

Fördermittelgeber:



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Projektträger:



Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich

Projektkonsortium:



Hermetia  
Baruth GmbH

# **Schlussbericht: CIP – Entwicklung einer kostengünstigen Wertschöpfungskette für biobasierte Olefine und Komplexnährmedien auf Basis von Insektenbiomasse für die industrielle Anwendung**

**Harald Wedwitschka (DBFZ)**

**Roman Glowacki (DBFZ)**

**Heinrich Katz (Hermetia Baruth GmbH)**

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum  
gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116  
04347 Leipzig

Tel.: +49 (0)341 2434-112  
Fax: +49 (0)341 2434-133

[www.dbfz.de](http://www.dbfz.de)  
[info@dbfz.de](mailto:info@dbfz.de)

Projektträger: Bundesministerium für Bildung und Forschung  
vertreten durch  
Projektträger Jülich – Forschungszentrum Jülich  
Frau Dr. Drescher-Petersen  
52425 Jülich

Ansprechpartner: DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH  
Torgauer Straße 116  
04347 Leipzig  
Tel.: +49 (0)341 2434-112  
Fax: +49 (0)341 2434-133  
E-Mail: [info@dbfz.de](mailto:info@dbfz.de)  
Internet: [www.dbfz.de](http://www.dbfz.de)  
**M.Sc. Harald Wedwitschka**  
Tel.: +49 (0)341 2434-562  
E-Mail: [harald.wedwitschka@dbfz.de](mailto:harald.wedwitschka@dbfz.de)

Hermetia Baruth GmbH  
An der Birkenpfehlheide 10  
15837 Baruth/Mark  
**Dipl.-Ing. Heinrich Katz**  
Tel.: +49 33704 675 50  
Fax: +49 33704 675 79  
E-Mail: [h.katz@hermetia.de](mailto:h.katz@hermetia.de)  
Internet: [www.hermetia.de](http://www.hermetia.de)

Erstelldatum: 30.09.2021  
Projektnummer DBFZ: 3230065  
Projektnummer Zuwendungsgeber: 031B0338A/B  
Gesamtseitenzahl + Anlagen: 70

i.A. Harald Wedwitschka

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>1 Vorbemerkung .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Kurzdarstellung.....</b>	<b>5</b>
2.1 Aufgabenstellung.....	5
2.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	7
2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens.....	8
2.4 Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand .....	10
2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	13
<b>3 Ausführliche Darstellung.....</b>	<b>14</b>
3.1 Verwendung der Zuwendung im Einzelnen und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen .....	14
3.1.1 AP 1 – Projektkoordination .....	14
3.1.2 AP 2 – Charakterisierung und Auswahl von Substratalternativen .....	16
3.1.3 AP 3 – Prozessoptimierung der Hermetia Larvemast.....	33
3.1.4 AP 4 – Entwicklung neuer Verwertungspfade .....	40
3.1.5 AP 5 – Machbarkeitsstudie – Integriertes Anlagenkonzept .....	51
3.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	61
3.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	61
3.4 Darstellung des voraussichtlichen Nutzens .....	61
3.4.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen .....	61
3.4.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten .....	61
3.4.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten .....	62
3.4.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit .....	62
3.5 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	63
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>67</b>
<b>4 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>68</b>
<b>A 1 Anhang.....</b>	<b>70</b>
A 1.1 Erfolgskontrollbericht.....	70
A 1.2 Berichtsblatt.....	70

## Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
CIP	Competitive Insect Products
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
AP	Arbeitspaket
PPM	Pilot Pflanzenöl Magdeburg e.V.
NfE	N-freien Extraktstoffe
BGA	Biogasanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
DDGS	Trockenschlempe, Dried Distillers Grains with Solubles
FMA	Futtermittelanalytik
FCR	Feed Conversion Ratio [g/g]
FM	Frischmasse
TS	Trockensubstanz [% FM]
oTS	Organische Trockensubstanz [% TS]
OS	Originalsubstanz
TM	Trockenmasse
THG	Treibhausgas
DIN	Deutsches Institut für Normung
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
ISO	Internationale Organisation für Normung
DSC	Dynamische Differenzkalorimetrie

### 1 Vorbemerkung

Der Schlussbericht zum Projekt CIP wurde gemeinsam durch das Deutsche Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (nachfolgend als DBFZ bezeichnet) und die Hermetia Baruth GmbH (nachfolgend als Hermetia bezeichnet) erstellt. Das DBFZ übernahm die führende Koordination im Vorhaben (alle Aufgaben der Koordination, wie Fortschrittsgespräche, gemeinsame Berichterstattung, zentraler Ansprechpartner des Projektträgers). Projektkoordinator war Herr M.Sc. Harald Wedwitschka vom DBFZ. Alle inhaltlichen Informationen zu den Projektergebnissen sind im Folgenden zusammengestellt.

### 2 Kurzdarstellung

Im folgenden Abschnitt wird die Zielstellung des Projekts CIP beschrieben und die einzelnen Forschungsschwerpunkte näher erläutert.

#### 2.1 Aufgabenstellung

Das Projekt CIP zielte darauf ab, die weitere Optimierung der Insektenproduktionstechnologie zu unterstützen, um die ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit des Hermetia Verfahrens zu erhöhen und die Entwicklung und Markteinführung neuer, innovativer und an den Bedarf angepasster Insektenprodukte zu beschleunigen.

Das Vorhaben kann in drei Aufgabenteile untergliedert werden. Das erste Aufgabengebiet umfasste die Entwicklung neuer Verwertungspfade für Insektenprodukte mit Fokus auf biobasierte Olefine und Komplexnährmedien und anderen Anwendungsoptionen mit guten Absatzchancen. Dazu sollten die bestehenden Kontakte zu potentiellen Kunden weiter ausgebaut sowie neue Partner gewonnen werden, die an einer Vermarktung des Verfahrens und der Produkte (Insektenproteine und Fette) interessiert sind. Kundenbedürfnisse aus der Chemie-, Nahrungsmittel-, Futtermittel-, Kosmetik- und Arzneimittel-Branche sollen analysiert und präzisiert werden. Zu klärende Fragen waren die erforderlichen Spezifikationen zur Qualität der Produkte, sowie die Markt- Kosten- und Konkurrenzsituation. Mit Hilfe einer Marktstudie sollten mindestens zwei besonders attraktive Nutzungspfade für Insektenprodukte identifiziert und bis zur Marktreife gebracht werden.

Schwerpunkt des zweiten Aufgabengebietes lag in der Optimierung des Herstellungsprozesses von Insektenprodukten. Hierfür wurden umfassende praktische Untersuchungen zum Einsatz biogener Reststoffe als kostengünstige und nachhaltige Rohstoffalternativen durchgeführt. Neben einem Substratscreening und zahlreichen Fütterungsversuchen sind umfassende Produktanalysen und -anwendungstests durchgeführt worden.

Das dritte Aufgabengebiet umfasste die Konzeptentwicklung für ein integriertes Anlagenkonzept bestehend aus Insektenzucht und Biogasproduktion. Das vorgeschlagene Konzept zielt darauf ab, eine hohe energetische und stoffliche Effizienz durch eine Integration des Insektenherstellungsprozesses in bereits bestehende Biogasanlagen zu unterstützen. Auf diese Weise kann eine maximale Wertschöpfung

aus den organischen Rohstoffen erreicht und der Anfall von teuer zu entsorgenden Abfallprodukten vermieden werden. Darüber hinaus ermöglicht die Verfahrenskombination eine Optimierung der Wärmeenergieversorgung, was zu einer höheren Energieeffizienz des gesamten Insektenherstellungsprozesses führt. In einer qualifizierten Machbarkeitsstudie sollte eine Stoff- und Energiebilanz und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des integrierten Anlagenkonzeptes erstellt werden. Die Studie stellt die Basis für eine zukünftige Umsetzung in die Praxis dar.

