschiedene Grillen-, Heimchen- und Heuschreckenarten.

In Europa ist das Thema Insektenzucht noch relativ neu, was sich auch in der rechtlichen Situation widerspiegelt. Zur gewerblichen Zucht sind bisher in der EU sieben Insektenarten zugelassen, davon zwei Mehlwurmart, drei Grillenarten sowie die Haus- und die Soldatenfliege (Krause 2020). Europaweit sind zurzeit einige größere Produktionsanlagen für Insekten in Planung (Wedwidschka 2020), in Holland wurde 2019 von der Firma Protix die größte Insektenzuchtanlage der Welt eröffnet (Piepenbrock 2019).

## Vorteile der Insektenzucht

Es gibt sehr viele interessante Ansätze und gute Gründe, die für die Insektenzucht sprechen. Insektenlarven, die oft das Zielprodukt der Insektenzucht sind, bestehen zu



großen Teilen aus Fett und Eiweiß, so haben z. B. die meisten Insekten einen Rohproteingehalt von über 30 % in der Trockenmasse. Darüber hinaus sind Mikronährstoffe wie z. B. Kupfer, Eisen und Zink in den Insekten enthalten (Spranghers et al. 2017). Mit der Weltbevölkerung steigt auch der weltweite Bedarf an proteinreicher Nahrung für Mensch und Tier (Wedwischka 2020). Als Eiweißlieferanten können Insekten beispielsweise Soja ersetzen, dessen Anbau und Nutzung mit den bekannten Problemen wie Entwaldung in den Anbauländern, Abhängigkeit der europäischen Fleischproduktion von Importen usw. verbunden sind.

Dabei ist der Vorteil von Insekten, dass sie auf Reststoffen im Sinne der Kreislaufwirtschaft aufgezogen werden können. Durch den Verzehr der so aufgezogenen Insekten können die Inhaltsstoffe der Reststoffe indirekt in wertvolle Lebens- und Futtermittel umgewandelt werden. Somit kann ein deutlicher Mehrwert der Reststoffe erzielt werden (Krause 2020). Derart aufgezogene Insekten verbrauchen im Vergleich zu anderen Nutztieren keine direkte Anbaufläche. Dazu kommt, dass sie einen sehr günstigen Futtermittelverwertungsquotienten haben, u. a. weil sie Kaltblüter sind. Ein Kilogramm Insektenbiomasse kann durchschnittlich aus zwei Kilogramm Futterbiomasse hergestellt werden. So ermittelten Collavo et al. (2005) etwa einen „energy efficiency conversion index“ (ECI) von 0,59 % für Heimchen/Hausgrillen, was etwa 1,1 kg Insektenmasse je 2 kg Futter entspricht. Zum Vergleich liegen die Futtermittelverwertungsquotienten (kg TM Futter/kg essbare Masse) von traditionellen Nutztieren wie Hühner bei 3,3, für Schweine bei 6,4 und für Rindfleisch bei 25 (Alexander et al. 2016).

Weitere Vorteile sind die hohe Fruchtbarkeit von Insekten mit mehreren Lebenszyklen pro Jahr sowie ein geringerer Ausstoß an Treibhausgasen und Ammoniak je kg Massegewinn im Vergleich zu Schweinen und Rindern (Oonincx et al. 2010). Damit schneiden Insekten hinsichtlich Klimaerwärmung, Energieeinsatz, Land- und Wasserbedarf in den meisten Fällen wesentlich besser ab als andere (traditionelle) landwirtschaftliche Nutztiere, insbesondere wenn alternative Energien und organische Nebenprodukte zur Aufzucht genutzt werden (Krause 2020, Oonincx and de Boer 2012).

### **Exkurs: Insekten und ihre Entwicklungsstadien**

Alle Insekten durchlaufen einen Entwicklungszyklus, der jedoch sehr unterschiedlich sein kann. Die adulten Insekten werden Imagines genannt. Nach der Paarung legen die Weibchen in den meisten Fällen Eier, aus denen Larven oder Nymphen schlüpfen (Larven sind dabei das Juvenilstadium mit eigenen Larvalmerkmalen, Nymphen haben demgegenüber keine eigenen Merkmale). Danach unterscheidet man zwischen **hemimetabolen** Insekten, bei denen es über mehrere Larven- und Nymphenstadien (ohne Puppenstadium) mit Häutungen direkt zur Ausbildung eines Imagos kommt und **holometabolen** Insekten, welche eine Metamorphose durchlaufen. Dabei gibt es neben den Stadien Ei und Larve noch die Puppe, aus der sich das Imago entwickelt. Bei den holometabolen Insekten hat die Larve oft wenig bis keine physische Ähnlichkeit mit dem Imago und bevorzugt andere Lebensräume und anderes Futter im Vergleich zum Imago. So benötigen beispielsweise bei der schwarzen Soldatenfliege die adulten Fliegen Tageslicht



und Wärme, aber nur die Larve benötigt Futter (Wedwidschka 2020). Von den hemimetabolen Insekten werden in der Regel die Adulten genutzt, wie dies bei Grillen z. B. der Fall ist, bei den holometabolen Insekten werden hingegen in der Regel die Larven genutzt (z. B. Larven der Schwarzen Soldatenfliege oder des Mehlkäfers).

### **Fütterung von Insekten**

Da Insekten selbst als Nutztiere gelten, müssen bei der Aufzucht und Fütterung entsprechende rechtliche Regelungen beachtet werden. Insekten brauchen energiereiche Nahrung, wobei nur zugelassene Futtermittel, wie z. B. Hühnerfutter (was in Asien oft genutzt wird), andere Getreideprodukte sowie pflanzliche, unverarbeitete Reststoffe erlaubt sind (siehe Positivliste Futtermittel (ZDL 2019)). Als Futtermittel nicht erlaubt sind demgegenüber Wiederkäuer-Proteine, Küchen- und Speiseabfälle, Fleisch- und Knochenmehl sowie Gülle (Deutscher Verband Tiernahrung e. V. 2020).

Auch Richtlinien des Ökoverbands Naturland haben die Insektenzucht zum Inhalt und schreiben vor, dass das verarbeitete Futter vorzugsweise aus Nebenprodukten bzw. aus Reststoffen der ökologischen Produktion oder Verarbeitung solcher Produkte stammen soll und ein extra Futterbau, der in Konkurrenz zur menschlichen Ernährung stehen könnte, zu vermeiden ist (Naturland 2020).

Sowohl Wedwidschka (2020) als auch Spranghers et al. (2017) untersuchten verschiedene Futtermittel und Reststoffe zur Aufzucht der schwarzen Soldatenfliege, darunter auch Gärreste aus der Biogaserzeugung. Die Aufzucht funktioniert auch mit diesem nicht zugelassenen Reststoff, jedoch erbrachten andere Reststoffe wie Hühnertrockenkot (ebenfalls nicht zugelassen), Maissilage und Reststoffe aus der Bioethanolherstellung (Wedwidschka 2020) bzw. Hühnerfutter, Gemüse- und Restaurantabfälle (Spranghers et al. 2017) einen höheren Biomasseaufbau bei den Larven.

Viele Autoren schreiben, dass es sinnvoll wäre, die rechtlichen Rahmenbedingungen hinsichtlich der Erlaubnis der Verwertung von Abfallströmen für die Insektenzucht zu überdenken, da dann die Nutzung von Insekten als Proteinquelle besonders nachhaltig wäre. Aber auch nicht alle Insekten können auf Abfällen gezüchtet werden wie z. B. Grillen oder Mehlwürmer. Und nicht immer sind die Insekten, die sich besonders nachhaltig züchten lassen, auch die mit den günstigsten Eigenschaften wie z. B. guter Geschmack oder günstige Inhaltsstoffe. Hier gilt es, die richtigen Arten zu finden (Wang und Shelomi 2017). Die Schwarze Soldatenfliege wird weltweit kaum zur menschlichen Ernährung genutzt, würde sich aber z. B. als Fischfutter gut eignen. Die Vorteile der adulten Fliegen sind, dass sie keine Nahrung außer Wasser benötigen, keine Lästlinge und kein Vektor für Krankheiten sind. Der Vorteil der Larven ist, dass sie ein breites Spektrum an Nahrung verwerten können.

### **Verwertung von Insekten**

Insekten können für unterschiedliche Zwecke gezüchtet werden. Zu unterscheiden sind die technische Nutzung der Inhaltsstoffe, die Züchtung zur Herstellung von Tierfutter (lebende



und tote Insekten, auch gemahlen) oder zur menschlichen Ernährung (ganze Insekten oder auch nur Extrakte von Inhaltsstoffen).

### Technische Anwendung

Eine technische Anwendung finden Teile von Insekten z. B. in Kosmetika, in biologisch abbaubaren Waschmitteln oder auch als hochwertige Schmierstoffe (Olefine). Insbesondere dort, wo erdölbasierte Schmierstoffe aus Gründen des Gewässerschutzes nicht erlaubt oder erwünscht sind, ist der Einsatz von Insektenfetten interessant, z. B. für Kettensägen, in der Lebensmittelindustrie, aber auch für Motorräder oder Fahrräder sind sie geeignet (BMBF 2020).

Ein weiterer technisch nutzbarer Inhaltsstoff aus Insekten ist Chitosan, ein Chitin-Derivat, welches antimikrobielle Eigenschaften aufweist und unter anderem in der Bioplastik-Industrie und für biologische Verbundwerkstoffe nutzbar ist (Fernandez and Ingber 2013).

Neben diesen breit einsetzbaren extrahierbaren Inhaltsstoffen gibt es auch einige bekannte „Spezialfälle“ wie z. B. die Gewinnung von Seide durch die Seidenspinnerraupe, die Nutzung von Cochenilleschildläusen (*Dactylopius coccus*) zur Gewinnung des roten Farbstoffs Karmin (auch Einsatz im Lebensmittelbereich als Lebensmittelfarbstoff E 120) oder auch die Nutzung der Ausscheidungen der Lackschildlaus als Schellack (foodinsects 2019).

### Einsatz als Futtermittel

Der Einsatz von Insekten als Futtermittel ist ökologisch sehr sinnvoll, da sie wertvolle Proteine und Fette enthalten. Verschiedene Studien zeigen, dass entfettetes Insektenprotein erfolgreich für die Tierfütterung genutzt werden kann (Veldkamp et al. 2012). Durch ihren Einsatz könnten z. B. Sojaimporte (Einsparung von Fläche und Wasser zur Proteinbereitstellung) sowie der Einsatz von Fischmehl reduziert werden (Wedwidschka, 2020), wobei das Einsparpotenzial derzeit noch nicht als sehr hoch eingeschätzt wird.

Rechtlich ist das Verbot der Verfütterung von tierischem Eiweiß an Nutztiere komplex. Als Reaktion auf die BSE-Krise wurde die Verfütterung tierischer Proteine an Wiederkäuer 1994 und ab 2001 an alle Nutztiere in der EU verboten. Nebenprodukte aus der Schlachtung werden in drei Risikokategorien unterschieden, die in der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 definiert sind: Kategorie 1 (Risikomaterial, muss unschädlich beseitigt werden), Kategorie 2 (nicht genussfähiges Material) und Kategorie 3 (genusstaugliches Material, verarbeitetes tierisches Protein). Anstrengungen in Richtung Aufhebung des Verfütterungsverbots führten 2013 zu einer Zulassung von verarbeitetem tierischem Eiweiß aus Schweinen und Geflügel für Tiere in der Aquakultur und im Juli 2017 kam verarbeitetes tierisches Eiweiß aus Insekten als neue Quelle für tierisches Eiweiß für Tiere in der Aquakultur hinzu. Auch für Heimtiere ist Insektenprotein als Futtermittel erlaubt.

Das Spektrum der essentiellen Aminosäuren von Insekten passt aber auch gut zum Bedarf von Schweinen und Hähnchen, insbesondere *Tenebrio molitor* (Mehlkäfer) und *Hermetia*



*illucens* (Schwarze Soldatenfliege) ergeben gute Insektenmehle als Nahrungsquelle für Hähnchen (Spranghers et al. 2017). Das Verfütterungsverbot von tierischem Protein für Schweine und Hähnchen wird zurzeit überprüft (Brinkmann 2021) und eine Zulassung wird für 2021 erwartet. Die Verfütterung lebender Insekten ist hingegen sowohl an Fischen (insbesondere mit Heimchen praktiziert) als auch an Hühnern und Schweinen erlaubt (Biefang 2020).

#### Einsatz in der Humanernährung

Insekten werden weltweit, hauptsächlich aber in Asien, Afrika und Südamerika, zur menschlichen Ernährung verwendet, da sie ein wertvoller Lieferant für Protein und Fett sind. Darüber hinaus können Insekten den menschlichen Bedarf an Aminosäuren gut abdecken, sie enthalten hohe Gehalte an ungesättigten und mehrfach ungesättigten Fettsäuren und hohe Mengen an einigen Mikronährstoffen wie Kupfer, Eisen, Magnesium, Mangan, Phosphor, Selen, Zink sowie Riboflavin, Panthothensäure, Biotin und in einigen Fällen Folsäure (Rumpold und Schlüter 2013). Verwendet werden dabei hauptsächlich ganze Insekten, die roh oder gegart verzehrt werden. Aber auch Extrakte von Insekten oder Insektenmehle können interessant sein, insbesondere wenn sich die Verbraucher am Aussehen oder der Textur der nicht aufbereiteten Insekten stören (Wang und Shelomi 2017).

In Europa werden Insekten nur sehr vereinzelt als Nahrungsmittel angeboten. Da Insekteneiweiß als besonders nachhaltig gilt, könnte die Bedeutung auch mit der Zulassung von verschiedenen Insekten als Nahrungsmittel in Zukunft noch zunehmen. So sind Van Huis et al. (2013) der Meinung, dass Insekten ein Teil der Lösung bei der Suche nach alternativen Proteinquellen sein können und die Aufzucht von Insekten eine Möglichkeit sein kann, die Lebens- und Futtermittelsicherheit in Zukunft zu verbessern. Ob dies wirklich langfristig der Fall sein wird, ist unklar, denn der Ekelfaktor ist bei vielen Menschen in Europa tief verankert. Möglicherweise etabliert sich der Einsatz von Insekten auch eher in Bereichen der Lebensmitteltechnologie, wie es mit Karmin der Fall ist (Karmin wird aus weiblichen, graviden Cochenilleschildläusen (*Dactylopius coccus*) gewonnen und ist als Lebensmittelfarbstoff (E 120) in Deutschland zugelassen) oder potenziell mit Chitin aus Insekten möglich wäre, welches als Dickungsmittel, Präbiotikum oder aufgrund seiner antimikrobiellen Wirkung in Lebensmitteln eingesetzt werden kann (DFG 2016).

Rechtlich ist der Verzehr von Insekten in der EU seit dem Inkrafttreten der Novel-Food-Verordnung (Verordnung (EU) 2015/2283) 2018 so geregelt, dass spezifische Insektenarten nach einer Unbedenklichkeitsprüfung als Lebensmittel zugelassen und vermarktet werden können. Für Lebensmittel mit Insekten, die schon vorher auf dem Markt waren, gilt eine Übergangsfrist. Sie dürfen weiter vermarktet werden, solange ein Zulassungsantrag bis Anfang 2019 gestellt wurde.

In Deutschland wurde ganz aktuell (Mai 2021) der gelbe Mehlwurm als erstes Insekt als neuartiges Nahrungsmittel zugelassen. Die European Food Safety Agency (EFSA) hat den



Mehlwurm als unbedenklich eingestuft und die EU-Mitgliedsstaaten haben der Zulassung als Nahrungsmittel nun zugestimmt. Nun darf er als Ganzes oder als Mehl verkauft werden. Darüber hinaus sind zehn Prozent Mehlwurm in Nahrungsmitteln wie Nudeln oder Keksen erlaubt. Die EFSA weist aber darauf hin, dass es bei Personen, die gegen Hausmilben und Krustentiere allergisch sind, bei Insektenprodukten zu Kreuzreaktionen kommen kann (Verbraucherzentrale 2021).

## **2. Verfahrenstechnische Beschreibung**

Informationen zur technischen Durchführung bzw. zum Aufbau einer Insektenzuchtanlage und die ökonomische Datenlage sind bisher kaum vorhanden. So gibt es bisher nur wenige Zuchtanlagen im industriellen Maßstab, beispielsweise Anlagen die pro Tag eine vergleichbare Proteinmenge durch Insekten herstellen wie ein Betrieb mit 30.000 Legehennen (Cortes Ortiz 2016). Zudem fehlt vielen Betrieben bisher ein ausreichender Mechanisierungsgrad, was dazu führt, dass sich ein Markt zum Beispiel für Insekten als Tierfutter nicht aufbauen kann, da entsprechende Mengen in guter, gleichbleibender Qualität und zu konkurrenzfähigen Preisen nicht gewährleistet werden können (Cortes Ortiz 2016).

Größere Insektenzuchtanlagen sind in den Niederlanden geplant, die Firma Protix ist z. B. mit einer großen Anlage zur Zucht des sogenannten Buffalowurms (Larven des Glänzendschwarzen Getreideschimmelkäfers) im Jahr 2019 in Betrieb gegangen. Die größte Insektenzuchtanlage der Welt wird in den USA geplant, hier soll die Schwarze Soldatenfliege gezüchtet werden. Auch in Deutschland gibt es unter anderem einige Start-ups, die sich mit dem Thema Insektenzucht beschäftigen. So hat die Firma madebymade ein Zuchtsystem mit räumlich voneinander getrennten Modulen der unterschiedlichen Verfahrensschritte zur Zucht der Schwarzen Soldatenfliege entwickelt. Die genauen Zuchtstrategien, Futterzusammensetzungen oder ökonomischen Daten sind dabei aber Firmengeheimnisse, die nicht veröffentlicht werden.

Allgemein sind bisher nur wenige Informationen zu Zuchtsystemen veröffentlicht worden, daher wurde zur Erstellung der folgenden Informationen zu Zuchtsystemen, wenn nicht anders angegeben, in erster Linie das Buchkapitel zu Zuchtsystemen von Cortes Ortiz et al. (2016) herangezogen.

Generell besteht die Insektenzucht aus der Aufzucht, der Mast sowie der Weiterverarbeitung, die – je nachdem, welche Teile verwertet werden sollen – unterschiedlich aufwendig ausfallen und gegebenenfalls auch extern durchgeführt werden. Der Aufbau einer Insektenzucht bedarf einer Prozessmechanisierung (Einsatz von Maschinen zur Unterstützung der menschlichen Arbeitskraft), die Beschaffung oder Herstellung von günstigem Futter sowie eine geeignete Anordnung der Gebäude inklusive klimatisierter Räume für die Zucht. Um das Ganze profitabel und nachhaltig zu gestalten, muss bei der Planung auf die richtige Balance zwischen dem Level an Mechanisierung und



Automatisierung, der anfallenden Arbeit, den Investitionen und der Produktivität geachtet werden, wobei ein Level von 80 % Mechanisierung angestrebt werden sollte.

Die genauen Anforderungen an z. B. Licht, Wärme und Boxengröße usw. variieren zwischen den gezüchteten Insektenpezies. Insgesamt sollte aber die Zuchtfläche effizient gestaltet sein und es muss zwischen den Aufzuchtboxen Platz für Belüftung und Erwärmung sein.

Die Futterlagerung und die Fütterung selbst müssen so gestaltet werden, dass das Futter möglichst vollständig den Insekten zur Verfügung gestellt werden kann. Auch die Futterzusammensetzung sollte gut durchdacht werden. Zunächst muss geschaut werden, ob die gewählten Insekten flüssige oder feste Nahrung benötigen. Sinnvoll und ökologisch wäre, günstige Reststoffe wie z. B. die heute schon zur Insektenaufzucht verwendeten Reste aus der Bioethanolherstellung oder Gemüsereste zu nutzen und diese ggf. mit energiereicherem Futter anzureichern. Es sind vor allem solche Reststoffe zu bevorzugen, die bisher keine oder kaum Abnehmer besitzen, sodass es zu keiner Konkurrenzsituation mit anderen Industriezweigen kommt.

Des Weiteren müssen die Insektenprodukte im Sinne der Lebensmittelsicherheit rückverfolgbar sein, was über RFID-Tags (radio-frequency identification-Transponder) gemacht werden kann, sodass für jede Charge erkannt werden kann, wann die Zucht gestartet wurde und mit welchem Futter sie versorgt wurde.

Die „schlachtreifen“ Insekten können entweder durch Hitze oder Kälte getötet werden. Mögliche Produktgruppen, die dann entstehen, sind ganze, gemahlene oder pastöse Insekten oder Extrakte aus Protein, Fett oder Chitin zur Anreicherung in Lebensmitteln.

Logistisch gesehen ist es sinnvoll, die Nähe entweder zu den Futtermitteln (beispielsweise in der Nähe zu einer gemüseverarbeitenden Industrie) oder zum Verbraucher (Aquafarm oder Hähnchenmast) zu wählen.

Im Folgenden sollen die Aufzucht von Mehlwurm und Schwarzer Soldatenfliege kurz dargestellt werden.

### **Mehlwurm**

Der Mehlwurm wird in der Regel in Schalen/Tablets gezüchtet, welche meist etwa eine Größe von 65 (L) x 50 (B) x 15 (H) cm haben. Diese werden in Regale geschoben, die eine platzsparende Anordnung erlauben. Oonincx (2012) gibt an, dass in einer holländischen Zuchtanlage für Mehlwürmer Eierkartons zur Vergrößerung der Oberfläche zur Eiablage genutzt werden. Die Behälter mit festen Böden haben allerdings den Nachteil, dass die Tiere häufig neu angeordnet werden müssen, da die Adulten alle 3 bis 5 Tage von ihren Eiern getrennt werden müssen, um Ei-Kannibalismus zu verhindern. Aus diesem Grund wurden Systeme mit durchlässigen Böden entwickelt, bei denen die Eier durch den Boden fallen. Die Larvenentwicklung dauert 45 bis 60 Tage. Während dieser Zeit werden auch die Larven, welche mehrere Larvenstadien durchlaufen, mit Siebssystemen händisch oder maschinell nach Größen sortiert, da sie sich unregelmäßig schnell entwickeln (z. B. in Abhängigkeit von



Temperatur und Luftfeuchte). Zum Erhalt der Zucht wird ein Teil der Larven zur Verpuppung und zur Entwicklung zum adulten Mehlwurm wieder in Behälter mit Weizenkleie sortiert. Die großen Larven werden als Zielprodukt zur Konservierung getrocknet, was in China häufig über Mikrowellentrocknungssysteme gemacht wird.

Große Zuchtanlagen in China halten in den Anzuchträumen Temperaturen zwischen 25 und 30 °C und eine relative Luftfeuchte zwischen 50 und 75 %.

Für die Ernährung des Mehlwurms bedarf es hauptsächlich Weizenkleie. Deutliche Verbesserungen für die Zucht sind aber möglich, wenn Gemüse zugegeben wird, wie z. B. Kartoffeln, Möhren oder Kohl, was gleichzeitig als Wasserquelle dienen kann. Oonincx (2012) gibt als Futter für eine Mehlwurmzuchtanlage in Holland eine Mischung aus Karotten und Getreide (z. B. Weizenkleie, Hafer, Soja, Roggen und Mais angereichert mit Bierhefe) an. Als Futtermenge werden 6 bis 10 g Weizenkleie und 0,6 bis 0,1 g Gemüse pro Tag für 100 Larven angegeben. Dabei sollte die Fütterung zweimal täglich erfolgen und schlechte und nicht verbrauchte Reste sollten entfernt werden. Alle 3 bis 5 Tage müssen die Behälter von alten Fraßresten und Kot gereinigt werden. Auch die großen Zuchtanlagen in China füttern mit einer Mischung aus Weizenkleie und gereinigten Gemüseresten, wobei die Gesamtmischung etwa einen Wassergehalt von 18 % haben sollte. Mehlwürmer können bei ausreichender Luftfeuchte Wasser aus der Luft aufnehmen. Da der Erhalt einer hohen Luftfeuchte aber teuer ist, wird in den meisten Zuchtanlagen händisch alle paar Tage mit Wasser gesprüht, was einen hohen Arbeitsaufwand bedeutet, der in Europa einen deutlichen Kostenanstieg bedeutet. Eine Mechanisierung dieses Arbeitsschrittes wäre ein guter Forschungs-/Entwicklungsansatz für die Zukunft.

Obwohl Insekten in artgerechter Massentierhaltung gezüchtet werden können, muss beim Mehlwurm auf die Zuchtdichte bei den Larven geachtet werden. Zu hohe Tierzahlen können zu schlechteren Zuchtergebnissen führen, da sie z. B. die Verpuppung verzögern oder verhindern sowie die Wachstumsraten und damit die Larvenmasse und auch die Futtermittelverwertungseffizienz reduzieren können. Eine geringere Dichte bedeutet auch einen höheren Platzbedarf, deshalb muss der ökonomischste Weg für die maximale Dichte und die geringsten Verluste gefunden werden. In Zuchtanlagen in China wird eine Dichte von 1,18 Larven/cm<sup>2</sup> als optimal angesehen. Auch bei den Adulten kann eine zu hohe Dichte einen negativen Einfluss auf die Aufzucht haben, da sie z. B. eine erhöhte Sterblichkeit sowie Ei-Kannibalismus zur Folge haben kann. In China wird eine optimale Dichte für Adulte Mehlwürmer von 0,94 Tieren/cm<sup>2</sup> angegeben.

### **Schwarze Soldatenfliege**

Die Schwarze Soldatenfliege ist ein holometaboles Insekt, welches die Stadien Ei, Larve, Vorpuppe, Puppe und adultes Tier durchläuft. Die Larven können ein großes Spektrum an Futter verwerten, sogar Speisereste, weshalb sie sich zur Abfallverwertung/-behandlung eignen. Durch ihren Stoffwechselprozess können sie aus solchen Abfallstoffen Protein gewinnen. Allerdings sind, wie bereits oben erwähnt, nur zugelassene Futtermittel erlaubt,



wenn die Insekten anschließend als Futter für u. a. Wels, Regenbogenforelle, Schwein und Geflügel genutzt werden sollen. Zur menschlichen Ernährung werden die Larven bisher nur selten verwendet. Die Vorpuppen und Puppen unterscheiden sich von den weißen Larven durch eine schwarze Färbung. Die adulten Fliegen haben eine wespenähnliche Erscheinung und leben ca. zwei Wochen. Bei der Zucht gibt es üblicherweise zwei getrennte Bereiche für die Adulten und die Larven/Puppen.

Adulte Schwarze Soldatenfliegen fressen und trinken nicht und sind damit hygienisch zu halten, da sie keine Pathogene vom Fraßplatz verschleppen können. Adulte Weibchen sterben kurz nach der Eiablage. Tote Fliegen müssen regelmäßig aus den Gehegen sortiert werden. Aus den Eiern schlüpfen zunächst die Männchen, etwa zwei Tage später die Weibchen. Zwei Tage nach dem Schlupf der Weibchen findet in der Regel die Paarung statt und wiederum zwei Tage später die Eiablage. Um diese Prozesse zu begünstigen, sind Käfige von mindestens 1 m<sup>3</sup> Größe, Sonnenlicht (Ersatz durch künstliches Licht möglich) sowie eine Temperatur von etwa 27 °C von Vorteil. Für die Eiablage werden gewellte Kartonblocks in die Käfige gelegt/an die Käfige gehängt, welche nach ca. zwei bis drei Tagen, bevor die Larven schlüpfen, entnommen werden müssen. Für die weitere Verwendung, also entweder zum Erhalt der Zucht oder zur Massenproduktion, werden sie in andere Behälter überführt.

Die Kartonblocks werden in kleinere Behälter mit etwa 500 ml Fassungsvermögen separiert und abgedeckt in Regalen gelagert. Für die Entwicklung der Larven sind eine Temperatur von 27 °C, 60 bis 70 % Luftfeuchte sowie ein 14/10 Hell-Dunkel-Zyklus einzuhalten. Ab Schlupf der Larven wird eine geringe Menge Nahrung mit etwa 70 % Feuchte angeboten. Nach dem Schlupf und wenn die erste Nahrung verbraucht ist, können die Larven in einen größeren Behälter (etwa Schuhkartongröße) überführt und reichlich gefüttert werden, z. B. mit Mischungen aus Getreide und Gemüse oder auch mit Resten aus der Bioethanolherstellung. In größeren Zuchtanlagen, wie z. B. bei der brandenburgischen Hermetia Biotech, wird dieser Schritt in vollklimatisierten Bioreaktoren vollzogen. Der größte Teil der Larven kann dann nach wenigen Tagen „geerntet“ werden. Das Zielprodukt der Vermarktung ist laut Hermetia Biotech das Larvenstadium L4, da hier der Proteingehalt am höchsten ist. Die Tötung und gleichzeitige Hygienisierung der Insekten findet mit Hitze bei etwa 80 °C statt.

Ein kleinerer Teil der Larven darf sich verpuppen, um zum Erhalt der Zucht beizutragen. Diese Behälter müssen dann (mit Gaze) abgedeckt werden um zu verhindern, dass die adulten Tiere wegfliegen. Die Adulten werden dann wieder in Gazekäfigen entlassen um dort durch Paarung und Eiablage für die nächsten Larven zu sorgen.

### **3. Anknüpfungspunkte zur Biogasanlage**

Grundsätzlich gibt es drei denkbare Schnittpunkte zwischen Biogasanlage und Insektenzucht:



- Die Nutzung von Gärresten als Futter für die Insekten
- Die Nutzung der BHKW-Abwärme zur Aufrechterhaltung der relativ hohen Zuchttemperaturen
- Die Nutzung der Reststoffe aus der Insektenzucht (sprich unverdautes Material, die Häute der Larven und Exkremete, auch Insect Frass genannt) als Substrat für die Biogasanlage

Die Fütterung der Insekten mit Gärresten ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht erlaubt, da Insekten als Nutztiere gelten und dementsprechend auch nur mit zugelassenen Futtermitteln gefüttert werden dürfen. Hierunter fallen auch pflanzliche Reststoffe. Eine Änderung der rechtlichen Rahmenbedingungen, mindestens für die Fütterung von Insekten, die nicht für die menschliche Ernährung bestimmt sind, wäre ökologisch und ökonomisch ein großer Vorteil. Wie oben bereits erwähnt, ist die Fütterung von bestimmten Insekten mit Gärresten technisch und biologisch möglich. Krause (2020) betont, dass Gärreste aufgrund des geringen Trockensubstanzgehalts z. B. für die Aufzucht der Soldatenfliege sehr gut geeignet wären. Damit entfällt auch der Kostenfaktor Wasser. Aufgrund der Transportunwürdigkeit von wasserreichen Substanzen sollte die Entfernung zwischen Biogasanlage und Insektenzuchtanlage aber nicht über 10 km liegen.

Ohne weitere Genehmigung ist es aber erlaubt, die Abwärme der Biogasanlage für die Insektenzucht zu Nutzung, wie sie z.B. auch für die Aquakultur genutzt wird. Laut Krause (2020) gestaltet sich mit der Abwärmennutzung zur Einstellung der nötigen Temperaturen für die Zucht eine Kopplung der Zweige Insektenzucht und Biogasanlage besonders ökonomisch und nachhaltig. Beispiele für eine Kopplung sind bisher nicht bekannt. In der Larvenaufzucht sind Temperaturen bis zu 35 °C gefordert. Bezogen auf 1.000 t Protein ergibt sich ein Wärmebedarf von ca. 5.000 MWh pro Jahr (Katz 2021).

Die Nutzung des Insect Frass als Substrat in der Biogasanlage ist erlaubt. Bei einem Ausstoß von 1.000 t Protein pro Jahr fallen ca. 6.000 t Insect Frass an (Katz 2021). Technisch gesehen eignen sich die Reste als Substrat, was von Bulak et al. (2020) getestet wurde. Sie setzten die Reste aus der Zucht von Schwarzer Soldatenfliege, Mehlwurm und Grillen ein und erzielten nach 21 Tagen Biogaserträge von 379 (Mehlwurm), 390 (Grillen) bzw. 351 ml/g TS (Schwarze Soldatenfliege). Die erzielten Methanpotenziale lagen zwischen 208 ml CH<sub>4</sub>/g oTS für Abfälle aus der Zucht der Schwarzen Soldatenfliege und 259 ml CH<sub>4</sub>/g oTS für Abfälle aus der Zucht von Grillen. Die Erträge waren damit laut der Autoren vergleichbar mit anderen üblicherweise genutzten Biogassubstraten. So liegen die Methanpotenziale laut KTBL-Richtwerten beispielsweise für Maissilage bei 355, für Rindergülle bei 230 und für Speisereste zwischen 450 und 600 ml CH<sub>4</sub>/g oTS (KTBL 2021).

Alternativ zur Nutzung als Substrat in der Biogasanlagen könnten diese Reste aber auch unfermentiert als Dünger verwendet werden. In Versuchen hat sich eine sehr gute Düngeeigenschaft gezeigt, was möglicherweise durch die Mikrobiologie und die Anwesenheit von Chitin bedingt ist. Die Weichen dafür, dass dies rechtlich erlaubt ist, wurden kürzlich von den Mitgliedsstaaten und der Europäischen Kommission gestellt (Agra



Europe 2021). Zurzeit werden von der EU-Kommission noch Fragen bezüglich Hygienisierung, zulässiger Anteil an Tiermaterial sowie Voraussetzungen für eine Bio-Zertifizierung diskutiert. Grundsätzlich ist die zusätzliche energetische Verwertung mittels Biogasanlage aus ökologischen Gesichtspunkten ratsam.

Krause (2020) ist der Meinung, dass eine Organisation der Kopplung der Zweige Biogas und Insektenzucht auf Betriebsebene, also Bau der Insektenzuchtanlage direkt an der Biogasanlage, sinnvoll wäre, um die Stoffströme optimal zu nutzen. Allerdings sieht er Probleme beim Absatz von gewonnenen Rohfraktionen, da sich die unbehandelten ganzen Insekten nur als Futter eignen und die Fütterung an Nutztiere außer an Fische bisher nicht erlaubt ist. Für eine höhere Gewinnspanne durch den Verkauf von Extrakten usw. sind aufwendige Reinigungs- und Verfahrensschritte notwendig.

#### **4. Ökonomische Angaben**

Angaben zu den Investitionen zum Bau einer Insektenzuchtanlage sind kaum zu finden, da die Züchtungen in Deutschland noch weitestgehend von Start-ups und Forschungseinrichtungen betrieben werden. In einem Artikel der Netzwerk-Plattform „farm . food . future“ heißt es, ein Stallsystem für die Schwarze Soldatenfliege der Firma madebymade gebe es für einen mittleren einstelligen Millionenbetrag und würde sich nach etwa drei Jahren rentieren. Dabei wird von einem Preis für Insektenmehl von 5.000 bis 6.000 Euro pro Tonne ausgegangen, dieser sei in den letzten Jahren ausgehend von etwa 2.000 Euro pro Tonne stark gestiegen (Piepenbrock 2020). In einem weiteren Artikel der Plattform aus dem gleichen Jahr wird der Preis von einem Unternehmer allerdings noch mit 2,50 €/kg für Pulver aus der Schwarzen Soldatenfliege angegeben (Piepenbrock 2020a). In den in Modulen konzipierten Zuchtanlagen von madebymade wird bei einem Einsatz von 18 t Futtermitteln pro Tag mit 5 bis 7 Tonnen Larven auf der Outputseite kalkuliert (Piepenbrock 2020a).

Platzbedarf, notwendige Automatisierungstechnik und der zu kalkulierende Zeitaufwand unterscheiden sich aber auch je nach gewählter Insektenart, die gezüchtet werden soll. Sollen die gezüchteten Insekten z. B. als Futtermittel vertrieben werden, muss eine größere Menge produziert werden können, was zu dem entsprechenden Zeit-, Platz- und Investitionsbedarf führt (Piepenbrock 2020a).

Ökonomische Stellschrauben bei der Planung einer Anlage sind eine

- geeignete Lage (Nähe zum Futteranfall oder zum Abnehmer),
- die Reduzierung der Kosten durch Nutzung der BHKW-Wärme (bei Kopplung mit Biogasanlage),
- die Optimierung des Futtereinsatzes (Nutzung von erlaubten Reststoffströmen) sowie
- zur Reduzierung des Arbeitseinsatzes ein gewisses Maßes an Automatisierung.

Neben den relativ hohen Erstinvestitionskosten wird auch immer wieder darauf hingewiesen, dass ein hohes Maß an Know-how mitzubringen ist.



## **5. Marktrelevanz und Absatzmärkte**

Insekten sind insbesondere für Protein und Fett eine sehr gute Quelle. Die drei grundsätzlichen Märkte für Insekten wurden in Kapitel 2 bereits erläutert.

Krause (2020) geht davon aus, dass sich ein Hauptumsatz für Insektenzüchter durch den Aufbau eines regionalen Kundennetzes im B2B-Bereich, also von Unternehmen zu Unternehmen, aufbauen lässt. Hierfür kommen vor allem Futtermittelhersteller infrage. Eine Direktvermarktung im Futtermittelbereich an Aqua- und Geflügelfarmen nach Zulassung als Futtermittel käme darüber hinaus in Betracht.

Sollen nicht nur Rohware oder Rohfraktionen (chitinhaltiges Proteine, ungeklärte Fettfraktion) vermarktet werden sondern Produkte, die aufwendigere Aufbereitungsverfahren erfordern, so bietet sich eine Zusammenarbeit mit Bioraffinerien oder Technologieunternehmen an. Mögliche Aufbereitungsschritte sind Reinigung, Fraktionierung, ggf. Formulierung und Stabilisierung (Krause 2020).

Insbesondere für die aus Insekten gewonnenen Fette kommt neben einer Anwendung von hochreinen Fetten in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie (z. B. Ersatz von Palmfett in Backwaren) auch eine technische Anwendung infrage, z. B. als umweltfreundliches Schmiermittel für die Außenanwendung (Krause 2020). Nach Piepenbrock (2020a) ist der Hauptabnehmer für Insektenproteine zurzeit der Proteingroßhandel.

Alternativ zur Nutzung als Biogassubstrat könnte der anfallende Insektenfraß (Exkrement) als Nebenprodukt als hochwertiger Dünger vermarktet werden, was möglicherweise bald erlaubt sein wird. Über zu erzielende Preise bei diesem Absatzweg kann jedoch nichts gesagt werden (Krause 2020).

## **6. Rechtliche Belange und Förderungen**

Das Thema Insektenzucht ist in Europa noch sehr neu und es gibt kaum Erfahrungen aufgrund der geringen Anzahl an gebauten Insektenzuchtanlagen in Europa. Aber es ist absehbar, dass das Interesse an diesem Thema – und damit die Stückzahl der gebauten Anlagen – zunehmen wird. Voraussetzung dafür ist die Anpassung oder Änderung einiger Gesetze. Aber auch hier hat sich in der nahen Vergangenheit einiges getan. So sind Insekten in der Aquakultur seit einigen Jahren als Futtermittel erlaubt und der gelbe Mehlwurm wurde in diesem Jahr als Novel Food anerkannt und darf zur Humanernährung eingesetzt werden.

Bisher sind nur zugelassene Futtermittel als Nahrung für die Insektenzucht zugelassen. Eine Erlaubnis der Nutzung einer breiteren Palette an Reststoffen als Futter für Insekten würde weitere Kosteneinsparungen bedeuten und somit dazu führen, dass die Branche einen weiteren Aufschwung erfährt. Ebenso würde die Zulassung der Insekten als Futtermittel für Nutztiere einen deutlich größeren Absatzmarkt ermöglichen.

Förderungen für den Bau einer Insektenzuchtanlage gibt es, soweit bekannt, keine. Einige Firmen, Start-ups oder Betriebe werden durch die Teilnahme an drittmittelfinanzierten



Projekten gefördert. Zudem forschen einige Forschungseinrichtungen und Universitäten an dem Thema, da es zurzeit von Geldgebern im wissenschaftlichen Bereich im Rahmen der Bioökonomie gefördert wird. Aus diesen Forschungsprojekten sind auch eine Vielzahl der zuvor genannten Firmen, Start-ups und Betriebe hervorgegangen.

## **7. Chancen und Hürden**

Insbesondere bei einer Nutzung von Reststoffen für die Aufzucht ist die Produktion und Nutzung von Insektenproteinen und -fetten ökologisch deutlich vorteilhafter als das Protein von anderen Nutztieren. Die Nutzung der BHKW-Wärme zur Aufrechterhaltung der hohen Temperaturen für die Zucht ist eine gute Möglichkeit, die Biogasproduktion mit der Insektenzucht zu koppeln. Dies würde der Biogasanlage eine ganzjährige gleichmäßige hohe Wärmeabnahme garantieren. Deutlich günstiger wäre die Lage aber, wenn die beiden anderen Kopplungsmöglichkeiten rechtlich erlaubt wären.

Neben den rechtlichen Einschränkungen sind die größten Hürden bei der Errichtung einer Insektenzuchtanlage das hohe Maß an Fachwissen, das vorhanden sein muss, sowie hohe Investitionskosten, die auch dadurch zustande kommen, dass es bisher wenig Erfahrung und fertige Systeme am Markt gibt. Entwickelt sich die Branche in den nächsten Jahren, womit zu rechnen ist, ist auch mit einem geringeren benötigten Startkapital zu rechnen.

## **8. Weiterführende Informationen**

Im Folgenden werden einige Projekte und Firmen aufgeführt, die sich mit dem Thema Insektenzucht befassen und über die sich bei Bedarf näher informiert werden kann.

### **Projekt „Nachhaltige Insektenproduktion“**

Im eip-Projekt (Europäische Innovationspartnerschaft) „Nachhaltige Insektenproduktion“, welches von FramInsect GmbH, der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft sowie einem landwirtschaftlichen Betrieb durchgeführt wird, geht es um die dezentrale Futtermittelerzeugung in Betrieben mit Aquakultur durch Insektenzucht. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Verbesserung der Nachhaltigkeit durch Verzicht auf Soja und Fischmehl und durch die Verwertung von organischen Reststoffen für die Anzucht der Insekten. Untersucht werden verschiedene Futtermischungen, die Reststoffe enthalten, zur Fütterung von Insekten, die Eignung der Insekten als Futtermittel für die Fische sowie die Bedürfnisse der Landwirte, die ihre Fischzucht mit einer Insektenzucht koppeln wollen. Weitere Informationen unter [www.stmelf.bayern.de/forschung\\_innovation/256944/index.php](http://www.stmelf.bayern.de/forschung_innovation/256944/index.php) (Zugriff am 14.10.2021).

### **Projekt „Competitive Insect Products“**

Das vom DBFZ und der Hermetia Baruth GmbH durchgeführte Projekt „Competitive Insect Products (cip)“ wird vom BMBF gefördert und lief von 2017 bis 2020. Untersucht wurden auf der Basis der Schwarzen Soldatenfliege zum einen der Aspekt der nachhaltigen Anzucht mittels Reststoffen und zum anderen die Verwertungsschiene, welche neben Tierfutter



insbesondere auf technische Anwendungen abzielt. Nähere Informationen unter [www.dbfz.de/competitive-insect-products-cip](http://www.dbfz.de/competitive-insect-products-cip) (Zugriff am 14.10.2021).

### **Firma madebymade GmbH**

Das junge Unternehmen madebymade GmbH aus Leipzig entwickelt und vertreibt Insektenzuchtanlagen für die Schwarze Soldatenfliege. Das Konzept basiert auf der Einteilung der Zucht in Modulen (Containereinheiten), welches eine dezentrale Zucht ermöglichen soll, um anfallende Biomasse direkt dort wo sie anfällt, nutzen zu können. Madebymade produziert aber auch selbst Soldatenfliegen und verarbeitet dieses weiter zu entfettetem Proteinmehl und Larvenfett (Kraus 2020). Weitere Informationen unter [www.madebymade.eu](http://www.madebymade.eu) (Zugriff am 14.10.2021).

### **Firma Farminsect GmbH**

Die im bayerischen Bergkirchen angesiedelte junge Firma möchte Landwirten ein Insektenzuchtsystem anbieten, mit dem Reststoffe dezentral für die Fütterung von Insekten, die dann als Futter für Fische, Hühner und Schweine dienen, genutzt werden können. Die Vermehrung soll bei Farminsect durchgeführt werden und die Larven dann zur Mast an die Landwirte abgegeben werden. Nähere Informationen unter [www.farminsect.eu](http://www.farminsect.eu) (Zugriff am 14.10.2021).



## Literatur

- Agra Europe (2021): Weichen für Nutzung von Nebenprodukten der Insektenzucht gestellt. [www.topagrar.com/acker/news/weichen-fuer-nutzung-von-nebenprodukten-der-insektenzucht-gestellt-12581391.html](http://www.topagrar.com/acker/news/weichen-fuer-nutzung-von-nebenprodukten-der-insektenzucht-gestellt-12581391.html), Zugriff am 22.07.2021
- Alexander, P.; Brown, C.; Arneth, A.; Finnigan, J.; Rounsevell, M. D.A. (2016): Human appropriation of land for food: the role of diet. *Global Environmental Change* 41, pp. 88–98
- Biefang, H. (2020): Start-up: Insekten als Futter für Nutztiere. *Landfreund – Das Schweizer Agrarmagazin*, [www.landfreund.ch/tierhaltung/start-up-insekten-als-futter-fuer-nutztiere-12360054.html](http://www.landfreund.ch/tierhaltung/start-up-insekten-als-futter-fuer-nutztiere-12360054.html), Zugriff am 18.05.2020
- BMBF (2020): Bioökonomie: Insekten als Rohstoffe und Futterquelle. Bundesministerium für Bildung und Forschung, [www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/kurzmeldungen/de/insekten-als-rohstoffe-und-futterquelle.html](http://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/kurzmeldungen/de/insekten-als-rohstoffe-und-futterquelle.html), Zugriff am 23.04.2021
- Brinkmann, J. (2021): Tier- und Insektenmehl: Brüssel plant Aufhebung von Fütterungsverbot. Artikel in f3, Landwirtschaftsverlag GmbH, <https://f3.de/farm/brussel-plant-aufhebung-von-fuetterungsverbot-1232.html>, Zugriff am 23.04.2021
- Bulak, P.; Proc, K.; Pawlowka, M.; Kasprzycka, A.; Berus, W.; Bieganski, A. (2020): Biogas generation from insects breeding post production wastes. *Journal of Cleaner Production* 244, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118777>
- Collavo, A.; Glew, R. H.; Huang, Y.-S.; Chuang, L.-T.; Bosse, R.; Paoletti, M. G. (2005): House Cricket Small-scale Farming. In: *Ecological Implications of Minilicestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails*, (Ed.) Paoletti, M. G., New Hampshire, Science Publishers, pp. 519–544
- Cortes Ortiz, J.A.; Ruiz, A.T.; Morales-Ramos, J.A.; Thomas, M.; Rojas, M.G.; Tomberlin, J.K.; Yi, L.; Han, R.; Giroud, L.; Jullien, R.L. (2016): Insect Mass Production Technologies. In: *Insects as Sustainable Food Ingredients*, (Eds.) Dossey, A.T.; Morales-Ramos, J.A.; Rojas, M.G., San Diego, Academic Press, pp. 153–201
- Dossey, A. T.; Tatum, J. T.; McGill, W. L. (2016): Modern Insect-Based Food Industry: Current Status, Insect Processing Technology, and Recommendations Moving Forward. In: *Insects as Sustainable Food Ingredients*, (Eds.) Dossey, A.T.; Morales-Ramos, J.A.; Rojas, M.G., San Diego, Academic Press, pp. 113–152
- Deutscher Verband Tierernährung e. V. (2020): Tierische Proteine in der Fütterung von Nutztieren. [https://www.dvtiernahrung.de/fileadmin/Archiv/Dokumente/Themen\\_Positionen/2020\\_12\\_04\\_DVT-Position\\_Tierische\\_Proteine.pdf](https://www.dvtiernahrung.de/fileadmin/Archiv/Dokumente/Themen_Positionen/2020_12_04_DVT-Position_Tierische_Proteine.pdf), Zugriff am 26.05.2021
- DFG (2013): Sicherheitsaspekte bei der Herstellung von Lebensmitteln und Lebensmittelinhaltsstoffen aus Insekten. Senatskommission zur gesundheitlichen



Bewertung von Lebensmitteln, [https://www.dfg.de/download/pdf/dfg\\_im\\_profil/reden\\_stellungnahmen/2016/160222\\_stellungnahme\\_sklm.pdf](https://www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/reden_stellungnahmen/2016/160222_stellungnahme_sklm.pdf), Zugriff am 26.05.2021

FAO (2010): Forest insects as food: humans bite back. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development. 19–21 February 2008, Chiang Mai (Thailand). (Eds.) Durst, P. B.; Johnson, D. V.; Leslie, R. N.; Shono, K. - Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok (Thailand)

Fernandez, J. G.; Ingber, E. D. (2013): Bioinspired Chitinous Material Solutions for Environmental Sustainability and Medicine. *Advanced Functional Materials* 23, pp. 4454–4466

Foodinsects (2019): Bedeutung von Insekten für Mensch und Ökosystem. Artikel in Foodinsects, Hg. Anita Drulea, <https://foodinsects.de/blog/wissen/bedeutung-insekten-fuer-mensch-und-oekosystem>, Zugriff am 26.05.2021

Katz, H. (2021): Hermetia Baruth GmbH, persönliche Mitteilung

Krause, U. (2020): Akteure, wirtschaftliche Chancen und Hemmnisse einer Insektenbasierten Wertschöpfung organischer Biomasseströme in Sachsen. Bericht zur Vorstudie, Hg. PD Dr. Udo Krause; Förderungsprogramm von Maßnahmen zur Erhöhung der technologischen Leistungsfähigkeit der sächsischen Wirtschaft (Förderkennzeichen: 100380433)

KTBL (2021): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Potenziale, Erträge, Einflussfaktoren. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.

Naturland (2020): Richtlinien ökologische Insektenzucht (Stand 06/2021), Hg. Naturland, [https://www.naturland.de/images/Naturland/Richtlinien/Naturland-Richtlinien\\_Insektenzucht.pdf](https://www.naturland.de/images/Naturland/Richtlinien/Naturland-Richtlinien_Insektenzucht.pdf), Zugriff am 06.05.2021

Oonincx, D. G. A. B.; de Boer, I. J. M. (2012): Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – Life Cycle Assessment. *PLoS One*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>

Oonincx, D. G. A. B.; Itterbeeck, v. J.; Heetkamp, M. J. W.; van den Brand, H.; van Loon, J. J. A.; van Huis, A. (2010): An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. *Plos One*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445>

Piepenbrock, E. (2019): Weltgrößte Insektenfarm in Holland eröffnet. Artikel in f3, Hg. Landwirtschaftsverlag GmbH, <https://f3.de/farm/weltgrosste-insektenfarm-holland-eroffnet-385.html>, Zugriff am 25.05.2021



- Piepenbrock, E. (2020): Ein Stall für Insekten. Artikel in f3, Hg. Landwirtschaftsverlag GmbH, <https://f3.de/farm/ein-stall-fur-insekten-614.html>, Zugriff am 22.06.2021
- Piepenbrock, E (2020a): Scheunengespräch: Insektenzucht bei Landwirten? Artikel in f3, Hg. Landwirtschaftsverlag GmbH, <https://f3.de/farm/scheunengesprach-insektenzucht-bei-landwirten-742.html>, Zugriff am 22.06.2021
- Rumpold, B. A. und Schlüter, O. K. (2013): Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research* 2013, 00, 1-22. DOI 10.1002/mnfr.201200735
- Sprangers, T.; Ottoboni, M.; Klltwijk, C.; Ovynd, A.; Deboosere, S.; De Meulenaer, B.; Michiels, J.; Eeckhout, M.; De Clercq, P.; De Smet, S. (2017): Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of Food Agriculture* 97(8), 2594-2600, doi: 10.1002/jsfa.8081
- Veldkamp, T., van Duinkerken, G., van Huis, A., Lakemond, C.M.M., Ottevanger, E., Bosch, G., van Boekel, M.A.J.S. (2012): Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets – a feasibility study. Wageningen UR Livestock Research, Report 638
- Verbraucherzentrale (2021): Gelber Mehlwurm als Lebensmittel zugelassen. <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/lebensmittel/gesund-ernaehren/gelber-mehlwurm-als-lebensmittel-zugelassen-60446>, Zugriff am 28.06.2021
- Verordnung (EU) 2015/2283 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2015 über neuartige Lebensmittel, zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Verordnung (EG) Nr. 1852/2001 der Kommission. Amtsblatt der Europäischen Kommission vom 11.12.2015; L 327/1
- Wang, Y.-S.; Shelommi, M. (2017): Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods* 6(10), 91, DOI: 10.3390/foods6100091
- Wikipedia (2021): Insekten. Wikipedia-Eintrag, <https://de.wikipedia.org>, Zugriff am 08.06.2021
- Wedwidschka, H. (2020): Kleine Tiere, großes Potenzial – Insektenbiomasse als zukünftige Quelle für hochwertige Proteine und Fette für Futtermittel und Industrieanwendungen. DBFZ-Tagung am 16. September 2020 in Leipzig
- ZDL (2019): Positivliste für Einzelfuttermittel. Zentralkommission der Deutschen Landwirtschaft, Normenkommission für Einzelfuttermittel, Berlin, <http://www.landwirtschaftskammern.de/pdf/futtermittel-positivliste.pdf>, Zugriff am 06.05.2021

