

Insektenmehl im Geflügel- und Fischfutter

Potential und Grenzen der alternativen Proteinquelle





Das Faktenblatt gibt eine Übersicht zum möglichen Einsatz von Insektenmehl als Futtermittel für Geflügel und Fische. Dabei konzentriert es sich vor allem auf die schwarze Soldatenfliege *Hermetia illucens*. Neben den Ergebnissen aus Forschungsprojekten vom FiBL und der ETH, präsentiert es auch internationale Studienergebnisse. Diese zeigen gute ernährungsphysiologische Eigenschaften einiger Insektenmehle, sowohl für die Geflügel- als auch die Fischernährung. Die Eignung als Tierfutterkomponente hängt jedoch stark von der Produktion und Verarbeitung der Insektenlarven ab.

Für die Aquakultur sind Mehle bestimmter Insektenarten seit 2017 zugelassen, die Verfütterung an Geflügel und Schweine ist seit September 2021 in der EU erlaubt. In der Schweiz ist die Zulassung für Schweine und Geflügel noch ausstehend. Die momentane Gesetzeslage verbietet allerdings Insekten mit Lebensmittelabfällen zu gefüttern. Dies würde aber wesentlich zur Nachhaltigkeit dieser alternativen Proteinquelle in der Tierernährung beitragen.

Inhalt

Probleme und Lösungsansätze in der Nutztierernährung	3
Nährwerte von Insekten	5
Futter muss dem Nährstoffbedarf der Tiere angepasst sein	9
Produktion von Futtermitteln	10
Einsatz von Insekten in der Geflügelfütterung	11
Einsatz von Insekten in der Aquakultur	13
Nachhaltigkeit von Insektenmehl	18
Referenzen	19

Probleme und Lösungsansätze in der Nutztierernährung

Die Produktion von Futtermitteln trägt zur schlechten Ökobilanz tierischer Produkte bei

Die Tierproduktion an Land und im Wasser verursacht einen erheblichen Anteil des ökologischen Fussabdrucks der Landwirtschaft. Neben den Klimagas-Emissionen durch die Vormagenverdauung von Wiederkäuern, wirkt sich vor allem auch der Anbau von Futtermitteln auf die schlechte Ökobilanz aus. Diese setzt sich vor allem aus den Klimagas-Emissionen durch den Anbau, Stickstoffauswaschungen durch die Düngung und Landnutzungsänderungen sowie Waldrodung zur Schaffung neuer Anbauflächen zusammen (Schader et al., 2015).

Futtermittelimporte verschärfen die Problematik

Die Erzeugung tierischer Lebensmittel, wie Fleisch, Fisch, Eiern, Milch und Käse, in der Schweiz erfordert in den meisten Fällen Futtermittelimporte aus dem Ausland. Doch die Futtermittelproduktion verursacht dort, wie auch im Inland, Druck auf die Anbauflächen, was zur Intensivierung des Anbaus und zur Umnutzung ökologisch wertvoller Habitate und Kohlenstoffspeicher (Wald, Steppenland, Moore) führen kann. Überdüngung und Übersäuerung der Böden, sowie übermässiger Einsatz von Pflanzenschutzmitteln können die Ökobilanz importierter Futtermittel und den damit erzeugten tierischen Lebensmitteln verschlechtern (Boerema et al., 2016). Zudem verursacht der mit den Futtermitteln importierte Stickstoff einen deutlichen Nitratüberschuss mit negativen Folgen für Grundwasser und Oberflächengewässer.



In der Schweiz fällt der grösste Anteil an Lebensmittelabfällen in privaten Haushalten an.

Fischmehl wird zwar in der Tierernährung in einer deutlich geringeren Menge eingesetzt als etwa Soja, dies macht es aber nicht nachhaltiger. Mit wenigen Ausnahmen gilt der gezielte Fischfang für die Fischmehl-Herstellung als nicht nachhaltig, da ein Grossteil der gefangenen Fische auch direkt vom Menschen konsumiert werden könnte.

Lösungsansätze müssen gefunden werden

Eine Umstellung auf lokal produzierte, proteinreiche Futtermittel, die sich mit Reststoffen erzeugen lassen, wäre ein guter Weg, die negativen Auswirkungen der Futtermittelproduktion zu reduzieren.

Insekten als proteinreiches Futtermittel

Forschungsbeginn im letzten Jahrhundert

Der Einsatz von Insekten als Proteinquelle für Schweine und Fische wurde schon Ende der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts erforscht (Newton et al., 1977, Bondari und Sheppard 1981). Ausserdem wurden Insekten als möglicher Verwerter von Mist und Gülle erkannt, welche gleichzeitig tierisches Protein produzieren. Durch ihr Verfüttern an Nutztiere lassen sich offene Nährstoffkreisläufe schliessen (Sheppard et al., 1994). Aber Insekten können nicht nur tierische Exkremente nutzen, sie können auch andere organische Abfälle wie Lebensmittelabfälle verwerten.

Ein grosser Anteil der produzierten Lebensmittel landet im Abfall

Weltweit bleibt jedes Jahr rund $\frac{1}{3}$ aller produzierten Lebensmittel ungenutzt, weil sie entlang der Produktions- und Wertschöpfungskette verloren gehen oder weggeworfen werden. So entstehen weltweit jährlich ca. 1.3 Milliarden Tonnen Lebensmittelabfälle. Die geschätzten Nahrungsmittelabfälle und -verluste für Europa und Nordamerika betragen 280–300 kg pro Kopf und Jahr (FAO., 2011).

Das bestätigt auch eine andere Studie explizit für die Schweiz, denn hier summiert sich die Lebensmittelverschwendung über die gesamte Wertschöpfungskette im In- und Ausland pro Jahr auf ca. 2.8 Mio. t. oder auf 300 kg pro Einwohner (Beretta & Hellweg 2019).



Schwarze Soldatenfliege, *Hermetia illucens*, stammt ursprünglich aus den subtropischen und tropischen Breiten Amerikas.

Nutzbarer Lebensmittelabfall

Eine Möglichkeit Lebensmittelabfälle wiederzuverwerten ist sie an Insekten zu verfüttern. Die so produzierten Insekten stellen wiederum eine neue Proteinquelle für die Nutztierernährung dar.

Verschiedene Insektenarten haben sich dabei als vielversprechende Kandidaten herausgestellt. Nicht nur die Art der Insekten bestimmt ob sie sich als Futtermittel eignen, auch in welchem Lebensstadium sie «geerntet» und ob und wie sie weiterverarbeitet werden. Meist wird ein Larvenstadium genutzt.

Die am meisten erforschten Arten sind die Larven der schwarzen Waffen- oder Soldatenfliege *Hermetia illucens*, die Larven der Hausfliege *Musca domestica* und die Larven des Mehlwurms *Tenebrio molitor*. Aus Platzgründen fokussiert dieses Faktenblatt auf die schwarze Soldatenfliege (ab hier kurz BSF für «black soldier fly»).

Der Nutzen von BSF als Futtermittel

- BSF lässt sich mit einer grossen Vielfalt an organischen Abfallstoffen füttern.
- BSF ist eher genügsam was die Bedingungen in der Zucht und Mast angeht.

Der Einsatz von Insekten als Futtermittel ist gesetzlich geregelt

Viele Forschungsarbeiten zeigen das Potential der BSF, die Proteinversorgung von Fischen, Geflügel oder Schweinen zu gewährleisten. Doch nicht alle Nutztiere dürfen mit verarbeitetem Insektenprotein gefüttert werden. Der Einsatz von Insekten als Futtermittel unterliegt gesetzlichen Rahmenbedingungen in Form einer meist länderspezifischen Futtermittelverordnung. In dieser ist geregelt, wie Futtermittel zu produzieren oder in Verkehr zu bringen sind.

Die EU hat schon 2017 die Verfütterung von prozessierten Insektenproteinen und damit auch von Insektenmehlen für die Aquakultur zugelassen. Kurze Zeit später erfolgte die Zulassung auch in der Schweiz. Seit September 2021 sind Insektenmehle in der EU auch für die Verfütterung an Geflügel und Schweinen zugelassen. Dafür sind strenge Vorgaben einzuhalten. Unter Anderem dürfen keine sogenannten «post-consumer» Speiseabfälle, also solche, die in privaten Haushalten, Restaurants oder Hotels anfallen, verfüttert werden. In der Schweiz wird die Zulassung vermutlich sehr zeitnah folgen.

Abbildung 1: Voraussetzungen für den Einsatz von Insekten in der Nutztierernährung



Nährwerte von Insekten

Ebenso wie andere Tiere und Pflanzen bestehen Insekten aus vielen verschiedenen Molekülen, die in Bezug auf die Ernährung grob in Makro- und Mikronährstoffe einteilbar sind. Zu den Makronährstoffen zählen Protein (Eiweiss), Fett und Kohlenhydrate (Tabelle 1 auf Seite 6). Makronährstoffe werden so genannt, weil Tiere sie in grossen Mengen brauchen. Ihre Verdauung, also dem enzymatischen Aufschluss von Protein in seine Bestandteile, den Aminosäuren, von Fett in einzelne Fettsäuren und von Kohlenhydraten in kleinere Zuckermoleküle, setzt Energie frei. Energie ist kein Nährstoff an sich, wird aber dennoch von allen Lebewesen benötigt.

Proteine sind aus kleinen Bausteinen, den Aminosäuren, aufgebaut

Der tierische und menschliche Organismus kann essentielle Aminosäuren nicht selbst aufbauen. Deshalb müssen sie mit der Nahrung aufgenommen werden. Anders die nicht essentiellen Aminosäuren, die der Organismus selbst aufbauen kann (Tabelle 2 auf Seite 6). Ähnlich verhält es sich beim Fett, welches grossteils aus für das Tier essentiellen und nicht essentiellen Fettsäuren besteht (Tabelle 3 auf Seite 7).

Das Futtersubstrat der Insekten beeinflusst auch deren Nährwerte

Die chemische Zusammensetzung der verschiedenen Insekten ist entscheidend, ob sie für eine bestimmte Tierart ein gutes, weniger gutes oder schlechtes Futtermittel abgeben. Die Nährwerte von Insekten lassen sich bis zu einem gewissen Grad auch noch durch die Fütterung der Insekten beeinflussen.

Dies betrifft insbesondere die Fettsäuren. Der Anteil der mehrfach ungesättigten Fettsäure Eicosa-pentaensäure (EPA), eine der beiden gesundheitlich wichtigsten Ω -3 Fettsäuren, konnte durch die Fütterung der Insekten mit Fischabfällen deutlich gesteigert werden. Dies gelang für Docosahexaensäure (DHA), die zweite wichtige Ω -3 Fettsäure, dagegen nur begrenzt (Tabelle 3 auf Seite 7; St. Hilaire et al., 2007a).

Chitin ist schwer verdaulich

Weiterhin enthalten Insektenmehle Chitin, welches die Hauptkomponente des Exoskeletts der Insekten ist. Chitin ist ein komplexes und schwer verdauliches Kohlenhydrat. Allerdings besitzen viele Fischarten, zu deren natürlichem Nahrungs-

spektrum Insekten oder Zooplankton gehören, ein Enzym zur Spaltung von Chitin, die Chitinase. Dadurch können sie auch Chitin begrenzt verdauen. Geflügel als Allesfresser verfügt ebenfalls über eine hohe Chitinaseaktivität. Ein bekannter positiver Effekt von Chitin in der Nahrung von Geflügel und Fischen ist eine leichte, natürliche Stimulierung des Immunsystems.

Entfettung erhöht den Anteil an Nährstoffen

Je nach Produktionsweise und Grad der Entfettung können Insektenmehle der BSF zwischen rund 40 und 60 % Rohprotein enthalten. Da auch Chitin Stickstoff enthält, welches bei der Bestimmung des Rohproteins chemisch mitgemessen wird, wird der Rohproteingehalt in Insektenmehlen oft überschätzt. Der Rohfettgehalt im Mehl kann ähnlich stark schwanken und kann bei kohlenhydrathaltiger Ernährung der BSF durchaus über 40 % erreichen. Im Allgemeinen liegt er aber eher im Bereich von 11% bis etwas über 30 %. Besonders wichtig ist der Grad der Entfettung. Je stärker ein Insektenmehl entfettet ist, desto grösser ist der relative Anteil der anderen Makronährstoffe im entfetteten Mehl. Der Gehalt an Rohasche, die den Anteil an Mineralstoffen angibt, beträgt zwischen 4.3 % und fast 16 %.

Unterschiede zwischen den Insektenarten

Das Aminosäureprofil des Insektenmehls kann teils erheblich schwanken. Je nach Tierart, die mit dem Insektenmehl gefüttert werden soll, sind unterschiedliche Aminosäuren besonders wichtig.

Bei Mangelversorgung, besonders mit den essentiellen Aminosäuren, kann es zu teils schwerwiegenden Mangelerscheinungen kommen. Etwa bei Lachsen, die bei einer Unterversorgung mit der Aminosäure Histidin einen Katarakt, also eine Linsentrübung im Auge, ausbilden können. Bei Mastgeflügel scheint ein Mangel an verzweigt-kettigen Aminosäuren (Isoleucin, Leucin und Valin) wiederum den grössten Einfluss auf den Immunstatus zu haben. Ein stärkerer Mangel dieser Aminosäuren könnte somit den Ausbruch von Krankheiten fördern und deren Verlauf erschweren (Konashi et al., 2000). Vor allem aber führt der Mangel an essentiellen Aminosäuren bei allen Tierarten zu geringerem Wachstum und schlechterer Verwertung des Futterstickstoffs, was wiederum die Emissionen vergrössert.

Tabelle 1: Makronährstoffe in nicht- und teilentfetteten BSF-Mehlen

Studie	BSF-Mehl entfettet	Rohprotein ¹	Rohfett ¹	Rohasche ¹	Kohlenhydrate ¹	Chitin ¹	Energie ²
Maurer et al., 2015	○○	41.5	26.5	4.3	n.a.	n.a.	n.a.
	●○	59.0	11.0	5.0	n.a.	n.a.	n.a.
St. Hilaire et al., 2007b	○○	43.6	33.1	15.5	n.a.	n.a.	n.a.
Kroekel et al., 2012	●○	47.6	11.8	15.9	15.1	n.a.	21.1
Dumas et al., 2018	●○	47.1	20.3	12.7	n.a.	n.a.	n.a.
Heuel et al., 2021a und b ³	●○	46.0	13.3	13.7	n.a.	7.4	n.a.
Heuel et al., 2021a und b ⁴	●○	38.0	29.9	11.6	n.a.	7.0	n.a.

¹% TS; ²kJ/g; ³gute Qualität; ⁴mindere Qualität

○○ nicht entfettet ●○ teilweise entfettet ●● vollständig entfettet; n.a. = nicht analysiert

Tabelle 2: Aminosäuren im BSF-Mehl und Fischmehl

Studie	St. Hilair et al., 2007b	Kroekel et al., 2012	Dumas et al., 2018	Mwaniki et al., 2018	Belghit et al., 2019	FiBL/ETH gute Qualität	FiBL/ETH mindere Qualität	NRC ² , 2011
Substrat	BSF-Mehl							Fischmehl
Alanin¹	4.7	n.a.	n.a.	6.8	5.2	7.4	8.2	n.a.
Arginin¹	4.1	5.9	3.6	4.8	4.0	5.2	5.0	4.8
Asparagin¹	n.a.	n.a.	n.a.	9.1	7.7	10.1	9.7	n.a.
Cystein¹	n.a.	0.87	0.64	0.70	n.a.	0.79	0.75	2.05
Glutaminsäure¹	5.9	n.a.	n.a.	11.9	8.1	11.9	11.7	n.a.
Glycin¹	3.6	n.a.	n.a.	5.3	4.6	6.0	6.2	n.a.
Histidin¹	1.9	2.1	1.6	10.1	2.0	3.3	3.0	2.0
Hydroxyprolin¹	n.a.	n.a.	2.3	n.a.	0.0	n.a.	n.a.	n.a.
Isoleucin¹	3.2	4.0	2.9	4.2	3.3	4.9	5.0	4.7
Leucin¹	4.9	7.1	4.6	6.8	5.8	7.4	7.4	6.0
Lysin¹	4.10	7.2	4.3	5.7	5.0	6.1	5.8	9.3
Methionin¹	1.2	2.6	1.0	1.6	1.6	1.8	1.9	2.8
Phenylalanin¹	3.1	4.0	2.7	3.8	3.7	4.5	4.4	3.4
Prolin¹	3.7	n.a.	n.a.	6.0	4.5	6.1	6.8	n.a.
Serin¹	2.6	n.a.	n.a.	4.5	3.4	4.5	4.6	n.a.
Taurin¹	n.a.	n.a.	0.57	n.a.	0.0	n.a.	n.a.	n.a.
Threonin¹	2.8	4.1	2.6	4.0	3.4	4.3	4.4	3.2
Tryptophan¹	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1.7	1.7	0.9
Tyrosin¹	4.8	n.a.	n.a.	4.9	5.3	7.2	6.9	2.7
Valin¹	4.4	4.8	0.8	6.0	4.5	6.8	7.0	4.2

¹% des Rohproteins

²National Research Council, 2011

n.a. = nicht analysiert

	höher als im Fischmehl
	gleich wie im Fischmehl oder unbekannt
	niedriger als im Fischmehl

	essentielle Aminosäure für Geflügel und Fische
	nicht essentielle Aminosäure für Geflügel und Fische

BSF-Mehl: dem Fischmehl ähnliche Aminosäurezusammensetzung

Im Vergleich zum Aminosäureprofil von Fischmehl kann Insektenmehl teilweise ähnlich gut abschneiden (Tabelle 2 auf Seite 6). Allerdings gibt es grosse Unterschiede zwischen verschiedenen Insektenmehlen, die sich hauptsächlich aus der unterschiedlichen Fütterung der BSF ergeben.

Für eine grössere kommerzielle Insektenproduktion ist eine Standardisierung des Futtersubstrats und der Prozessbedingungen notwendig, um eine gleichbleibende Insektenmehl-Zusammensetzung zu gewährleisten. Dies wiederum steht im Konflikt mit der Verwertung von Abfällen, welche in vielen Fällen schwankende Nährstoffzusammensetzungen aufweisen. Die Lösung solcher Zielkonflikte erfordert noch viel Entwicklungsarbeit für die nachhaltige Produktion von Insektenprotein.

BSF-Öl: hoher Anteil mittelkettiger, gesättigter Fettsäuren

Bei den BSF-Fettsäureprofilen dominieren die Laurinsäure (C12:0), die aus einer 12 C-Atome langen Kette und die Palmitinsäure (C16:0), die aus einer 16 C-Atome langen Kette besteht. Beide sind sogenannte gesättigte Fettsäuren, das heisst sie besitzen keine Doppelbindungen. Die einfach ungesättigte Ölsäure (C18:1 n-9), eine Fettsäure aus 18 C-Atomen und einer Doppelbindung am 9. C-Atom, ist ebenfalls mit teils sehr grossem Anteil vertreten (siehe Tabelle 3). Mehrfach ungesättigte Fettsäuren kommen deutlich seltener vor und nur die Linolsäure (C18:2 n-9) liess sich in zwei Veröffentlichungen zu grossen Anteilen messen.

Die Zusammensetzung des Insektenfetts hängt in noch grösserem Mass von der Fütterung ab als dies bei den Aminosäuren der Fall ist.

Tabelle 3: Fettsäuren im BSF-Mehl als % des Rohfetts

Studie	St. Hilaire et al., 2007a	St. Hilaire et al., 2007a	St. Hilaire et al., 2007a	St. Hilaire et al., 2007a	Dumas et al., 2018	Heuel et al., 2021b	Heuel et al., 2021b
Substrat	BSF-Mehl	BSF-Mehl	BSF-Mehl	BSF-Mehl	BSF-Öl	BSF-Mehl ¹	BSF-Mehl ²
C 10:0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1.29	1.14.
C 12:0	20.9	34.1	41.0	42.6	27.7	48.4	45.8
C 14:0	2.9	6.5	6.7	6.9	4.6	8.6	9.4
C 14:1 n-7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.12	0.15.	0.25.
C 16:0	16.1	14.3	12.1	11.1	12.7	11.2	15.5
C 16:1 n-9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.6	0.05	0.08
C 16:1 n-7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1.8	1.8	2.4
C 17:0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.11	0.15	0.14
C 18:0	5.7	2.4	1.6	1.3	2.2	1.6	2.7
C 18:1 n-7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.5	0.04	0.09
C 18:1 n-9	32.1	16.5	14.0	12.3	13.9	11.1	13.1
C 18:2 n-6	4.5	4.0	3.2	3.6	19.0	12.2	6.5
C 18:3 n-3	0.19	0.74	0.71	0.74	1.70	1.00	0.87
C 20:0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.11	0.07	0.07
C 20:4 n-6	0.04	0.20	0.18	0.20	0.11	0.02	0.17
C 20:5 n-3³	0.03	1.76	1.63	1.66	n.a.	0.01	0.07
C 22:5 n-3	0.00	0.10	0.11	0.14	n.a.	n.a.	n.a.
C 22:6 n-3⁴	0.01	0.41	0.43	0.59	n.a.	n.a.	n.a.

¹Futter A; ²Futter B

³Eicosapentaensäure (EPA)

⁴Docosahexaensäure (DHA)

n.a. = nicht analysiert

	10–50% des Rohfetts
	1.00–9.99% des Rohfetts
	0.00–0.99% des Rohfetts



Viele verarbeitete Futtermittel lassen sich besser verdauen. Beim Extrudieren, siehe Seite 10, werden die Nährstoffe im Tierfutter unter Druck und Hitze deutlich besser aufgeschlossen und für das Tier verfügbar gemacht als beim Pelletieren.

Die sogenannte scheinbare Verdaulichkeit gibt den Anteil der nicht wieder mit dem Kot ausgeschiedenen Nährstoffe an.

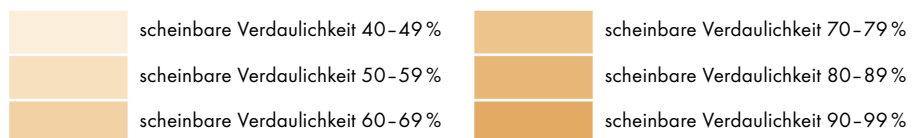
Es war recht früh klar, dass BSF-Mehl zunächst für wichtige Speisefische wie Forelle und Lachs als Futtermittel zugelassen wird. Deshalb ist die Verdaulichkeit von BSF-Mehl für diese Fische schon gut erforscht. Tabelle 4 zeigt eine Verdaulichkeit der meisten Nährstoffe von über 70 %. Nur die Energieverdaulichkeit liegt bei lediglich 60 %, was auf einige weniger verdauliche oder unverdauliche Komponenten hinweist. Die Vermutung liegt nahe, dass es sich dabei um Chitin handelt, das trotz nachgewiesener Chitinaseaktivität vermutlich nicht vollständig verdaulich ist. Bei Geflügel hingegen, ist die Verdaulichkeit noch nicht so umfangreich erforscht. Die Ergebnisse variieren hier erheblich, etwa schwankt die Proteinverdaulichkeit zwischen 51 % und 84.6 %, je nachdem ob das Insektenmehl entfettet wurde, oder nicht. Fett scheint hingegen sehr gut verdaulich zu sein.

Tabelle 4: Verdaulichkeit von BSF-Mehl bei Geflügel und verschiedenen Fischarten

Nutztier	Broiler Geflügel	Broiler Geflügel	Legehennen	Atlantischer Lachs	Regenbogenforelle	Regenbogenforelle
BSF-Anteil in Testdiät	25 %	n.a.	15–17 %	14.75 %	20 %	40 %
Scheinbare Verdaulichkeit in %						
Trocken-substanz	53	n.a.	n.a.	n.a.	75	74
Protein	51	84.6	n.a.	82	88	87
Fett	99	n.a.	n.a.	86	73	97
Energie	69	n.a.	n.a.	n.a.	60	60
Lysin¹	46	86	81–84	85	92	n.a.
Methionin¹	42	89	84–86	90	90	n.a.
Cystein¹	n.a.	n.a.	79–82	n.a.	n.a.	n.a.
Phenylalanin¹	63	90	n.a.	88	90	n.a.
Histidin¹	n.a.	61	n.a.	84	91	n.a.
Studie	De Marco et al., 2015	Mwaniki & Kiarier, 2019	Heuel et al., 2021a	Belghit et al., 2019	Dumas et al., 2018	Renna et al., 2017

¹Essentielle Aminosäuren für Geflügel und Fische;

n.a. = nicht analysiert



Futter muss dem Nährstoffbedarf der Tiere angepasst sein

Neu: Insekten als landwirtschaftliches Futtermittel

Insekten sind bislang noch kein etabliertes oder weit verbreitetes Futtermittel. Das Interesse an Insekten als Futtermittel ist erst in der letzten Dekade stark angestiegen. Vorher wurden sie nur in kleinem Massstab eingesetzt, hauptsächlich für den Zoo- und Heimtierbedarf um Terrarien-Tiere zu füttern. Mit zunehmendem Bewusstsein für die schädlichen Nebenwirkungen der Produktion herkömmlicher, proteinreicher Futtermittel wie Soja und Fischmehl und dem steigenden Bedarf an Futtermitteln für die global anwachsende Tierproduktion nimmt auch das Interesse an alternativen, recycelten Proteinquellen stark zu.

Allein- und Ergänzungsfuttermittel

Futtermittel müssen den Nährstoffbedarf einer Tierart ganz oder teilweise decken, je nachdem, ob die Tiere Zugang zu anderen Nahrungsquellen haben und diese in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Je intensiver die Tierproduktion, desto grösser ist in der Regel die Nährstoffdeckung über eigens produzierte Futtermittel. In der intensiven Tierproduktion, wo Tierzahlen bzw. -dichten hoch sind und Naturnahrung keine Rolle mehr spielt, werden überwiegend Alleinfuttermittel eingesetzt. Der Nährstoffbedarf ist nicht nur von der Tierart, sondern auch noch von anderen Faktoren abhängig.

Faktoren die den Nährstoffbedarf beeinflussen

Wieviele und welche Nährstoffe eine Tierart benötigt, hängt von folgenden Faktoren ab:

- **Lebensstadium:** Junge Tiere haben einen höheren Protein- und ältere Tiere einen höheren Energiebedarf, das benötigte Protein:Energie-Verhältnis des Futters verändert sich entsprechend.
- **Umwelt:** Kalte oder warme Umgebungstemperaturen, bei Geflügel auch das Verhältnis von Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit
- **Zweck der Produktion:** Legehennen versus Broiler oder Speisefische versus Elternfische



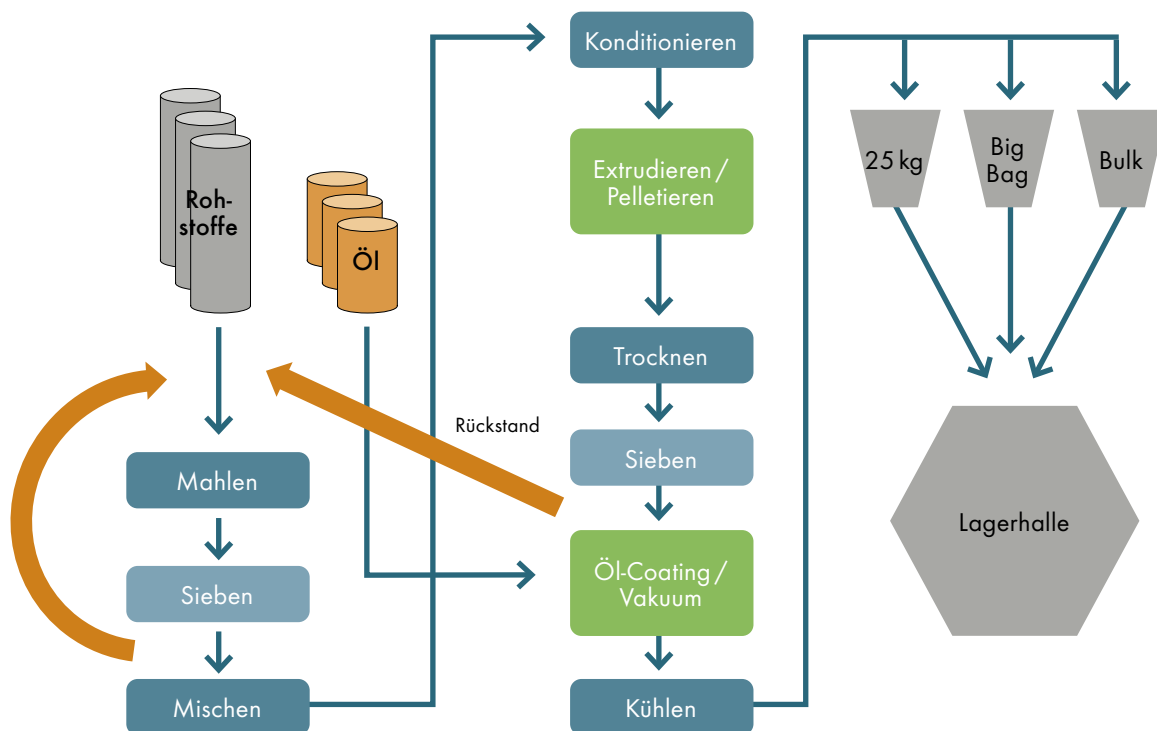
BSF-Mehl wird aus dem 5. Larvenstadium der Schwarzen Soldatenfliege hergestellt. Dies ist der Zeitpunkt an dem die Maden ausgemäset sind. In freier Natur verpuppen sich diese Maden kurze Zeit später.

Darum unterscheidet man in der Tierernährung auch häufig zwischen Alleinfuttermitteln, die den gesamten Nährstoffbedarf decken müssen und Ergänzungsfuttermitteln, die bestimmte Funktionen erfüllen oder einen Mineralstoff- und Vitaminmangel beheben sollen. Alleinfuttermittel müssen entsprechend gut auf die Tierart und deren Nährstoffbedarf eingestellt sein. Dies erfordert natürlich, dass der Bedarf der verschiedenen Nährstoffe für die jeweilige Tierart bekannt ist.

Bei den verschiedenen Geflügelrassen und einigen der weltweit wichtigsten Fischarten ist dies sehr gut erforscht. Solche Studien sind meist sehr aufwändig und teuer, besonders wenn es um den Bedarf einzelner Amino- oder Fettsäuren und Mikronährstoffe/Vitamine geht. Es gibt eine ganze Reihe von Fischarten, deren Nährstoffbedarf nicht im Detail bekannt ist, da sie noch nicht lange oder nur in kleinen Mengen produziert werden.

Produktion von Futtermitteln

Abbildung 2: Arbeitsschritte im Produktionsprozess von Aquakulturfutter



Die Futtermittelproduktion ist recht komplex und beinhaltet viele verschiedene Arbeitsschritte. Dies ist hier am Beispiel für extrudiertes Aquakulturfutter dargestellt. Je nach Tierart können aber auch einzelne Prozessschritte wegfallen. Das Vakuum-Coaten wird etwa nur benötigt, wenn hohe Fett- und damit Energiegehalte im Futter sein müssen, wie z.B. im Futter für Salmoniden.

Extrusion

Die Extrusion ist ein ursprünglich aus der Kunststoffherstellung stammendes Verfahren, das die verschiedenen Rohstoffe miteinander durch hohen Druck und hohe Temperatur «verschmilzt».

Vorteile von extrudiertem gegenüber pelletiertem Futter

- Deutlich verbesserte Verdaulichkeit der Nährstoffe
- Gute Hygienesicherung bei der Herstellung
- Für Aquakulturfutter besteht die Möglichkeit das Sinkverhalten im Wasser zu beeinflussen.
- Sie besitzen eine erhöhte Wasserstabilität.

Extrudiertes Futtermittel haben nicht nur Vorteile. Sie sind auch teurer. Durch die höhere Verdaulichkeit der Nährstoffe ist aber die Futter- und Nährstoffverwertung höher. Dies schont wiederum den Geldbeutel und durch geringere Nährstoffausscheidungen auch die Umwelt.

Extrusion bei Geflügel- und Fischfutter

Extrudiertes Alleinfuttermittel werden besonders in der intensiven Aquakultur eingesetzt. Für Geflügel wiederum wird Futter bislang noch vergleichsweise selten extrudiert und stattdessen eher pelletiert. Dabei werden die Rohstoffe ebenfalls gemischt aber selten so fein vermahlen, wie das für die Aquakultur der Fall ist. Anschliessend bringt eine Pelletpresse die Vormischung in die gewünschte Form. Die Prozesskette ähnelt grob der in Abbildung 2 jedoch fallen einzelne Schritte weg oder sind durch andere zu ergänzen.

Physikalische Ansprüche an Futtermittel

Grössere Unterschiede in den Ansprüchen an Alleinfuttermittel entstehen auch durch die Art der Nahrungsaufnahme. Geflügel pickt mit dem Schnabel Körner oder kleinere Pellets und scharrt auch gerne, wobei zerbröselte Pellets auch noch aufgenommen werden können.

Fische hingegen picken und scharren nicht. Deshalb ist ihnen das Pellet «maulgerecht» zu präsentieren, da sie es am Stück runterschlucken. Entsprechend müssen die Pellets für die Aquakultur eine gewisse Wasserstabilität aufweisen, damit sie nicht auseinanderfallen, bevor die Fische sie gefressen haben. Für Geflügel fällt dieser physikalische Anspruch eher weniger ins Gewicht.

Einsatz von Insekten in der Geflügelfütterung

Hintergrund

Die inländische Schweizer Produktion an Geflügelfleisch und Eiern steigt stetig und im Vergleich zu anderen tierischen Lebensmitteln am stärksten an. Das Wachstum der Schweizer Produktion betrug zwischen 2002 und 2019 für Geflügelfleisch 160 % und ca. 40 % für Eier (Schweizer Agrarbericht 2020). Hühner haben zudem den höchsten Bedarf an Soja im Futter, verglichen mit Schweinen und Rindern (Faktenblatt Soja-Netzwerk Schweiz, 2019; www.sojanetzwerk.ch). Derzeit werden pro kg Ei oder Hühnerfleisch 300–600 g Soja verfüttert. Daher ist das Geflügel ein relevanter Faktor für die Importmengen an Eiweissfuttermitteln, insbesondere Soja.

Für eine Reduktion der Sojaimporte in die Schweiz, wäre es deshalb sinnvoll, beim Geflügelfutter anzusetzen. Dafür müssen sich die eingesetzten proteinreichen Mehle aus Insekten effizient und nachhaltig herstellen und verfüttern lassen. Die Verfütterung von Larvenmehl aus der BSF an Mast- und Legegeflügel ist momentan nur ein potentiell Element der Eiweiss-Strategie für die Schweiz. Derzeit lässt der rechtliche Rahmen dies weder in der Schweiz noch in den anderen europäischen Ländern zu.

Eine Studie der ETH gemeinsam mit dem FiBL konnte zeigen, dass sojabasiertes Legehennenfutter komplett mit Futter ersetzt werden kann, das statt Soja, BSF-Mehl einsetzt. Die Produktion und Eiqualität der Legehennen, die Futter mit BSF-Mehl frassen, war gleich gut wie die der mit Soja gefütterten Legehennen (Heuel et al., 2021a).

Generelle Ansprüche an das Geflügelfutter

Auswahl eines Futtermittels:

- Schmackhaftigkeit
- Verdaulichkeit
- Nährstoffgehalte
- Wertigkeit der Nährstoffe, das heisst z.B. das Aminosäurenmuster des Proteins oder die Fettsäurezusammensetzung der Lipide.

Während Fütterungsversuche die Schmackhaftigkeit und Verdaulichkeit bestimmen, sind die Nährstoffzusammensetzungen Werte aus der Laboranalyse, welche den grundsätzlichen Bedarfsempfehlungen gegenüberstellbar sind.



Besonders entscheidend ist bei den Insektenmehlen das Aminosäureangebot, da es vor allem als alternative Eiweissquelle eingesetzt werden soll. Tabelle 5 zeigt, dass die Gehalte an den essentiellen Aminosäuren Lysin, Methionin, Cystein und Threonin aus verschiedenen am FiBL erzeugten BSF-Mehlen vergleichbar oder sogar höher waren, als bei traditionell eingesetzten proteinreichen Fut-

termitteln wie Sojakuchen oder Sojaextraktionschrot. Der Rohproteingehalt des Larvenmehls ist stark abhängig von der Technologie der Presse, mit der das Material entfettet wird. Je nach Entfettungsgrad und damit relativ steigenden Proteingehalten, konnte das FiBL BSF-Mehle mit Rohproteingehalten von 38 g/100 g (Heuel et al., 2021a) bis zu 59 g/100 g erzeugen (Maurer et al., 2015).

Tabelle 5: Bedarf an essentiellen Aminosäuren beim Geflügel und Gehalte in BSF-Mehlen und Soja

Aminosäure	Bedarf ¹			Gehalt ¹		
	Küken ²	Junghenne ²	Henne ²	BSF-Mehl, entfettet ³	Sojakuchen (4.5–6.0 % RL) ⁴	Sojaextraktionschrot (1.3–2.6 % RL) ⁴
Lysin	7.9	7.4	7.8	23.6-36.3	29.9	32.2
Methionin + Cystin	6.2	5.6	5.9	11.0-16.4	14.5	14.6
Threonin	6.6	6.2	6.6	22.8-27.7	19.1	20.2

¹g/1 kg Futter; ²Jeroch et al., 2019; ³Datenbereich für drei verschiedene, entfettete, am FiBL hergestellte BSF-Mehle; ⁴Schweizer Futtermitteldatenbank, feedbase.ch; RL = Rohfett

Pouletmast

In der Pouletmast sind sowohl bei niedrigen (78 g/kg Futter; Leiber et al., 2017) als auch bei hohen BSF Anteilen (200 g/kg Futter; Heuel et al., ETH Zürich, unpublizierte Daten) die gleichen täglichen Zunahmen, Schlachtgewichte und Schlachtausbeuten erreichbar, wie mit vergleichbaren Soja-basierten Standardfuttermitteln. Diese Aussage lässt sich auch durch die internationale Forschung bestätigen (Gasco et al., 2019).

Qualitätsunterschiede in den BSF-Mehlen – Auswirkung auf die Mastleistung

Die Voraussetzung für den Ersatz traditioneller Eiweissfuttermittel mit BSF-Mehlen ist ein hochwertiges Larvenmehl. Es kann bei den BSF-Mehlen produktionsabhängig deutliche Qualitätsunterschiede in Proteingehalt und Verdaulichkeit geben (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2 auf Seite 6), die sich auch in den Mastleistungen niederschlagen (Heuel et al., ETH Zürich, unpublizierte Daten). Es wird also wichtig sein, beim Einkauf von BSF Mehlen auf die Qualität zu achten. Die hohen Rohprotein- bzw. Aminosäurenwerte in Tabelle 1 und Tabelle 2 auf Seite 6 zeigen was generell möglich ist.

Bei Verfütterung von BSF-Mehlen mit guter Qualität kann man in der Pouletmast bezüglich Brustfleischanteil, Zartheit, Kochverlusten und Farbe in aller Regel die gleichen Ergebnisse erwarten wie bei Standardfuttermitteln (Leiber et al., 2017; Gasco et al., 2019; Heuel et al., ETH Zürich, unpublizierte Daten). In einer Studie (Altmann et al., 2018) wurde ein Einfluss auf den Geschmack des Brustfleisches bei Fütterung mit BSF-Mehl beschrieben. Ebenso kann das Substrat, auf dem die Larven produziert werden, einen Einfluss auf die Haut- und Fleischfarbe der Broiler haben (Heuel et al., ETH Zürich, unpublizierte Daten). Auch wenn einige Konsumenten die Abweichungen sogar bevorzugen, ist dies eine Eigenschaft von BSF-Mehlen, auf die man achten sollte.

Chitinverdaulichkeit beeinflusst die Futtermittelnutzung

Aufgrund der schwankenden Verdaulichkeit im Zusammenhang mit dem Chitingehalt der Insekten ist es möglich, dass die Futtermittelnutzung beeinträchtigt ist (Heuel et al., ETH Zürich, unpublizierte Daten). Bevor Insektenmehle in der Pouletmast breitflächig eingesetzt werden, ist noch der exakte Einfluss des Chitingehalts auf die Verdaulichkeit zu erforschen.

Fütterung von Legehennen

Ähnlich wie in der Pouletmast ist es auch bei den Legehennen möglich, gleichwertige Ergebnisse zu erzielen, wenn die Sojaanteile im Futter ganz oder teilweise durch BSF-Mehl und -Öl ersetzt sind (Maurer et al., 2015; Gasco et al., 2019; Heuel et al., 2021a, b). Die Präferenz der Legehennen für Futter mit BSF-Komponenten (Mehl und Fett) ist jedoch deutlich abhängig von deren Qualität (Heuel et al., 2021a).

Qualitätsunterschiede in den BSF-Mehlen – Auswirkung auf die Legeleistung

Auch hier beeinflusst die Qualität des BSF-Mehls die Leistung der Legehennen (Heuel et al., 2021a). Bei hoher Qualität des Larvenmehles ist aber von einer Gleichwertigkeit mit Soja auszugehen, sowohl in Bezug auf die Futtermittelaufnahme und -verwertung als auch auf die Legeleistung und das Eigewicht. Es

sind jedoch Einflüsse von BSF-Mehl auf die Festigkeit der Eierschale möglich (Gasco et al., 2019).

Lebende Futterinsekten können zu einem gesteigerten Tierwohl beitragen

Aufgrund der fehlenden Zulassung von Insektenmehlen in der Geflügelfütterung liegt noch keine Praxiserfahrung vor. Die experimentellen Studien betrachten meist nur einen begrenzten Zeitraum (z.B. Iperma et al., 2020). Das ist insbesondere für die Legehennen relevant: Daten über vollständige Legeperioden fehlen noch ganz und mögliche Langzeiteffekte sind bislang nicht einschätzbar. Eine Fütterung lebender Insekten an Legehennen und Mastpoulets könnte interessant sein, da sich damit möglicherweise das Ausleben natürlicher Verhaltensweisen fördern lässt und Verhaltensstörungen reduzieren lassen. Hier ist die Gesetzeslage in der Schweiz und der EU aber ebenfalls nicht gänzlich geklärt.

Einsatz von Insekten in der Aquakultur

Hintergrund

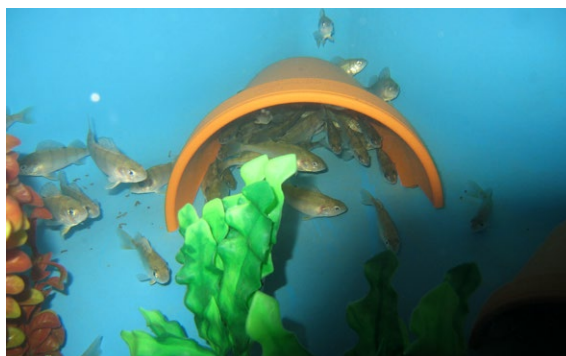
Die Schweizer Aquakultur produziert nur wenige Fischarten in vergleichsweise geringer Menge. Die traditionell in der Schweiz am meisten produzierte Fischart ist die Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*). Ursprünglich stammt sie aus dem Nordwesten Amerikas und wurde etwa 1880 in Europa eingeführt. Sie macht mit rund 2000 t Jahresproduktion etwa 60 % der produzierten Fische in der Schweizer Aquakultur aus.

Die zweitwichtigste Fischart ist der eurasische Flussbarsch bzw. Egli (*Perca fluviatilis*), der in Kreislaufanlagen produziert wird. Weitere produzierte Fischarten sind atlantische Lachse (*Salmo salar*), sibirische Störe (*Acipenser baerii*), Zander (*Sander lucioperca*), Felchen (*Coregonus sp.*), Bachforellen (*Salmo trutta*), Karpfen (*Cyprinus carpio*) und so manche eher exotischen Fische wie Barramundi (*Lates calcarifer*) und Niltilapien (*Oreochromis niloticus*).

In jüngerer Zeit hat neben Fischen auch eine Garnelenart das Artenspektrum ergänzt. Die pazifische Weissbeingarnele (*Litopenaeus vannamei*) wird in Schweizer Kreislaufanlagen produziert.



Regenbogenforellen sind Raubfische und jagen Insekten und auch andere Fische.



Junge Flussbarsche ernähren sich vorwiegend von Zooplankton.

Die meisten Süss- und Salzwasserfische können Chitin verdauen

Für nahezu alle Süsswasser-Fischarten sind Insekten und Insektenlarven Bestandteil des natürlichen Speiseplans. Da es im Salzwasser keine Insekten gibt, gehören sie dagegen für Meeresfische nicht zum natürlichen Nahrungsspektrum. Dennoch sind auch viele marine Fisch- und Krebsarten in der Lage, Insekten gut zu verdauen, da Insekten von ihrem Körperaufbau und der chemischen Zusammensetzung her dem sogenannten Zooplankton, also marinen Kleinkrebsen ähneln. Zooplankton bildet im Meer für die frühen Entwicklungsstadien aller Fischarten eine Hauptnahrungsquelle und für einige Fischarten auch noch im adulten Stadium. Das Exoskelett von marinen Kleinkrebsen enthält ebenfalls Chitin, weshalb Fischarten, die sich überwiegend von diesen marinen Kleinkrebsen ernähren, ebenso wie insektenfressende Fische eine enzymatische Chitinaseaktivität zeigen (Ikeda et al., 2017). Wie gut die Chitinverdauung aber insgesamt ist, ist eher noch unbekannt.

Fischmehl für die Fütterung von Fischen ist umstritten

Fischmehl ist nur begrenzt vorhanden und wird vielfach zu Recht aus Umweltschutzgründen kritisiert. Deshalb wurde in den letzten Dekaden eine Vielzahl an Studien zu den Effekten von Insektenmehl, meist als Ersatz für Fischmehl bei verschiedenen Fischarten publiziert.



Seit 2017 ist es erlaubt im Fischfutter BSF-Larven einzusetzen. Für biologische Fischfarmen ist allerdings eigens biologisch zertifiziertes Insektenmehl zu produzieren, welches es bislang noch nicht gibt.



Der grösste Anteil an Schweizer Lachs wächst in einer einzigen Fischfarm mit modernen Kreislauftechnik.

Im folgenden Abschnitt sind die Einsatzmöglichkeit von BSF-Mehl bei den für die Schweiz wichtigsten Fischarten (Regenbogen-)Forelle, Egli und Atlantischem Lachs vorgestellt.

Teile der Ergebnisse stammen aus eigenen Studien, andere sind der internationalen Literatur entnommen. Dabei gibt es jedoch einen klaren Schwerpunkt von Studien zu Insektenmehlfütterung bei Forellen und Lachsen, welche in der europäischen Aquakultur von herausragender wirtschaftlicher Bedeutung sind. Andere Fischarten fallen durch ihre Abwesenheit in wissenschaftlichen Studien auf, da sie wirtschaftlich nur von untergeordneter Bedeutung sind und in vergleichsweise kleinen Mengen produziert werden, wie dies z.B. beim Egli zu beobachten ist.

Regenbogenforelle *Oncorhynchus mykiss*

Die natürliche Nahrung von Regenbogenforellen beinhaltet einen grossen Anteil an verschiedensten aquatischen und fliegenden Insekten. Dies macht sie zu idealen Verwertern von Insektenmehl.

Zu Forellen gibt es eine grosse Anzahl an wissenschaftlichen Studien über den Fischmehlersatz durch BSF-Mehl. Auch das FiBL hat zwei Studien zu dieser Fragestellung durchgeführt. Da die Studien in ihrem Design und den untersuchten Parametern teilweise stark voneinander abweichen, sind die wichtigsten Ergebnisse in Tabelle 6 auf Seite 16 zusammengefasst.

Wichtigste Einflussfaktoren

Für einen erfolgreichen Ersatz von Fischmehl mit Insektenmehl für Wachstum und Futterverwertung in der Fischfütterung sind folgende Punkte zu beachten:

- Die absolute Menge an Fischmehl in der Kontrollration
- Der prozentuale Anteil des Insektenmeihls in der untersuchten Ration
- Der Grad der Entfettung des Insektenmeihls
- Die Qualität des Insektenmeihls: qualitativ höherwertige Insektenmeihle können ohne negative Effekte einen grösseren Anteil Fischmehl ersetzen im Vergleich zu Insektenmeihlen geringerer Qualität.
- Der Herstellungsprozess des Futters: die Nährstoffverwertung ist bei extrudiertem Futter besser verglichen mit pelletierten Futtermitteln.

Es ein hoher Anteil an Fischmehl ist mit BSF-Mehl ersetzbar

Wie aus der internationalen wissenschaftlichen Literatur hervorgeht, ist ein recht hoher Anteil von Fischmehl im Futter von Regenbogenforellen ohne negative Effekte auf Wachstum und Futterverwertung austauschbar (siehe Tabelle 6 auf Seite 16). Die Höhe des Fischmehlersatzes liegt zumeist bei mindestens 50 %, selbst bei recht hohen Anteilen an Fischmehl in der Grundration. Dies betrifft vor allem teilentfettetes und voll entfettetes Insektenmehl.



In Fütterungsversuchen kann überprüft werden, ob die Gesundheit und Leistung der Tiere durch neue Futterkomponenten, wie das BSF-Mehl beeinträchtigt wird.

Viele Fischarten können die im Insektenmehl überwiegend enthaltenen, ungesättigten mittelkettigen Fettsäuren wie die Laurin- (C12:0) und die Palmitinsäure (C16:0), nicht gut als Energiequelle nutzen. Deshalb ist Insektenmehl, das nicht entfettet ist, kein so guter Fischmehlersatz gegenüber teilentfettetem oder voll entfettetem Insektenmehl. Fische welche entfettetes Insektenmehl erhalten, benötigen andere Futterkomponenten, die ihren Bedarf an essentiellen Fettsäuren für den Aufbau von Zellmembranen und von nicht essentiellen Fettsäuren, die primär als Energiequelle genutzt werden, decken.

Durch Fütterung mit BSF-Mehl sinkt der Ω -3-Fettsäuren-Gehalt der Fische

Allerdings ist in allen Studien, in denen Fettsäureprofile analysiert wurden, auch eine Verringerung der wertvollen Ω -3-Fettsäuren in den Fischen zu beobachten. Diese Fettsäuren gelangen primär über die marinen Futterzutaten (Fischmehl und –öl) in den Zuchtfisch und mit höherem Fischmehlersatz nimmt entsprechend auch der Anteil an Ω -3-Fettsäuren im Fisch ab.

Vielversprechende Ergebnisse am FiBL

Schweizer Bio-Forellenproduzenten haben versuchsweise kommerziell produziertes Insektenfutter mit teils sehr guten Ergebnissen eingesetzt (Stadtlander et al., 2017).

Tabelle 6: Ergebnisse aus fünf verschiedenen Studien zum Einsatz von Insektenmehl im Futter von Regenbogenforellen, *Oncorhynchus mykiss*

Versuchsbedingungen			Ergebnisse			Studie
Kontrolldiät Anteil von Fischmehl im Futtermittel	Versuchsdiet Anteil des durch BSF-Mehl ersetzten Fischmehls	Entfettungsgrad des BSF-Mehls	Wachstum	Futterverwertung	Ω-3-Fettsäure-Gehalt	
36 %	25 %	○○	●○	●○	○○	St. Hilaire et al., 2007b
	50 %	○○	○○	○○	○○	
60 %	25 %	●○	●○	●○	●○	Renna et al., 2017
	50 %	●○	●○	●○	○○	
61 %	46 %	●○	●○	●○	○○	Stadlander et al., 2017
20 %	25 %	●○	●○	●○	n.a.	Dumas et al., 2018
	50 %	●○	●○	●○	n.a.	
	100 %	●○	○○	○○	n.a.	
35 %	25 %	●○	●○	●○	n.a.	Stadlander et al., FiBL, unveröffentlichte Daten
	50 %	●○	●○	●○	n.a.	
	75 %	●○	●○	●○	n.a.	
	25 %	●○	●○	●○	n.a.	
	50 %	●●	●○	●○	n.a.	
	75 %	●●	●○	●○	n.a.	

○○ nicht entfettet ●○ teilweise entfettet ●● vollständig entfettet

○○ Versuchsdiet führt zu schlechteren Ergebnissen ●○ Versuchsdiet führt zu vergleichbaren Ergebnissen ●● Versuchsdiet führt zu besseren Ergebnissen

n.a. = nicht analysiert

Atlantischer Lachs – *Salmo salar*

Die landgestützte Lachsproduktion in Kreislaufanlagen erfährt momentan ein grosses Interesse, da die Produktionskosten in marinen Netzgehegen stark zunehmen. Grund dafür sind die steigenden Kosten für die Bekämpfung von parasitären Krebsen, den sogenannten Lachsläusen. Diese zeigen zunehmend Resistenzbildung gegen gängige Anti-Parasitika.

In der Schweiz gibt es eine Lachsproduktion in einer grossen Kreislaufanlage mit geplanten Produktionsmengen von ca. 500–600 t pro Jahr.

Insektenmehl: eine gute Alternative zu Fischmehl

Lachse sind relativ nahe verwandt mit Regenbogenforellen. Daher können sie Insektenmehl ähnlich gut verwerten (siehe Tabelle 7 auf Seite 17). Ähnlich wie bei Forellen ist aber auch bei den Lachsen ersichtlich, dass es bei der erfolgreichen Fütterung mit Insektenmehlen auf den Anteil des zu ersetzenden Fischmehls, der Gesamtmenge an Insektenmehl

im Futter und auf die Qualität des Insektenmehls ankommt. Zudem sinkt auch bei Lachsen der Anteil an Ω-3-Fettsäuren im Futter mit zunehmenden Insektenmehl-Anteilen. Davon abgesehen ist aber grundsätzlich auch bei Lachsen Insektenmehl eine gute Alternative zu Fischmehl.

Insektenmehlhaltiges, kommerzielles Fischfutter für Lachse

Da die Lachsindustrie in Europa zu den klaren Treibern der Innovation in der Aquakulturbranche zählt, hat der grösste europäische Fischfutterproduzent schon 2018 das erste kommerzielle Fischfutter mit Insektenmehl angeboten.

Tabelle 7: Ergebnisse aus zwei verschiedenen Studien zum Einsatz von Insektenmehl im Futter von atlantischen Lachsen, *Salmo salar*

Versuchsbedingungen			Ergebnisse			Studie
Kontrolldiät Anteil von Fischmehl im Futtermittel	Versuchsdiät Anteil des durch BSF-Mehl ersetzten Fischmehls	Entfettungsgrad des BSF-Mehls	Wachstum	Futterverwertung	Ω-3-Fettsäurengehalt	
20 %	A ¹ : 25 %	⊙⊙	●○	●○	●○	Lock et al., 2015
	A ¹ : 50 %	⊙⊙	●○	●●	○○	
	A ¹ : 100 %	⊙⊙	○○	●●	○○	
	B ² : 25 %	⊙⊙	○○	●●	●○	
	B ² : 100 %	⊙⊙	○○	○○	○○	
10 %	33 %	⊙⊙	●○	●○	●○	Belghit et al., 2019
	66 %	⊙⊙	●○	●○	○○	
	100 %	⊙⊙	●○	●○	○○ ○○	

⊙⊙ nicht entfettet ⊙⊙ teilweise entfettet ⊙⊙ vollständig entfettet; ..○○ Versuchsdiät führt zu schlechteren Ergebnissen ●○ Versuchsdiät führt zu vergleichbaren Ergebnissen ●● Versuchsdiät führt zu besseren Ergebnissen; ¹Fettanteil höher als im BSF-Mehl B; ²Fettanteil niedriger als im BSF-Mehl A

Flussbarsch («Egli») – *Perca fluviatilis*

Der europäische Flussbarsch, in der Schweiz und im süddeutschen Raum auch Egli genannt, ist für die globale Aquakulturproduktion nur ein Nischenprodukt. Wildfänge aus Osteuropa und Finnland bedienen überwiegend die Nachfrage. Allerdings haben sich in der Schweiz einige grössere und kleinere Kreislaufanlagen auf die Produktion von Egli spezialisiert. Aufgrund der insgesamt geringen

Produktionsmenge ist die internationale Literatur jedoch sehr arm an Studien über Egli. Dementsprechend gibt es bislang auch noch keine einzige veröffentlichte Studie zum Einfluss von Insektenmehl im Futter auf Wachstum, Futtermittelverwertung und andere wichtige Parameter. Die noch unveröffentlichten Ergebnisse eines Fütterungsexperimentes am FiBL deuten auf keinerlei Unterschiede in Wachstum oder Futtermittelverwertung selbst bei sehr hohen Anteilen an Insektenmehl im Futter hin (siehe Tabelle 8). Die Fettsäureprofile wurden nicht untersucht. Ein negativer Einfluss auf die Darmgesundheit war nicht messbar.

Tabelle 8: Bisher unveröffentlichte Ergebnisse einer Fütterungsstudie des FiBL bei Brut vom Egli mit zwei verschiedenen Insektenmehlen

Versuchsbedingungen			Ergebnisse			Studie
Kontrolldiät Anteil von Fischmehl im Futtermittel	Versuchsdiät Anteil des durch BSF-Mehl ersetzten Fischmehls	Entfettungsgrad des BSF-Mehl	Wachstum	Futterverwertung	Darmgesundheit	
47 %	25 %	⊙⊙	●○	●○	●○	Stadtlander et al., FiBL, unveröffentlichte Daten
	50 %	⊙⊙	●○	●○	●○	
	75 %	⊙⊙	●○	●○	●○	
	25 %	⊙⊙	●○	●○	●○	
	50 %	⊙⊙	●●	●○	●○	
	75 %	⊙⊙	●○	●○	●○	

⊙⊙ nicht entfettet ⊙⊙ teilweise entfettet ⊙⊙ vollständig entfettet
○○ Versuchsdiät führt zu schlechteren Ergebnissen ●○ Versuchsdiät führt zu vergleichbaren Ergebnissen ●● Versuchsdiät führt zu besseren Ergebnissen

Nachhaltigkeit von Insektenmehl

Steigerung der Nachhaltigkeit tierischer Produkte – Insekten als Futtermittel

Lebensmittel benötigen Input in Form von Energie, Dünger, Wasser, Land und Arbeitszeit um produziert zu werden. Diese Ressourcen gehen durch Verschwendung von Lebensmitteln verloren. Wenn sich ein Anteil der Lebensmittelabfälle in Form von Insektenbiomasse als Tierfutter recyceln lässt, verbessert das die Nachhaltigkeit der Tierproduktion.

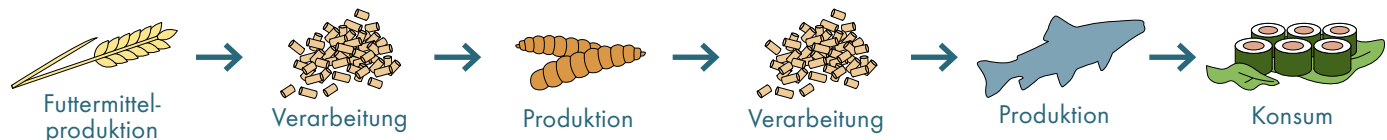
■ Noch ist es gesetzlich verboten, Lebensmittelabfälle an Insekten zu verfüttern, die zur Verarbeitung zu Futtermitteln vorgesehen sind.

Derzeit darf man in der Schweiz und der EU Insekten, die selbst verfüttert werden sollen, nur mit Futter in Futtermittelqualität füttern. Das heisst

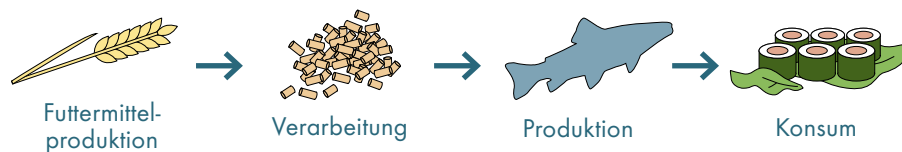
dieses Substrat könnte auch an Geflügel, Schweine oder Rinder verfüttert werden. Diese Futtermittel nun für Insekten zu nutzen, um sie dann wiederum zu verarbeiten und an Fische oder Geflügel weiter zu verfüttern, ist nicht im Sinne der Nachhaltigkeit. Denn so fügt man einen unnötigen Produktions- und Verarbeitungsschritt in das System ein (siehe Abbildung 3). Bei jedem einzelnen Schritt, werden die oben genannten Inputs, mit Ausnahme des Düngers, benötigt. Je mehr Schritte von der Produktion bis zum Konsum vorhanden sind, desto weniger nachhaltig ist die Prozesskette. Deshalb wäre es sinnvoller, die Futtermittel direkt an die Nutztiere zu verfüttern. Nur wenn es erlaubt ist, auch echte Abfälle als Futtermittel für die Produktion von Insektenbiomasse zu nutzen, ist ein echter Schritt in Richtung nachhaltigere Tierernährung getan.

Abbildung 3: Übersicht der Arbeitsschritte verschiedener Tierproduktionsszenarien,

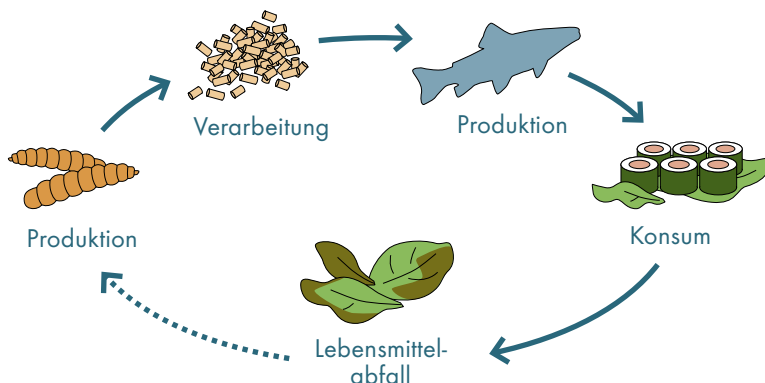
Heute ist es nur dann erlaubt, verarbeitete Insektenprodukte in der Aquakultur einzusetzen, wenn die Insekten mit Futter in Futtermittelqualität gefüttert wurden.



Ökologisch sinnvoller ist es, den Nutztieren die Futtermittel direkt zu füttern.



Das Verfüttern von Nahrungsmittelabfall an BSF-Larven würde eher zu Nachhaltigkeit beitragen, ist aber momentan aus Gründen der Lebensmittelsicherheit noch verboten.



Je länger die Kette der einzelnen Schritte in der Tierproduktion ist, desto weniger nachhaltig ist sie.

Referenzen

- Altmann B.A., Neumann C., Velten S., Liebert F., Mörlein D. (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. *Foods* 7:34, DOI: 10.3390/foods7030034.
- Belghit I., Liland N.S., Gjesdal P., Biancarosa I., Menchetti E., Li Y., Waagbø R., Krogdahl Å., Lock E.-J. (2019). Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 503, pp. 609-619, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.032>.
- Beretta C. und Hellweg S. (2019). Lebensmittelverluste in der Schweiz: Mengen und Umweltbelastung. Wissenschaftlicher Schlussbericht, Oktober 2019. ETH Zürich (Download: www.bafu.admin.ch/lebensmittelabfaelle).
- BLW (2020). Schweizer Agrarbericht 2020.
- Boerema A., Peeters A., Swolfs S., Vandevenne F., Jacobs S., Staes J., Meire P. (2016). Soybean trade: Balancing environmental and socio-economic impacts of an intercontinental market. *PLoS ONE* 11: e0155222. doi:10.1371/journal.pone.0155222
- Bondari K., Sheppard D.C. (1981). Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. *Aquaculture* 24, pp. 103-109, DOI: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(81\)90047-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(81)90047-8).
- De Marco M., Martínez S., Hernandez F., Madrid J., Gai F., Rotolo L., Belforti M., Bergero D., Katz H., Dabbou S., Kovitvadhi A., Zoccarato I., Gasco L., Schiavone A. (2015). Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology* 209, pp. 211-218, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006>.
- Dumas A., Raggi T., Barkhouse J., Lewis E., Weltzien E. (2018). The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 492, pp. 24-34, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.038>.
- FAO, 2011. Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. Rome. ISBN 978-92-5-107205-9.
- Gasco L., Biasato I., Dabbou S., Schiavone A., Gai F. (2019). Animals fed insect-based diets: State-of-the-art on digestibility, performance and product quality. *Animals* 9:170, DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9040170>.
- Heuel M., Sandrock C., Leiber F., Mathys A., Gold M., Zurbrügg C., Gangnat I.D.M., Kreuzer M., Terranova M. (2021a). Black soldier fly larvae meal and fat can completely replace soybean cake and oil in diets for laying hens. *Poultry Science* 100:101034, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101034>.
- Heuel M., Kreuzer M., Sandrock C., Leiber F., Mathys A., Gold M., Zurbrügg C., Gangnat I.D.M., Terranova M. (2021b). Transfer of lauric and myristic acid from black soldier fly larval lipids to egg yolk lipids of hens is low. *Lipids*, DOI 10.1002/lipd.12304.
- Ipema A.F., Gerrits W.J., Bokkers E.A., Kemp B., Bolhuis J.E. (2020). Provisioning of live black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) benefits broiler activity and leg health in a frequency-and dose-dependent manner. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 230:105082, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105082>
- Jeroch H., Simon A., Zentek J. 2019. Geflügelernährung. Ernährungsphysiologische Grundlagen, Futtermittel und Futterzusatzstoffe Fütterung des Lege-, Reproduktions- und Mastgeflügels. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, ISBN 978-3-8186-0555-1.
- Konashi S., Takahashi K., Akiba Y. (2000). Effects of dietary essential amino acid deficiencies on immunological variables in broiler chickens. *British Journal of Nutrition* 83, pp. 449-456, DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114500000556>.
- Kroeckel S., Harjes A.-G.E., Roth I., Katz H., Wuertz S., Susenbeth A., Schulz C. (2012). When a turbot catches a fly: Evaluation of a prepupae-meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fishmeal substitute – Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 364-365, pp. 345-352, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.041>.
- Leiber F., Gelencser T., Stamer A., Amsler Z., Wohlfahrt J., Früh B., Maurer V. (2017). Insect and legume-based protein sources to replace soybean cake in an organic broiler diet: Effects on growth performance and physical meat quality. *Renewable Agriculture and Food Systems* 32, pp. 21-27, DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742170515000496>.
- Lock E.J., Arsiwalla T., Waagbø R. (2015). Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquaculture Nutrition* 22, pp. 1202-1213, DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.12343>.
- Maurer V., Holinger M., Amsler Z., Früh B., Wohlfahrt J., Stamer A., Leiber F. (2016). Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in layer hens. *Journal of Insects as Food and Feed* 2, pp. 83-90, DOI: 10.3920/JIFF2015.0071.
- Mwaniki Z.N., Neijat M., Kiarie E. (2018). Egg production and quality responses of adding up to 7.5% defatted black soldier fly larvae meal in a corn-soybean meal diet fed to Shaver White Leghorns from wk 19 to 27 of age. *Poultry Science* 97, pp. 2829-2835, DOI: 10.3382/ps/pey118.
- Mwaniki Z.N., Kiarie E. (2019). Standardized ileal digestible amino acids and apparent metabolizable energy content in defatted black soldier fly larvae meal fed to broiler chickens. *Canadian Journal of Animal Science* 99, pp. 211-217, DOI: <https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0111>.
- Newton G.L., Booram C.V., Barker R.W., Hale O.M. (1977). Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplementation for Swine. *Journal of Animal Science* 44, pp. 395-400, DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1977.443395x>.
- National Research Council (2011). Nutrient requirements of fish and shrimp. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13039>.

Renna M., Schiavone A., Gai F., Dabbou S., Lussiana C., Malfatto V., Prearo M., Capucchio M.T., Biasato I., Biasibetti E., De Marco M., Brugiapaglia A., Zoccarato I., Gasco L. (2017). Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8, DOI: 10.1186/s40104-017-0191-3.

Schader C., Müller A., Scialabba N.E.H., Hecht J., Isensee A., Erb K.-H., Smith P., Makkar H.P.S., Klocke P., Leiber F., Schwegler P., Stolze M., Niggli U. (2015). Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability. *J. Royal Soc. Interface* 12:20150891, DOI: <https://doi.org/10.1098/rsif.2015.0891>

Sheppard D.C., Newton G.L., Thompson S.A., Savage S. (1994). A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology* 50, pp. 275-279, DOI: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90102-3).

Stadtlander T., Stamer A., Buser A., Wohlfahrt J., Leiber F., Sandrock C. (2017). *Hermetia illucens* meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm. *Journal of Insects as Food and Feed* 3, pp. 165-175, DOI: <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000230198>.

St.-Hilaire S., Cranfill K., McGuire M.A., Mosley E.E., Tomberlin J.K., Newton L., Sealey W., Sheppard C., Irving S. (2007a). Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society* 38, pp. 309-313, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00101.x>.

St.-Hilaire S., Sheppard C., Tomberlin J.K., Irving S., Newton L., McGuire M.A., Mosley E.E., Hardy R.W., Sealey W. (2007b). Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society* 38, pp. 59-67, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00073.x>.

Impressum

Herausgeber

Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL
Ackerstrasse 113, Postfach 219, CH-5070 Frick
Tel. 062 865 72 72, Fax -73
info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

Autorinnen und Autoren: Timo Stadtlander (FiBL Schweiz), Maïke Heuel (ETH Zürich), Florian Leiber (FiBL Schweiz), Christoph Sandrock (FiBL Schweiz), Jens Wohlfahrt (FiBL Schweiz)

Durchsicht: Michael Kreuzer (ETH Zürich)

Redaktion: Sophie Thanner (FiBL Schweiz)

Gestaltung: Sandra Walti, Brigitta Maurer (beide FiBL Schweiz)

Fotos: Thomas Alfvöldi (FiBL Schweiz): Seite 1, 2, 9, 11; Timo Stadtlander (FiBL Schweiz): S. 8, 13, 14 (2), 15; Jens Wohlfahrt (FiBL Schweiz): Seite 4

ISBN: 978-3-03736-420-8

FiBL-Publikationsnummer: 1161

Das Merkblatt kann auf shop.fibl.org kostenlos abgerufen werden.

Alle Angaben in diesem Merkblatt basieren auf bestem Wissen und der Erfahrung der Autorinnen. Trotz grösster Sorgfalt sind Unrichtigkeiten und Anwendungsfehler nicht auszuschliessen. Daher können Autoren und Herausgeber keinerlei Haftung für etwa vorhandene inhaltliche Unrichtigkeiten, sowie für Schäden aus der Befolgung der Empfehlungen übernehmen.

1. Auflage 2021 © FiBL