Entsprechend der zentralen Hypothese, dass kostengünstig produzierte Insektenprodukte auf Reststoffbasis einen Beitrag zu einer nachhaltigen Bioökonomie leisten können, sollten folgende Aufgaben bearbeitet werden:

- Alleinstellungsmerkmale von Insektenprodukten analysieren, mit dem Ziel die Vermarktung hochwertiger und an den Bedarf angepasster Insektenprodukte zu erleichtern
- Umfassende Analysen der Stoffeigenschaften und der Kosten von Insektenfetten und -proteinen sollen für die gemeinsame Entwicklung neuer Verwertungspfade mit potentiellen Abnehmern genutzt werden
- Es wird eine Effizienzsteigerung und Kostenreduzierung der Insektenproduktion durch den Einsatz nachhaltiger Rohstoffe auf Reststoffbasis und der Integration des Herstellungsprozesses in bestehende Biogasanlagenkonzepte angestrebt
- Umfangreiche Substratuntersuchungen und Fütterungsversuche mit Reststoffen in der Insektenproduktion sind durchzuführen, mit dem Ziel die erreichbaren Abbaugrade zu bewerten

Im Vorhaben sollten folgende Ziele erreicht werden:

- Entwicklung neuer Verwertungspfade für Insektenprodukte (Fokus des Vorhabens auf biobasierte Olefine und Komplexnährmedien und weiteren Optionen mit guten Absatzchancen)
- Der Kontakt zu perspektivischen Kunden sollte etabliert werden. Es sollten Partner gewonnen werden, die an einer Vermarktung des Verfahrens und der Produkte (Insektenproteine und Fette) interessiert sind
- Kundenbedürfnisse aus der Chemie-, Nahrungsmittel-, Futtermittel-, Kosmetik- und Arzneimittel-Branche sollten analysiert und präzisiert werden. Zu klären war beispielsweise der erforderliche Verarbeitungsgrad und die Reinheit der Produkte aus Insektenbiomasse, sowie die Markt- und Konkurrenzsituation um diese Produkte
- Besonders attraktive Nutzungspfade sollten identifiziert werden
- Es sollten mindestens zwei praxisrelevante, kostengünstige und nachhaltige Substratalternativen für die Insektenproduktion bestimmt werden und eine einfache Methode zur Substratbewertung (Futterstandard mit optimalen Futterstoffeigenschaften) entwickelt werden
- Neue Nutzungspfade für Nebenerzeugnisse der Insektenproduktion (z.B. Biogassubstrat, biogener Festbrennstoff, Pilzkultursubstrat) sollten bewertet werden
- Die Verfahrenskette einer integrierten Insektenproduktion am Standort einer Biogasanlage sollte näher untersucht werden. Das Ziel ist die Kreislaufnutzung von Biomasseressourcen durch optimale stoffliche und energetische Nutzung nachhaltiger Rohstoffe.

- Die Möglichkeiten zur technischen Einbindung in bestehende Biogasanlagen sollten abgeklärt werden

## 2.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Hochrechnungen der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO 2018) gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2050 eine Steigerung der Weizenproduktion um 60 % erforderlich wird, um den Nahrungsmittelbedarf von neun Milliarden Menschen zu decken. Bereits heute werden ca. 80% der landwirtschaftlichen Fläche für die Futtermittel- und Nahrungsmittelproduktion eingesetzt. Speziell im Bereich der Eiweißfuttermittel ist von einem stark wachsendem Marktpotenzial alternativer Proteinquellen zu rechnen (van Huis 2013a). Insektenmehle stellen ein vielversprechende Proteinquelle für die Nutztierhaltung und Fischzucht dar (Cáceres et al. 2012). Insektenbiomasse besteht aus hochwertigen Proteinen und Fetten, die neben dem Einsatz als Futtermittel für Nutztiere oder Haustiere einer Vielzahl von Verwertungspfaden zugeführt werden können. Industriell werden z. B. Schmier- und Kraftstoffe in der Petrochemie vorwiegend aus fossilen Rohstoffen (Olefinen) hergestellt; nachwachsende Rohstoffe spielen derzeit nur eine untergeordnete Rolle. Für die Herstellung bio-basierter Olefine auf Basis von Insekten lassen sich dagegen unterschiedliche Biomassen und Reststoffe verwerten. Diese eröffnen ein breites Spektrum hochwertiger, biobasierter Produkte. Durch Zusammenarbeit mit der Hermetia GmbH, einem im Bereich der Insektenzucht tätigen KMU, konnte ein Projektpartner gewonnen werden, durch den die wissenschaftliche Begleitung an bestehenden Pilotanlagen und damit einhergehende Erfahrungen in diesem Bereich sowie eine Übertragung der Ergebnisse in die Praxis sichergestellt war.

Im Nachfolgenden werden die Voraussetzung partnerspezifisch dargestellt.

Das **Deutsche Biomasseforschungszentrum** wurde am 28. Februar 2008 als gemeinnützige GmbH gegründet und ist dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) zugeordnet. Als außeruniversitäre Forschungseinrichtungen im nichtwirtschaftlichen Bereich untersucht das DBFZ die effiziente Nutzung von Biomasse für die stoffliche Nutzung und als regenerativer Energieträger der Zukunft im Rahmen angewandter theoretischer und praktischer Forschung. Im Department Biochemische Konversion arbeiten 35 Wissenschaftler aus den Bereichen Biotechnologie, Umweltwissenschaft, Landwirtschaft, Verfahrenstechnik, Maschinenbau, Ökonomie, Ökologie an der Bewertung und Optimierung bestehender Biomassenutzungskonzepte und an der Entwicklung neuartiger Konversionsverfahren. Das DBFZ verfügt über eine langjährige Erfahrung in der Planung und Durchführung komplexer Forschungsprojekte und kann auf ein ausgezeichnetes Labor und Technikum sowie auf eine großtechnische Forschungsbiogasanlage zurückgreifen, die von einem hochqualifizierten Labor- und Technikumpersonal betreut werden.

Der Fachbereich Biochemische Konversion verfügt über umfassende Kompetenz im Bereich Bioverfahrenstechnik und Prozesssimulation.

Die **Hermetia Baruth GmbH** ist ein Spin-off der Katz Biotech AG, die seit 1992 nützliche Insekten für die biologische Schädlingsbekämpfung züchtet und vertreibt sowie die Verfahren und Prozesse laufend verbessert. Die Hermetia Baruth GmbH war im Jahr 2006 die erste Einrichtung, der der Aufbau einer signifikanten und stabilen Zucht der Fliege *Hermetia illucens* (Black Soldier Fly = BSF) in Europa gelang.

HBG beherrscht den holometabolischen Lebenszyklus der BSF und hat für die Massenproduktion der Larven einen Bioreaktor entwickelt, der weltweit vertrieben wird. Die Aufbereitung der Larvenmasse zu proteinreichem Mehl und Öl wurde ebenfalls von Hermetia entwickelt. Die Mitarbeiter der Hermetia brachten neben dem spezifischen methodischen, wissenschaftlichen und technischen Know-how auch umfangreiche sachbezogene Erfahrungen in das Projekt ein. Am Standort werden jährlich 300 Tonnen Hermtialarven und ca. 170 Tonnen getrocknetes Insektenmehl im Pilotmaßstab produziert. Das für die Produktion des Insektenmehls verwendete Nutzinsekt ist die Schwarze Soldaten Fliege. Nachdem das Insektenmehl entfettet wurde, wird es zurzeit größtenteils im Haustierfutterbereich vermarktet. Angestrebt werden Produktionseinheiten mit einem Jahresausstoß von 1.000 t Protein, 900 t Fett und 2.000 t Dünger.

### 2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt setzte sich aus den folgenden Arbeitspaketen zusammen:

- Arbeitspaket 1: Projektkoordination
- Arbeitspaket 2: Charakterisierung und Auswahl von Substratalternativen
- Arbeitspaket 3: Prozessoptimierung der Insektenproduktion
- Arbeitspaket 4: Entwicklung neuer Verwertungspfade
- Arbeitspaket 5: Machbarkeitsstudie – Integriertes Anlagenkonzept

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Projektstrukturplan, aus dem die mit den einzelnen Arbeitspaketen verbundenen Inhalte hervorgehen. Diese werden anschließend weiter erläutert, so dass ein konkretes Bild der Arbeitsschwerpunkte gezeichnet wird. Das Zusammenwirken der oben aufgeführten AP ist im Projektstrukturplan (Abbildung 1) dargestellt.

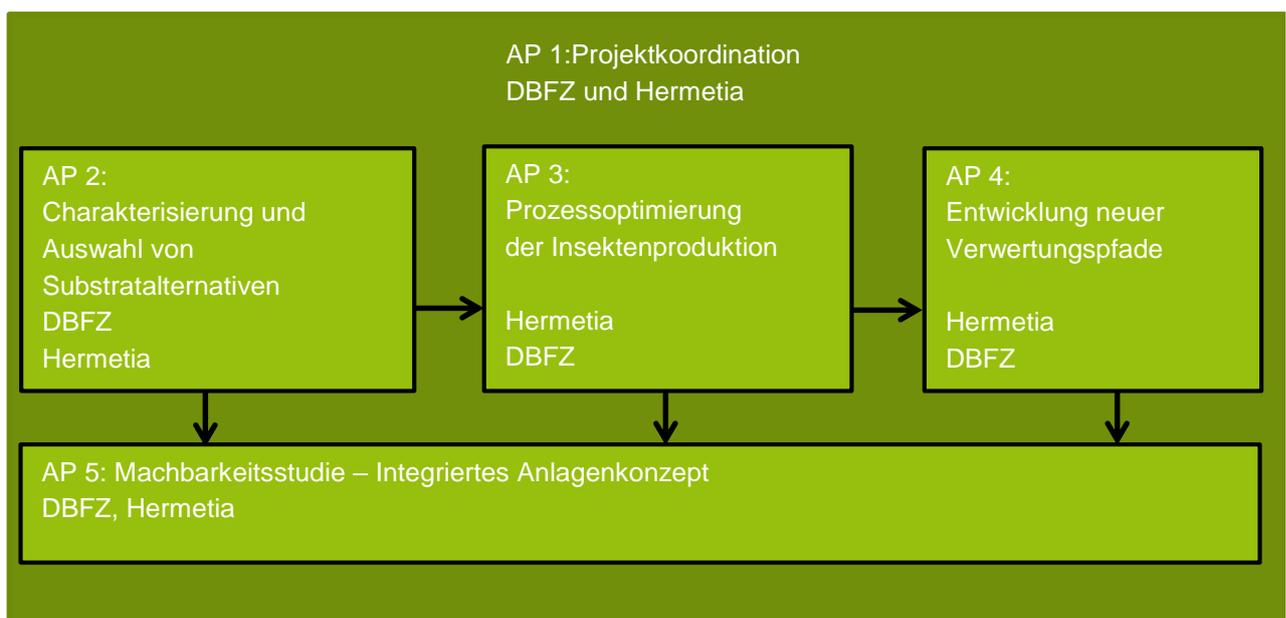


Abbildung 1: Strukturplan

Die Verantwortung hinsichtlich Koordination und Steuerung des Vorhabens lag beim DBFZ, welches damit federführend die Koordination des Projektes, den wissenschaftlichen Austausch von

Projektinformationen sowie die Aktivitäten zum Wissenstransfer und der Öffentlichkeitsarbeit leitete. Das DBFZ organisierte in Kooperation mit dem Projektkonsortium ein Kick-off- sowie mehrere folgende Projekttreffen. Dabei erfolgte eine Beurteilung der Fortschritte und die Planungen der nächsten Projektaktivitäten. Die Projektergebnisse sind im Rahmen von Rund- und Fernsehbeiträgen vorgestellt, und auf Konferenzen und Tagungen mit Vertretern aus Wissenschaft und Praxis diskutiert worden.

Arbeitsschwerpunkte von Hermetia lagen insbesondere in den Arbeitspaketen 2 und 3. Diese umfassten zunächst labortechnische Versuche zur Substratcharakterisierung und orientierende Versuche zur Optimierung des Hermetiaprozesses unter Variation der verwendeten Futterstoffe sowie der Prozessführung. Hierfür wurden im Labormaßstab Versuche zur Insektenmehlgewinnung durchgeführt sowie eine messtechnisch optimierte Laborversuchsanlage errichtet und mit verschiedenen Substraten betrieben. Weiterhin wurden großtechnische Versuche zur Insektenmehlproduktion aus unterschiedlichen Einsatzstoffen und der anschließenden Vergärung der dabei anfallenden Reststoffe im Labormaßstab durchgeführt. Eine Übersicht der Projektaktivitäten in den einzelnen Arbeitspaketen ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Vorhabenstruktur und Aufgabenfelder

„Projektansatz- Reststofffreie biologische Konversion organischer Abfallstoffe in bio-basierte Olefine und Komplexnährmedien mit der Hilfe von Insekten (Schwarze Soldatenfliege)“			
<b>Einsatzstoffe für die Insektenproduktion</b>	<b>Biologische Konversion</b>	<b>Insekten Produkte</b>	<b>Produktionsnebenenerzeugnisse</b>
Reststoffe und Abfallstoffströme (Reststoffe aus dem Brauerei- und Brennereigewerbe, Nebenprodukte der Bioethanol-, Zucker und Lebensmittelindustrie, Nebenenerzeugnisse aus Biogasanlagen)	Biotechnologische Konversion organischer Rohstoffbestandteile in Wertstoffe (Biologische Produktionseinheit Insekten)	Rohprodukte sind Insektenprotein / –fett Zielprodukte: bio-basierte Olefine (Anwendung in der Biokraftstofferzeugung, biologische Schmierstoffe) nicht allergene Proteine (Anwendung als Komplexnährmedien)	Nebenerzeugnisse aus der Insektenproduktion dienen als Einsatzstoff in Biogasanlagen  Biogassubstrate und Gärreste der Biogasanlagen dienen zeitgleich als Rohstoff für die Insektenproduktion
F&E Aktivitäten in diesem Projekt			
AP 2	AP 3	AP 4	AP 5
<i>Charakterisierung und Auswahl von Substratalternativen</i> - Untersuchung der Substrateignung von Reststoffströmen - Charakterisierung der Materialeigenschaften - Konzeptentwicklung für das Rohstoffhandling - Lagerungs- und Konservierungsversuche	<i>Prozessoptimierung der Insektenproduktion</i> - in Bezug auf Effizienz und Wirtschaftlichkeit - Fütterungsversuche auf Basis von AP1, - technische Verfahrensoptimierung - Fütterungsversuche mit neuen Nutzinsekten und Analyse der Produkteigenschaften	<i>Entwicklung neuer Verwertungspfade</i> - Recherche von Nutzungskonzepten für Insektenprodukte - Entwicklung von Vermarktungsstrategien - Analytische Produktcharakterisierung - Downstream processing - Durchführung von Anwendungstests	<i>Machbarkeitsstudie – Integriertes Anlagenkonzept</i> - Konzeptstudie “Biogasanlage mit integrierter Insektenproduktion” - Untersuchungen zur Kaskadennutzung von Reststoffströmen und zur nachhaltigen Kreislaufnutzung von Biomasseressourcen

Für das Projekt war eine Laufzeit vom 01.10.2017 bis 30.09.2020 vorgesehen, wurde aber bis zum 31.03.2021 verlängert. Auf Grund der Corona-Pandemie kam es zu zeitlichen Verzögerungen der praktischen Untersuchungen der Futterstoffeignung im Labor- und Technikumsmaßstab (AP 2 und 3) sowie der darauf aufbauenden Datenauswertung weshalb der ursprüngliche Zeitplan nicht eingehalten werden konnte. Das Projekt wurde daher einmal kostenneutral verlängert.

Peer-Review-Veröffentlichungen wurden noch nicht eingereicht, sind aber geplant und sollen Ende 2021 bei einschlägigen wissenschaftlichen Journals eingereicht werden. Die Meilensteinplanung ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Meilensteinplanung und –erreichungsstand im Forschungsvorhaben CIP

Meilenstein (M)	Erreichungsstand
Kick-off-Treffen	Abgeschlossen (Geplant: 10/2017; Real: 11/2017)
Abschlussbericht	Abgeschlossen (Geplant: 06/2020; Real: 02/2021)
M 1 Auswahl an Substratalternativen abgeschlossen, erste großtechnische Fütterungsversuche begonnen	Abgeschlossen (Geplant: 10/2018; Real: 10/2018)
M2: Großtechnische Fütterungsversuche abgeschlossen, Produkt- und Reststoffuntersuchungen werden durchgeführt	Abgeschlossen (Geplant: 10/2019; Real: 02/2020)
M 3: Arbeitspaket vier ist abgeschlossen, neue Produktverwertungsmöglichkeiten sind entwickelt	Abgeschlossen (Geplant: 03/2020; Real: 10/2020)
M4: Biogasbildungspotential der Reststoffe ist bestimmt und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Gesamtkonzeptes wird geprüft	Abgeschlossen (Geplant: 05/2020; Real: 10/2020)
M5: Die praktischen und theoretischen Arbeiten sind abgeschlossen und Ergebnisbericht wird verfasst	Abgeschlossen (Geplant: 06/2020; Real: 01/2021)

## 2.4 Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand

Die weltweit wachsende Nachfrage nach tierischen Produkten führt zu einem steigenden Bedarf an kostengünstigen und hochwertigen Proteinquellen für die Futtermittelproduktion (UN 2019). Konventionelle Proteinquellen im Tierfuttermittelbereich sind beispielsweise Soja und Fischmehl. Eine alternative Futterproteinquelle stellen industriell gezüchtete Insekten dar (van Huis 2013b). Seit jeher werden Insekten vom Menschen als Futtertiere und auch als Nahrungsmittel genutzt. Aus gutem Grund, denn sie enthalten hochwertige Proteine, Fette und ein breites Spektrum an Wirkstoffen und bioaktiven Substanzen. Industriell gewonnenes Insektenmehl wurde bereits erfolgreich als Nutztier-, Haustier- und Aquakulturfutter getestet und kann nachweislich konventionelle Futtermittel anteilig ersetzen (Stamer 2015, 2009; Sealey et al. 2011; Ottoboni et al. 2017; Newton et al. 1977; Kroeckel et al. 2012). Insekten sind in der Lage, unterschiedlichste organische Substrate in Insektenbiomasse mit hohem Proteinanteil und hochwertigen Aminosäurespektrum umzusetzen. Ernährungsphysiologisch ist Insektenprotein auch für die menschliche Ernährung geeignet und die Klimawirkung der Insektenproteinerzeugung fällt im Vergleich zur konventionellen tierischen Proteinerzeugung besser aus. