

Serie Alternative Proteinquellen für Tierfutter

Insekten als alternative Proteinquelle zu importierten Eiweissträgern

Annelies Bracher

Agroscope, 1740 Posieux, Schweiz

Auskünfte: Annelies Bracher, E-Mail: annelies.bracher@agroscope.admin.ch



Saprophage Larven der schwarzen Soldatenfliege sind vielseitige Abfallverwerter mit grossem Potenzial als alternative Proteinquelle im Tierfutter. (Quellen: feedipedia.com; Enterrafeed.com)

Einleitung

Die Proteinversorgung des schweizerischen Nutztierbestandes wird zu rund einem Viertel aus importierten Proteinquellen gedeckt (Bracher 2019a). Während beim Rindvieh 86,5 % des Eiweissbedarfs aus dem inländischen Futter- und Ackerbau stammen, beträgt dieser Anteil bei Schweinen und Geflügel nur 34,5 % respektive 13,8 %. Die Schweine- und Geflügelproduktion ist folglich auf den Import von hochwertigem Eiweiss angewiesen. Die hohe Importabhängigkeit und die teilweise problematische Herkunft der Proteinträger, beschränkte inländische Ackerflächen und das Ziel einer ressourcenschonenden Primärproduktion begründen die Dringlichkeit der Suche nach alternativen Proteinquellen. In den beiden vorangehenden Beiträgen der Artikelserie alternative Proteinquellen für Tierfutter (Bracher 2019a, 2019b) konnte aufgezeigt werden, dass mit Körnerleguminosen und

Nebenprodukten von Ölsaaten bereits ein wertvoller Beitrag zur Futterautonomie geleistet wird beziehungsweise noch vermehrt geleistet werden könnte. Aufgrund der allerdings beschränkt möglichen Anbauausdehnung (Gründe: Fruchtfolge, Ölabsatz, bescheidener Proteinertrag pro ha, limitierte Ackerfläche, Konkurrenz zur Getreidefläche) kann das Proteindefizit nicht substantiell vermindert werden. Unter diesem Blickwinkel bringen nur ackerlandunabhängig produzierte Proteinquellen einen zusätzlichen Nutzen. Diese Bedingung erfüllen insbesondere Insekten mit saprophager Ernährungsweise, d.h. Wachstum und Vermehrung auf totem, organischem Material. Die Verwertung von organischen Abfällen aller Art inklusive tierischen Exkrementen durch Insekten transformiert minderwertige Substrate in hochwertige Rohkomponenten für die Futter- und Lebensmittelindus-

trie. Für die prognostizierten Engpässe in der Fleisch- und Proteinversorgung der wachsenden Weltbevölkerung sind innovative Lösungsansätze gefragt. Das Rezyklieren und Aufwerten von Nährstoffen aus Abfällen generiert Insektenproteine als Alternative zu Soja und Fischmehl, ohne dabei die Produktion von Ackerkulturen zu konkurrenzieren. Dies fördert ressourcenschonende landwirtschaftliche Produktionssysteme sowohl lokal wie global. Gemäss einer Studie der FAO (2011) geht ein Drittel der Lebensmittelproduktion von der Ernte bis zum Konsum verloren. Besonders hoch sind die Verluste (bis 50 %) bei Gemüse und Früchten. Insekten können dazu beitragen, weg von der Abfallentsorgung hin zur Abfallverwertung zu kommen.

Insekten sind eine traditionelle Nahrungsquelle in vielen subtropischen und tropischen Ländern (Asien, Afrika, Lateinamerika, Ozeanien), wo weltweit rund 2000 verschiedene, essbare Arten, die meist gesammelt aber auch im Kleinmassstab produziert werden, den Speiseplan ergänzen (van Huis *et al.* 2013; Akhtar und Isman, 2018). In Europa und den westlichen Kulturen fehlt diese Esstradition. Bei den Nutztieren gehören Insekten zum natürlichen Verzehrverhalten von Fischen, Reptilien, Vögeln, Geflügel und teilweise von Schweinen und bieten sich als alternative Proteinquelle an. Davon ausgeschlossen sind allerdings Wiederkäuer. In der EU unterliegen Insekten einer strengen Gesetzgebung, da sie als Nutztiere respektive tierisches Protein eingestuft werden. In der Schweiz ist seit 2018 verarbeitetes Insektenprotein von sieben Insektenarten für Fischfutter zugelassen, wobei tierische Exkremente und fleischhaltige Lebensmittelabfälle als Nährsubstrate ausgeschlossen sind. Dies schränkt zum gegenwärtigen Zeitpunkt das Potenzial der Abfallverwertung massiv ein. Die Ausweitung des Einsatzes von Insektenprotein für Schweine- und Geflügelfutter und der erlaubten Nährsubstrate ist erklärtes Ziel der IPIFF (*International Platform of Insects for Food and Feed*, 2019). Damit verbundene Potenziale und Risiken werden im Folgenden diskutiert.

Material und Methoden

Die Datengrundlage zur Erstellung der Nährstoffprofile stammt ausschliesslich aus publizierten Artikeln im Zeitbereich von 1997 bis 2019. Wo immer möglich wurde von Übersichtsartikeln auf die zitierten Originalarbeiten zurückgegriffen. Die Nährstoffgehalte sind auf die Trockensubstanz (TS) bezogen und bei Bedarf von der Frischsubstanz ausgehend umgerechnet. Die Aminosäurenprofile sind aus Gründen der Vergleichbarkeit auf g/100g Rohprotein (RP) umgerechnet worden, wobei

Zusammenfassung

Saprophage Insekten verwerten organisches Material aus Abfällen und generieren dabei protein- und fettreiche Insektenbiomasse ohne dabei Ackerland zu konkurrenzieren. Seit 2017 sind sieben Insektenarten in der EU vorerst für Fischfutter zugelassen. Die vielversprechendsten Arten sind: schwarze Soldatenfliege (SF; *Hermetia illucens*), Hausfliege (HF; *Musca domestica*), Mehlwurm (MW; *Tenebrio molitor*), und Hausgrille (HG; *Acheta domestica*). Die Larven und Nymphen sind die nährstoffreichsten Stadien mit Rohprotein (RP)-Gehalten von 400g/kg TS bei SF bis 665g/kg TS bei HG. Die Fettgehalte streuen beträchtlich und erreichen im Fall der Larven von SF und MW im Mittel 300g/kg TS. Handelsprodukte von Insektenlarven werden häufig als entfettete Mehle mit einem RP-Gehalt von rund 620g/kg TS vermarktet. Die Proteinqualität variiert mit der Insektenart und der Futtergrundlage. Im Vergleich zum Sojaprotein enthalten Insektenproteine systematisch tiefere Anteile an Cystin, Phenylalanin und Arginin. Mit 6,5g Lys/100g RP übersteigt Protein der HF das Sojaprofil, während SF, MW und HG knapp unter 6g Lys/100g RP liegen. Die Aminosäurenverdaulichkeit liegt bei Ferkeln und Broilern meist über 80. Die Fettsäurenprofile von Insektenfetten sind speziesabhängig und über die Futtergrundlage modulierbar. Fett der SF weist einen hohen Sättigungsgrad auf. Verantwortlich dafür ist der hohe Anteil an Laurinsäure (C12:0) von über 40 %. Daraus leitet sich für Mastschweine ein günstig tiefer PUI-Index ab. Das Fett des MW ist reich an Ölsäure (C18:1), während HG-Fett durch hohe Anteile an C16:1 auffällt. Über die Produktion von antimikrobiellen Peptiden (AMP) verfügen Insekten über einen effizienten Abwehrmechanismus für Milieus mit hoher Keimbelastung. Insekten gelten als Reservoir für künftige Antibiotika. Für die Abfallverwertung ist besonders die Soldatenfliegenlarve geeignet. Deren Protein stellt eine ökologische Alternative zu Soja und Fischmehl dar und vermindert die Importabhängigkeit. Das abgepresste Fett eignet sich für die Biodieselproduktion. Wissenslücken zum Einsatz von Insektenprotein in der Schweinefütterung zeigen Forschungsbedarf auf.

der RP-Gehalt aus $N \times 6,25$ abgeleitet wurde. Es wurde bewusst das ganze Spektrum an möglichen Nährsubstraten für die Fütterung der Insekten berücksichtigt, um das volle Ausmass der Nährstoffvariabilität und die Einflussmöglichkeiten abschätzen zu können.

Die Beurteilung der Futterqualität der Insekten als Proteinträger beruht wie in den vorangehenden Artikeln auf dem idealen Anforderungsprofil, welches das Nährstoffprofil von Sojaprodukten als Referenz benutzt. Die Anforderungen an die Proteinqualität orientieren sich am Bedarf von anspruchsvollen Ferkeln (Bracher 2019a). Da es sich bei Insekten um neue Futtertypen handelt, stehen die bisher verfügbaren Nährstoffangaben inklusive Fettsäurenprofile im Fokus.

Resultate und Diskussion

Insektenarten mit Potenzial

Im von der EFSA erstellten Risikoprofil (2015) werden zwölf Insektenarten mit hohem Potenzial für die Verwendung in Europa als Lebensmittel oder Futter eingestuft. Dazu gehören Fliegenarten, Käfer (Mehlwürmer), Motten, Grillen und Heuschrecken. Seit 2017 sind sieben Arten (Tab. 1) vorerst für Fischfutter zugelassen bei

restriktiver Handhabung der erlaubten Nährsubstrate. Insekten durchlaufen während eines Generationszyklus mehrere Entwicklungsstadien (Metamorphose, Abb. 1), deren Länge von der Spezies, dem Nährsubstrat, der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur abhängen. Die nährstoffreichen Larven der Fliegen und Käfer sind das bevorzugte Erntestadium für die Weiterverarbeitung als Futtermittel und weiterer Produkte, während bei Grillen und Heuschrecken die Nymphen und adulten Tiere verwendet werden. Detaillierte Angaben zu Produktionsprozessen sind den Übersichtsarbeiten und Anleitungen von Makkar *et al.* (2014), van Huis und Tomberlin (2017), Dortmans *et al.* (2017) und Gold *et al.* (2018) zu entnehmen. Einige für die Produktion wichtige Aspekte sind im Folgenden herausgegriffen.

Die **schwarze Soldatenfliege** (*Hermetia illucens*) stammt aus tropischen und subtropischen Gebieten, kommt aber inzwischen auch in Südeuropa vor. Für die Eiablage und Larvenentwicklung wird eine Temperatur von rund 28 °C bevorzugt. Bei unter 20 °C wird die metabolische Aktivität stark eingeschränkt, die Entwicklungszeit verlängert sich auf über 200 Tage und die Eiablage kann ganz gestoppt werden (Shumo *et al.* 2019). In den gemässigten

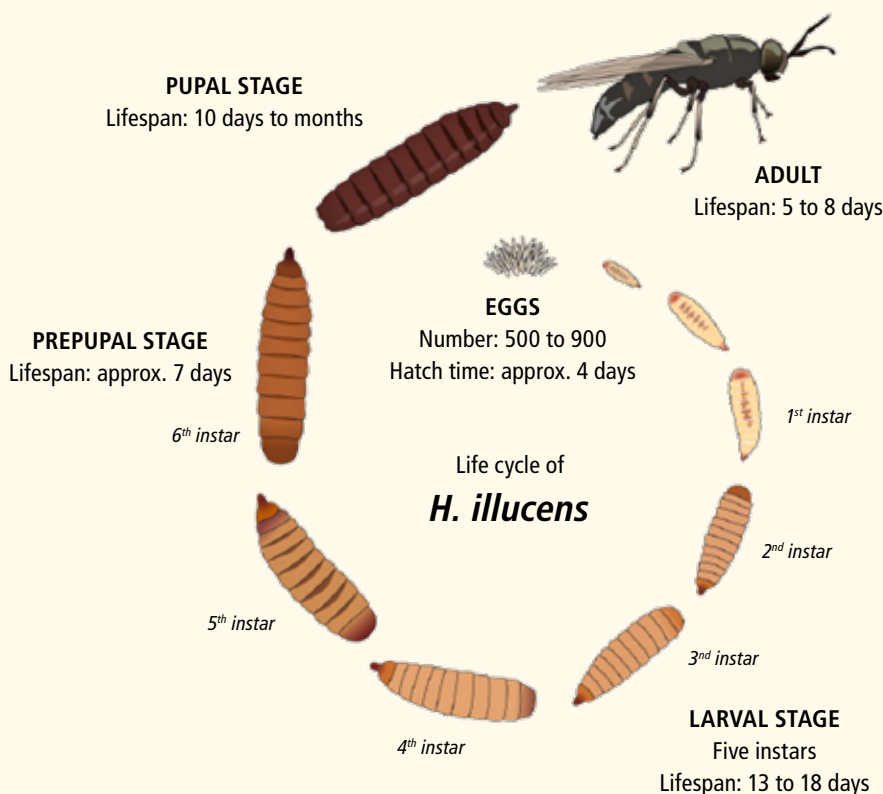


Abb. 1 | Metamorphose der schwarzen Soldatenfliege *Hermetia illucens* (De Smets *et al.* 2018).

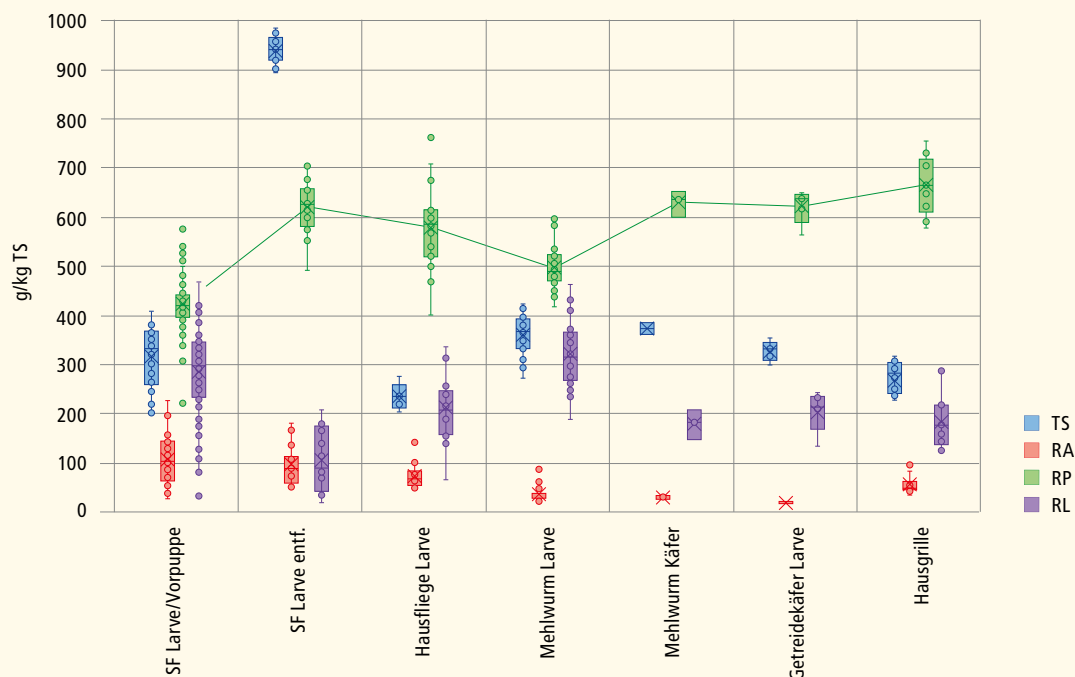


Abb. 2 | Rohnährstoffgehalte von Larven oder adulten Formen der Soldatenfliege (n = 100), Hausfliege (n = 19), Mehlwurm (n = 42), Getreidekäfer (n = 6) und der Hausgrille (n = 17) zusammengestellt aus Literaturliste (SF = Soldatenfliege; entf = entfettet; TS = Trockensubstanz; RA = Rohasche; RP = Rohprotein; RL = Rohfett).

Klimazonen ist eine effiziente Produktion auf eine Wärmequelle angewiesen. Die Fähigkeit der Larven auf einer breiten Palette an organischem Material (Abfällen) zu überleben, begründet das ihnen zugeschriebene grosse Potenzial als alternative Proteinquelle. Nährsubstrate sollten einen Wassergehalt von rund 70 % aufweisen. Dadurch sind die Larven auf keine zusätzliche Wasserzufuhr angewiesen. Der Generationszyklus beträgt bei genügender Futtergrundlage und Temperatur fünf bis sieben Wochen. Eine Besonderheit der Soldatenfliege besteht darin, dass die adulten Fliegen weder fressen noch stechen und sich inoffensiv verhalten. Sie leben von den während des Larvenstadiums angelegten Fettreserven und kommen daher als Krankheitsüberträger nicht in Frage. Eine weitere vorteilhafte Verhaltensweise beruht auf dem Trieb der Vorpuppen einen trockenen Platz zur Verpuppung aufzusuchen. Bei entsprechender Ausstattung der Behälter mit Rampen lassen sich die Insektenvorpuppen bei zudem leerem Darminhalt leicht einsammeln. Das Larvenstadium – die eigentliche «Mastphase» dauert je nach Substrat 15 bis 55 Tage, was sich unter ungünstigen Bedingungen auf bis vier Monate verlängern kann. Dabei fressen sie 25 bis 500 mg Frischsubstanz pro Larve und Tag. In dieser Phase sind

die Larven als Dauerfresser zu eindrucklichem Wachstum befähigt. In der Untersuchung von Tschirner und Simon (2015) haben Larven innerhalb von 15 Tagen ihr Initialgewicht um mehr als das Hundertfache erhöht.

Die **Hausfliege** (*Musca domestica*) ist ein kosmopolitischer und lästiger Begleiter von Menschen, Nutztieren und Abfällen. Sie kann Krankheiten übertragen, da adulte Fliegen überall fressen und die Eiablage direkt in verrottendes organisches Material erfolgt. Der Generationszyklus ist mit 1 bis 2 Wochen äusserst kurz. Der Schwerpunkt des Interesses an den Fliegenlarven liegt bei der Verwertung von Hühnermist und weiteren Abfällen.

Der **Mehlwurm** (*Tenebrio molitor*) ist in Europa heimisch und inzwischen als weltweiter Vorratsschädling bekannt. Da adulte Käfer nicht fliegen können, kann die Ausbreitung kontrolliert werden und das Schädlingspotenzial wird als moderat eingestuft. Sie sind leicht zu züchten und zu halten. Der Entwicklungszyklus ist variabel und dauert 280 bis 630 Tage. Larven entwickeln sich innerhalb von 3–4 Monaten zu Puppen. Die Temperaturansprüche sind mit 18–25 °C weniger hoch als

Tab 1 | Die vielversprechendsten, aktuell erst im Fischfutter zugelassenen Insekten (Larven, Nymphen)

Insektenart	Produktion	Nährsubstrate
Schwarze Soldatenfliege (<i>Hermetia illucens</i>) 	Erntestadium: Larven und Vorpuppen, 30–300 mg Larvenzyklus: 15–55 Tage Idealtemperatur: 25–31 °C. 	Omnivor; org. Abfälle aller Art, Exkremente Beispiele: tierische und menschliche Exkremente, Haushaltsabfälle, Klärschlamm, Schlachtabfälle, Früchte- und Gemüseabfälle, Müllereinebenprodukte, Trester, Fischabfälle, Zuckerrübenschnitzel, Algen, Melasse, Leinöl, Luzernemehl, Okara
Hausfliege (<i>Musca domestica</i>) 	Erntestadium: Larven Larvenzyklus: 5 Tage. Idealtemperatur: 25–30 °C 	Omnivor; org. Abfälle aller Art, Exkremente Beispiele: Hühner-, Schweine- und Kuhmist, verdorbene Früchte, Fischinnereien, Blut
Mehlwurm (<i>Tenebrio molitor</i>) 	Erntestadium: Larven, 130–160 mg Larvenzyklus: 3–5 Monate Idealtemperatur: 18–25 °C 	Omnivor; pflanzliches und tierisches organischen Material Beispiele: Kleie, Mehl, Brot- und Biscuitabfälle, Biertreber, Kartoffelschalen, Früchte und Gemüse, Früchteschalen, Bierhefe, Sojabohnenmehl, Schlempen, Melasse, Leinsaat
Getreideschimmelkäfer (<i>Alphitobus diaperinus</i>) 	Erntestadium: Larven Larvenzyklus: 1–3 Monate 	Omnivor; Beispiele: Mehl, Brot- und Biscuitabfälle, Biertreber, Kartoffelschalen, frische Früchte und Gemüse, Hefe, Schlempen, Hühnerfutter, Leinöl Flugfähiger Vorratsschädling
Hausgrille (<i>Acheta domestica</i>) 	Erntestadium: Nymphen und adulte Grillen, 190–390 mg Schlupf bis adult: 32–49 Tage Idealtemperatur: 26–32 °C Densovirus anfällig Traditionelles Lebensmittel	Omnivor; pflanzliches und tierisches organischen Material Beispiele: Hühnerfutter, Getreide-NP, Kartoffelschalen, Treber, Melasse, Biscuitabfälle, Bierhefe, Lebensmittelabfälle, Maissilage, Stroh, Früchte, Gemüsereste, Reis, Gras, Leinöl

bei der Soldatenfliege. Der omnivore Mehlwurm frisst pflanzliches und tierisches Material. Neben Getreidenenprodukten haben Abfälle aus der Lebensmittelindustrie Eingang in Versuchsrationen gefunden. Frische Früchte und Gemüse sorgen für eine Wasserzufuhr bei trockener Futtergrundlage.

Die **Hausgrille** (*Acheta domestica*) ist eine Vertreterin von Insekten mit unvollständiger Metamorphose. Aus den Eiern schlüpfen sogenannte Nymphen, die in ihrem Habitus den adulten Grillen sehr ähnlich sind. Einzig die Flügel entwickeln sich erst in der letzten Nymphenphase. Der optimale Erntezeitpunkt ist dann erreicht, wenn 85 % der Nymphen Flügel ausgebildet haben. Grillen sind zum Beispiel in Südostasien eine beliebte Speise und Delikatesse. Besonders in Thailand ist man auf kleinbetriebliche Grillenzucht mit einfachen Materialien umgestiegen. Adulte Tiere sind 190–390 mg schwer, was in 32 bis 49 Tagen erreicht wird. Bei optimalen Temperaturbedingungen von 26 bis 32 °C ist es möglich, jährlich sechs bis sieben Generationen zu produzieren.

Obwohl Grillen omnivor sind, wird in der Grillenzucht häufig Hühnerfutter eingesetzt. Mit Abfällen und Nebenprodukten der Lebensmittelindustrie wurden teilweise schlechte Ergebnisse mit tiefen Überlebensraten erzielt (Lundy und Parella, 2015; Ooninx *et al.* 2015b). Auch wenn mit Hühnerfutter sogar bessere Futterverwertungen als mit Broilern erreicht werden, bietet sich als Strategie eine Phasenfütterung an, um eine sinnvolle Abfallverwertung zumindest während der Endphase zu ermöglichen. Dies hat Dobermann *et al.* (2019) bei der Schwarzgrille (*Gryllus bimaculatus*) erfolgreich umsetzen können.

Insekten sind effizient falls...

Als Kaltblütler müssen Insekten keine Energie in die Aufrechterhaltung der Körpertemperatur stecken. Dies befähigt sie zu einer grundsätzlich guten Futterverwertung bis unter 2 kg Futter/kg Zuwachs. In der Praxis fallen die Resultate abhängig von der Futtergrundlage variabel aus (Ooninx *et al.* 2015; Lundy und Parella 2015; Tschirner und Simon, 2015; van Broekhoven *et al.* 2015; Meneguz



Abb. 3 | Profil der essentiellen Aminosäuren in Insektenprotein aus Literaturliste im Vergleich zu Sojaschrot/Kuchen. (SF = Soldatenfliege)

et al., 2018). Effizienzberechnungen und Definitionen werden unterschiedlich gehandhabt. Entomologen verwenden eher den Begriff ECI (= efficiency of ingested feed) berechnet als $(\text{kg Wachstum/kg Futter}) \cdot 100$, wobei für Futter die FS- oder TS-Basis eingesetzt wird. Die Frage ist, wie genau die Futteraufnahme erfasst werden kann. Oft wird vereinfacht vom Futterangebot ausgegangen. ECI-Werte von 3 bis 45 % wurden ermittelt. In der Abfallbewirtschaftung wird von der Biomasseverwertungseffizienz, berechnet als $(\text{Insektenertrag (TS) / Abfallangebot (TS)}) \cdot 100$, gesprochen. In Untersuchungen von Lalander et al. (2018) wurden Soldatenfliegenlarven (TS) auf diversen Abfällen mit einer Ausbeute von 0,2–15,2 % produziert. Protein wurde mit einer Effizienz von bis zu 80 % generiert.

Larven sind protein- und fettreich

Die Nährstoffkonzentrationen verändert sich im Verlaufe einer Metamorphose dynamisch, wie das Liu et al. (2017) am Beispiel der Soldatenfliege gezeigt hat. Die späten Larven- und die Vorpuppenstadien gehören zu den nährstoffreichsten Phasen, in denen sie sinnvollerweise geerntet werden. Neben dem Entwicklungsstadium hängt die Nährstoffzusammensetzung von der Insektenart ab mit beträchtlichen Streuungen innerhalb

Art (Abb. 2). Dabei variiert der Fettgehalt in grösserem Umfang als der Proteingehalt. Die meisten Angaben liegen für die Soldatenfliege vor. Selbst bei tiefem Proteingehalt unter 100 g/kg TS in den Nährsubstraten wird Protein in den Larven auf das für die Spezies übliche Niveau angereichert. Hingegen ist die Fettbildung abhängig vom Protein zu Kohlenhydrat Verhältnis im Nährsubstrat. Insbesondere die leicht verdaulichen Kohlenhydratquellen fördern die Fetteinlagerung (Barragan-Fonsecca et al. 2018a, b, 2019; Danieli et al. 2019). Im Mittel liegen die Proteingehalte über 400 g/kg TS. Spitzenreiter ist die Hausgrille, die mit einem Gehalt von rund 660 g RP/kg TS im Bereich von Fischmehl liegt. Die gleiche Grössenordnung erreichen auch andere Grillenarten. Die Höhe des Proteingehaltes von Insekten ermöglicht vielseitige Einsatzmöglichkeiten. Andere Proteinträger wie Sojaschrot und Fischmehl können bis zu einem gewissen Grade ersetzt werden. Gerade im proteinreichen Futter (RP > 40 %) von karnivoren Fischen lässt sich Fischmehl durch Insektenprotein weitgehend (Rumpold et al. 2018, Nogales-Merida et al. 2018) substituieren.

Die hohen Fettgehalte der Soldatenfliegen- und Mehlwurmlarven von rund 250–400 g/kg TS und der tiefe Trockensubstanzgehalt limitieren in dieser Höhe den Einsatz in Mischfutter. Zudem würde der Fettbedarf

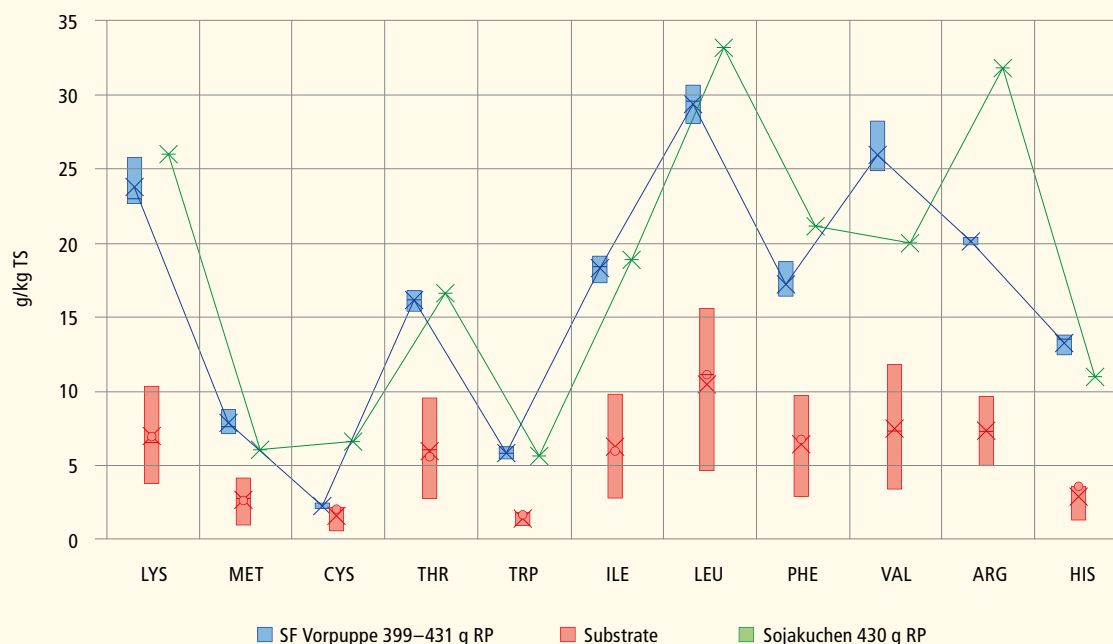


Abb. 4 | Absolute Aminosäuregehalte der Soldatenfliegen (Vorpuppen), die mit pflanzlichen Abfällen und Biogastrückstand gefüttert wurden, im Vergleich zu Sojakuchen (nach Spranghars *et al.* 2017).

der Monogastrier rasch überstiegen. Der Fettgehalt im Mischfutter liegt in der Regel unter 10 % liegt. Kommerzielle Handelsprodukte der Soldatenfliegenlarven werden deshalb in entfetteter und getrockneter Mehlförmigkeit vermarktet. Dadurch steigt der Proteingehalt im Mittel auf 620 g/kg TS an (Abb. 2). Bei mechanischer Entfettung pendelt der resultierende Fettgehalt zwischen 100–200 g/kg TS, was den Fettgehalten der Presskuchen der Ölsaaten entspricht. Fettgehalte unter 100 g/kg TS werden bei Extraktion mit Lösungsmittel erreicht. Produkte der Soldatenfliege weisen einen vergleichsweise hohen Aschegehalt auf.

Die klassische Rohrnährstoffanalytik stösst bei Insekten an gewisse Grenzen. Insekten enthalten keine Fasern, dafür eine Chitin haltige Aussenhülle (Aussenskelett). Bei Chitin handelt es sich um ein N-haltiges Polysaccharid (Acetyl-glucosamin) mit grosser Ähnlichkeit zu Zellulose. Chitin wird daher in der ADF-Fraktion miterfasst. Bei der Bestimmung des Gesamtstickstoffs und der üblichen Umrechnung in Protein mit dem Faktor 6,25 kommt es zu einer Überschätzung des Proteingehaltes. 100 g Chitin enthalten 6,897 g N. Gemäss den Untersuchungen von Caligiani *et al.* (2018) und Janssen *et al.* (2017) variiert bei Soldatenfliegenlarven und Mehlwürmern der Chitingehalt zwischen 4,4 und 9,1 % (in TS), was 3 bis 9,4 % des Gesamtstickstoffs ausmacht. Da der NPN-Anteil 11–26 % betragen kann, ist Chitin nicht der

einzig Grund einer Proteinüberschätzung. Die Autoren schlagen einen N-Konvertierungsfaktor bei Insektenprotein von 4,76 vor. Alternativ kann man den Chitingehalt anhand der ADF- und ADL-Konzentrationen abschätzen (Hahn *et al.* 2018) und somit den Proteingehalt korrigieren. Eine weitere Option besteht in der direkten Analyse der Aminosäuren. Monogastrier haben in erster Linie einen Bedarf an Aminosäuren und nicht an RP.

Proteinqualität

Eine erste Einschätzung der Proteinqualität ergibt sich aus den Profilwerten der essentiellen Aminosäuren, die alle auf der Basis $RP = N \times 6,25$ abgeleitet und im Vergleich zu Sojaprotein in Abbildung 3 dargestellt sind. Die Varianz der einzelnen Aminosäuren ist in Insektenprotein grundsätzlich höher als in Sojaprotein. Analytische Unterschiede sind eine Ursache. Als weitere Gründe kommen die variablen Nährsubstrate mit teilweiser minderwertiger Proteinqualität in Frage. Im Vergleich zum Sojaprofil weist Insektenprotein im Mittel tiefere Anteile an Cystin (S-haltige Aminosäure), Phenylalanin und Arginin auf. Der relative Anteil an Tyrosin und Valin (ausser Hausfliege) ist hingegen höher als im Sojaprotein. Die weiteren Aminosäuregehalte variieren in Abhängigkeit der Insektenart. Mit 6,5 g Lysin/100 g RP übersteigt die Hausfliege das Sojaprofil, während Soldatenfliege, Mehlwurm und Hausgrille im Mittel knapp

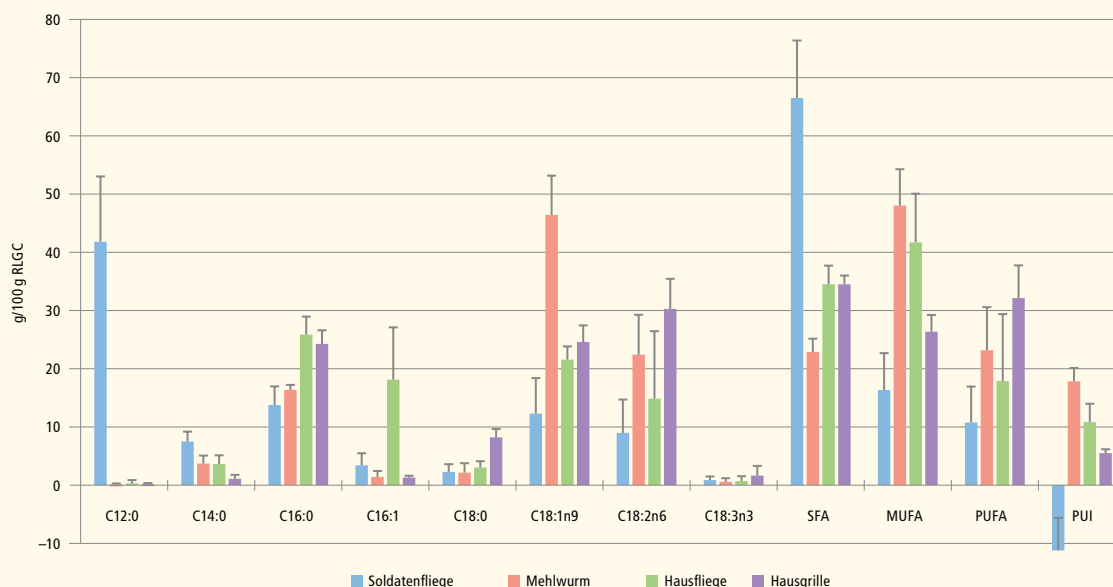


Abb. 5 | Fettsäurezusammensetzung und Fettindex von Insektenfett (Larven, Vorpuppen, Nymphen) zusammengestellt aus Literaturliste (Mittelwerte und sd; SFA=gesättigte Fettsäuren, MUFA= Monoensäuren, PUFA= Polyensäuren; $PUI = -0,3 \cdot SFA + 0,457 \cdot MUFA + 0,119 \cdot PUFA$).

unter 6 g Lys/100 RP liegen, was als Idealanforderung definiert wurde (Bracher 2019a). Die Gehalte an Threonin, Isoleucin und Histidin liegen meist im Bereich von Soja. Das Protein der Hausfliege fällt durch vergleichsweise tiefe Isoleucin-, Leucin- und Valinanteile auf. Insgesamt wird im Fall von Cystin die Idealanforderung nicht erreicht. Der relative Gehalt an Tryptophan ist beim Mehlwurm und der Hausgrille mit Werten unter 1 g/100 g RP auf tiefem Niveau.

Unter dem Gesichtspunkt der Abfallverwertung hat die Arbeit von Sprangers *et al.* (2017) belegen können, dass die Soldatenfliegenlarven in der Lage sind, minderwertige Substrate in quantitativ und qualitativ hochwertiges Insektenprotein umzuwandeln (Abb. 4). Dabei werden weitgehend die gleichen Aminosäuremengen wie in Sojakuchen bei vergleichbarem Proteingehalt erreicht. Einzig die Cystingehalte werden nicht angereichert. Diese Fähigkeit zur Aufwertung ist ein ganz starkes Argument für Insektenprotein.

Neben Menge und Profil der Aminosäuren hängt die Proteinqualität von deren Verdaulichkeit ab. In Broilern wurde mit entfetteten Soldatenfliegenlarven eine mittlere Verdaulichkeit der essenziellen Aminosäuren von 77,6–79,2 %, mit Hausfliegenlarven 84,3 bis 95 % und mit Mehlwurmlarven 84 % gemessen (DeMarco *et al.* 2015, Hall *et al.* 2018, Pretorius 2011, Schiavone *et al.* 2017b). In der Übersichtsarbeit über Insektenprotein in

der Fischfütterung (Nogales-Merida *et al.* 2018) variieren die Angaben zur Verdaulichkeit des RPs meist zwischen 80 bis 95 %. Aminosäuren der Soldatenfliegenlarven wurden bei Ferkeln zu 84,96 % nach mechanischer und zu 73,13 % nach Entfettung mit Lösungsmittel verdaut (Kortelainen *et al.* 2014). Eine Verdaulichkeit von über 80 % ist als gut zu werten. Bei Mastschweinen haben 10 % Mehlwurmlarven in der Ration die Nährstoffverdaulichkeit im Vergleich zu Fisch- oder Fleischmehl verbessert (Yoo *et al.* 2019). Der Einfluss von Verarbeitungsprozessen wie Entfettung und Wärmebehandlung ist mit weiteren Verdauungsversuchen zu untermauern. Die Datenlage für die Einschätzung der Proteinqualität in der Schweinefütterung ist insgesamt noch lückenhaft. Da der Bedarf an verdaulichen Aminosäuren in der Schweiz energiebezogen angegeben wird, braucht es eine verlässliche Energiebewertung von Insektenprotein. Diese Angaben fehlen noch.

Fettqualität

Wie in Abbildung 2 dargestellt, sind Insektenlarven fettreich, wobei deren Fettgehalt stark variieren kann. Selbst entfettete Produkte werden in der Gesamtration von monogastrischen Tieren die Fettqualität namhaft beeinflussen. Die Fettsäurenprofile von Insektenfett sind speziesabhängig (Abb. 5) und weisen eine gewisse Plastizität gegenüber der in den Nährsubstraten vorhan-

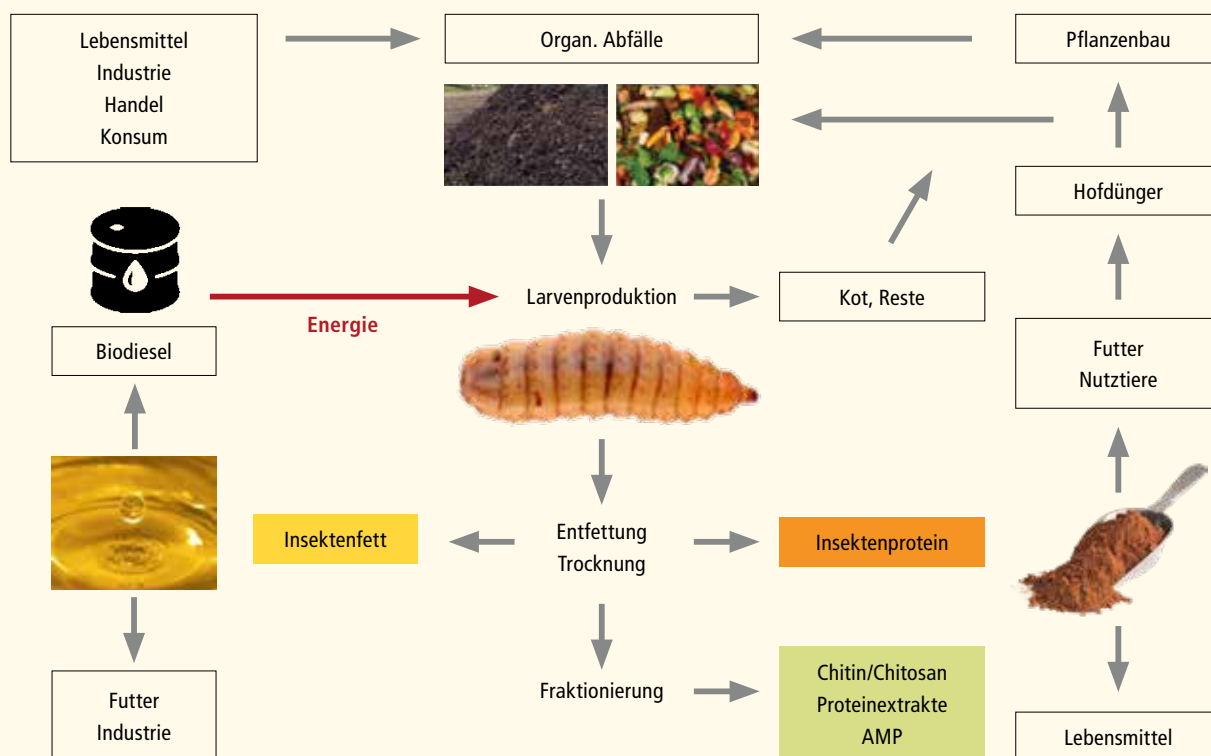


Abb. 6 | Rezyklingschema einer nachhaltigen Produktion von Insektenprotein, Insektenfett und weiterer Produkte am Beispiel der Soldatenfliege. (AMP=antimikrobielle Peptide).

denen Fettzusammensetzung auf, was aus den Standardabweichungen hervorgeht. Die Fettsäurenprofile sind in g/100 g RLGC (Summe der Fettsäuren mit Glyceridanteil) angegeben. Das Fett der Soldatenfliegenlarven weist mit einem Anteil von 66,5 % gesättigte Fettsäuren (SFA) einen hohen Sättigungsgrad auf, was hauptsächlich durch den sehr hohen Anteil an Laurinsäure (C12:0) von über 40 % zustande kommt. Darin unterscheidet sich das Fett der Soldatenfliegenlarven von den übrigen Insektenarten ganz deutlich. Es resultiert ein für Mast Schweinefutter sehr günstiger Fettindex (PUI-Wert) von –10. Allerdings ist die Laurinsäure auch für einen seifigen Geschmack im Fett der Monogastrier verantwortlich und kann damit die Qualität der Endprodukte (Fleisch- und Fettwaren, Eier) negativ beeinflussen. Tatsache ist, dass die Laurinsäure von Tieren rasch absorbiert und als Energiequelle effizient verwertet wird. Dies ist wohl der Hauptgrund für das Laurinsäure-reiche Fett der Soldatenfliege, die als adulte Fliege nicht frisst und nur von den Fettreserven zehrt. Der Ersatz von Sojaöl durch Fett der Soldatenfliege in Broilerfutter hat den Anteil an Laurinsäure von 0,09 % auf 8,5 % im Fett von Brustfleisch erhöht (Schiavone *et al.* 2017a). In diesem Versuch

wurde keine Degustation gemacht. Eine weitere und in diesem Fall erwünschte Eigenschaft besteht in der antimikrobiellen Wirkung der Laurinsäure (Sprangers *et al.* 2018), was deren Einsatz als Antibiotikaersatz bei z.B. Absetzferkeln interessant machen könnte. Die Fettsäurezusammensetzung der Soldatenfliegenlarven kommt zudem den Anforderungen der Biodieselproduktion sehr entgegen (Surendra *et al.* 2016). Über diesen Kanal lässt sich das aus der Entfettung von Larven anfallende Fett sinnvoll verwenden.

Das Fett des Mehlwurms wird von der Ölsäure (C18:1) dominiert, die einen Anteil von rund 45 % erreicht. Dies bewirkt den unerwünscht höchsten PUI-Index aller Insektenfette, was in Mast Schweinereaktionen den Einsatz limitiert. Der relativ hohe Anteil an Palmitoleinsäure (C16:1) charakterisiert die Fettzusammensetzung der Hausfliegenlarven. Hausgrillenfett unterscheidet sich von den übrigen Insekten durch den vergleichsweise hohen Linolsäureanteil (C18:2) von rund 30 %. Allen Insekten gemeinsam ist der sehr tiefe Anteil an Linolensäure (C18:3). Fettsäuren mit über 18 C-Atomen kommen nur in sehr kleinen Mengen vor. Mit Fischabfällen (St. Hilaire *et al.* 2007), Algenfütterung (Liland *et al.* 2017) und

Leinöl (Oonincx *et al.* 2019) wurde versucht, die Fettzusammensetzung von Insekten gezielt mit mehrfach ungesättigten n-3 Fettsäuren anzureichern. Bis zu einem gewissen Grad gelingt das auch. Insektenfett lässt sich dem Einsatzbereich entsprechend modulieren.

Bioaktive Verbindungen: antimikrobielle Peptide, Chitin

Die saprophagen Insekten überleben auf Substraten mit hoher Keimbelastung dank robuster und anpassungsfähiger Abwehrmechanismen. Die Larven haben mit der Produktion von antimikrobiellen Peptiden (AMP) die Fähigkeit entwickelt, mit einer variablen Belastung mit Bakterien, Viren und Pilzen umzugehen. Bei der Soldatenfliege wurden über 50 Gene identifiziert, die ein weites Spektrum an AMP-Klassen (Attacine, Cecropine, Defensine, Diptericine) codieren und die substratabhängig hochgefahren werden (Müller *et al.* 2017; Vogel *et al.* 2018). Die AMP bewirken unter anderem, dass *Salmonellen* und *E. coli* in Hühner- und Rindermist sowie menschlichen Fäkalien in Anwesenheit von Soldatenfliegenlarven unterdrückt werden. Einige AMP wirken selbst gegen antibiotikaresistente, pathogene Keime wie *S. aureus* (Park *et al.* 2015). Die weitere Isolierung und Charakterisierung von AMP eröffnet ganz neue Forschungsfelder und ein weites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten in der Abfallbewirtschaftung, Tierfütterung (Wang *et al.* 2016; Jozefiak und Engberg 2017) und Humanmedizin (Tonk und Vilcinskas 2017). Insekten gelten als Reservoir einer neuen Antibiotikageneration. Die Verfütterung von Insektenlarven zeigen bei Nutztieren gesundheitsfördernde Effekte, deren Wirkung durch Wärmebehandlung nicht verloren geht.

Chitin, Bestandteil des Aussenskelettes von Insekten, verfügt über bioaktive, d.h. probiotische und antimikrobielle Eigenschaften (Gasco *et al.* 2018). Mit Fraktionierungsverfahren kann Chitin angereichert und nach Acetylabbau in Chitosan umgewandelt werden (Caligiani *et al.* 2018). Chitosan seinerseits hat antimikrobielle und anti-inflammatorische Effekte und bindet Lipide sehr effizient (Müller *et al.* 2017) mit Einsatzmöglichkeiten in Medizin, Kosmetik und Textilindustrie.

Abfallverminderung – nachhaltige Abfallaufwertung

Für die Produktion von Insektenprotein unter Ausnutzung vorhandener organischer Abfälle aller Art ist die Soldatenfliegenlarve besonders geeignet (Gold *et al.* 2018; Lalander *et al.* 2019; Liu *et al.* 2019). Sie kann effizient mit variablen Substraten dank hoher Enzymaktivität und einer anpassungsfähigen Darmflora umgehen, trägt über die Produktion von AMP zur Hygienisierung von

mikrobiell belasteten Ausgangssubstraten bei (De Smet *et al.* 2018), vermindert die Abfallmenge und generiert dabei Protein, Fett und bioaktive Substanzen (Abb. 6). Die Nachhaltigkeit des Produktionssystems hängt von Optimierungen auf jeder Prozessstufe ab und der regelmässigen Verfügbarkeit von Substraten, was auch eine logistische Herausforderung sein dürfte.

In einer kürzlich erschienenen Arbeit konnte nachgewiesen werden, dass unter indonesischen Bedingungen die Abfallverwertung mit der Soldatenfliege gegenüber einer direkten Kompostierung den Treibhausgasausstoss mehr als halbiert und erst noch eine lokal verfügbare Proteinquelle erzeugt (Mertenat *et al.* 2019). Unter mitteleuropäischen Bedingungen wird zwar mehr Wärmeenergie für die Larvenaufzucht gebraucht, aber Insektenprotein wird, basierend auf Lebensmittelnebenprodukten als Insektenfutter, ökologischer produziert als Hühnerfleisch (Smetana *et al.* 2019). Mit Nebenprodukten wird pro kg Insektenprotein weniger Treibhausgas produziert als mit Hühnerfutter als Substrat (Bava *et al.* 2019). Bei der Produktion von Mehlwurmlarven kommen Grau *et al.* (2017) zu analogen Schlussfolgerungen.

Die Nachhaltigkeit der Produktion von Insektenprotein (und Fett) aus Abfällen ist erwiesen, es sind aber einige Risiken zu berücksichtigen. Einerseits ist die mikrobielle Sicherheit von Insektenprodukten zu gewährleisten. Eine Anleitung zur guten hygienischen Praxis hat die IPIFF (2019a) verfasst. Andererseits empfiehlt sich ein Monitoring der eingesetzten Substrate, um einer möglichen Akkumulation von Schwermetallen und toxischen Verbindungen vorzubeugen (Diener *et al.* 2015; van der Fels-Klerx *et al.* 2016; Purschke *et al.* 2017). Mykotoxine werden selbst bei hoher Kontamination der Substrate weder in Soldatenfliegen- noch Mehlwurmlarven angereichert (Purschke *et al.* 2017; Sanabria *et al.* 2019).

Die Auswirkungen auf Leistungsparameter bei Einsatz von Insektenprotein in Rationen von Fischen, Geflügel und Schweinen sind in kürzlich erschienenen Übersichtsarbeiten zusammengefasst (Gasco *et al.* 2019; Moula und Detilleux 2019). Insektenprotein in Rationsanteilen bis 30 % ist eine Alternative zu anderen Proteinquellen. Einsatzgrenzen ergeben sich bei Geflügel und Fischen durch Defizite von Insektenfett an n-3 Fettsäuren. Die Proteinqualität erfordert je nach Situation eine Ergänzung mit schwefelhaltigen Aminosäuren, Tryptophan und Threonin. Da die Datenlage zum Einsatz im Schweinfutter noch lückenhaft ist, ergibt sich Forschungsbedarf zu Futterbewertung, Leistung und Fleischqualität. Der Erfolg und das Potential von Insektenprotein als alternative Proteinquelle hängt nicht zuletzt von gesetzlichen Rahmenbedingungen und der Preisgestaltung ab.

Fazit – viele Argumente für Insekten

- Insekten gehören zum natürlichen Verzehrverhalten von Fischen, Reptilien, Vögeln und Geflügel und teilweise auch von Schweinen. Sie sind zudem eine traditionelle Nahrungsquelle in vielen (sub)tropischen Ländern.
- Insekten weisen hohe Wachstums- sowie Vermehrungsraten und kurze Reproduktionszyklen auf.
- Als Kaltblüter können sie eine gute Futterverwertung bei genügender Umgebungstemperatur und tiefer Umwelt-Fussabdruck erreichen.
- Die saprophage Ernährungsweise ermöglicht eine nachhaltige Verwertung von organischen Abfällen aller Art inklusive menschliche und tierische Exkremente. Durch die Umwandlung in Insektenbiomasse wird Eiweiss und Fett angereichert und dabei die Abfallmenge vermindert.
- Insektenlarven sind protein- und fettreich. Die Aminosäuren- und Fettsäurezusammensetzung variiert je nach Insektenart und Futtergrundlage.
- Insektenfett eignet sich als Ausgangssubstrat für die Biodieselproduktion.
- Insektenprotein ist eine Alternative zu Soja und Fischmehl im Futter von Monogastriern und Fischen. Die Importabhängigkeit betreffend Futterprotein wird dadurch vermindert.
- Insekten produzieren bioaktive Substanzen: Laurinsäure, Chitin, antimikrobielle Peptide.
- Insekten haben einen kleinen Flächenanspruch und geringen Wasserverbrauch. Ackerland wird nicht konkurrenziert.
- Insekten lassen sich im Klein- bis Industriemassstab weltweit produzieren. ■

Literatur

La bibliographie peut être obtenue auprès de l'auteur.

Riassunto

Insetti come fonte alternativa di proteine alle proteine importate

Gli insetti saprofagi utilizzano materiale organico proveniente da rifiuti e generano biomassa ricca di proteine e grassi. Rappresentano una fonte proteica ecologica, indipendente dalla terra coltivabile. Dal 2017, nell'UE sono state approvate 7 specie di insetti per l'alimentazione dei pesci. Le specie con i risultati più promettenti sono: «mosca soldato nera» (MS; *Hermetia illucens*), mosca domestica (MD; *Musca domestica*), tarma della farina (TF; *Tenebrio molitor*) e grillo domestico (GD; *Acheta domestica*). Le larve e le ninfe sono gli stadi più nutrienti con gradi di proteina grezza (PG) che vanno da 400 g/kg sostanza secca (SS) per la MS a 665 g/kg SS per il GD. Il tenore di grasso varia notevolmente e può raggiungere in media 300 g/kg SS nel caso di larve di MS e TF. I prodotti in commercio di larve di insetti sono spesso commercializzati come farine sgrassate con un contenuto di PG di circa 620 g/kg SS. La qualità delle proteine varia a seconda della specie di insetti e della base dell'alimentazione. Rispetto alle proteine della soia, quelle degli insetti contengono sistematicamente percentuali inferiori di cistina, fenilalanina e arginina. Con 6,5 g Lys/100 g PG, la proteina MD supera il profilo della soia, mentre MS, TF e GD si attestano a poco meno di 6 g Lys/100 g PG. La digeribilità degli aminoacidi nei suinetti e nei polli ruspanti è solitamente superiore all'80 %. I profili degli acidi grassi dei grassi di insetti dipendono dalla specie e possono essere modulati tramite la base di alimentazione. Il grasso MS è caratterizzato da un alto grado di saturazione. Ciò è dovuto all'elevato tenore di acido laurico (C12:0) superiore al 40 %. Ne risulta un basso indice di insaturazione favorevole per i suini da ingrasso. Il grasso del TF è ricco di acido oleico (C18:1), mentre il grasso GD si distingue per l'elevata proporzione di C16:1, che aumenta l'indice di insaturazione. La produzione di peptidi antimicrobici (PAM) fornisce agli insetti un efficiente meccanismo di difesa che garantisce la loro sopravvivenza in ambienti con elevate cariche germinali. Gli insetti sono considerati come un serbatoio per antibiotici futuri. Le larve della «mosca soldato nera» sono particolarmente adatte al riciclaggio dei rifiuti. Le sue proteine rappresentano un'alternativa ecologica alla farina di soia e di pesce e riducono la dipendenza dalle importazioni. Il grasso spremuto è adatto alla produzione di biodiesel. Le lacune nelle conoscenze sull'uso delle proteine degli insetti nell'alimentazione dei suini richiedono però ulteriori studi.

Summary

Insects as alternative protein sources for imported protein-rich feed.

Saprophage insects convert diverse biowaste streams into protein- and fat-rich insect biomass generated independently of arable land. Since 2017, 7 insect species have been approved for fish feed in the EU so far. The most promising species are: black soldier fly (SF; *Hermetia illucens*), house fly (HF; *Musca domestica*), mealworm (MW; *Tenebrio molitor*), and house cricket (HC; *Acheta domestica*). The larvae and nymphs are the most nutritious stages with crude protein (CP) contents ranging from 400 g/kg DM for SF to 665 g/kg DM for HC. The fat contents vary considerably and can reach on average 300 g/kg DM in the case of SF and MW larvae. Commercial products of insect larvae are often marketed as defatted meals with a CP content of around 620 g/kg DM. Protein quality varies with insect species and substrate. Compared to soy protein, insect proteins systematically contain lower proportions of cystine, phenylalanine and arginine. With 6.5 g Lys/100 g CP, protein from HF exceeds the soy profile, while SF, MW and HC are slightly below 6 g Lys/100 g CP. The amino acid digestibility of insect protein fed to piglets and broilers is usually over 80 %. The fatty acid profiles of insect fats are species-dependent and can be modulated via the feed basis. Fat from SF is characterized by a high degree of saturation mainly caused by the high content of lauric acid (C12:0) of more than 40 %. This results in a favorable low PUI index (fat quality index) for fattening pigs. The fat of MW is rich in oleic acid (C18:1), while HG fat stands out for its high percentage of C16:1. The production of antimicrobial peptides (AMP) provides insects with an efficient defense mechanism that guarantees their survival in environments with high germ loads. Insects are regarded as a reservoir for future antibiotics. Soldier fly larvae are particularly qualified for the recycling of biowaste. Their protein is a sustainable alternative to soya and fish meal and thus increases feed autonomy. In addition, the extracted fat can be converted to biodiesel. Knowledge gaps on the use of insect protein in pig feeding indicate a need for further research.

Key words: Insect protein, animal feed, nutrient profile, protein quality, fat quality.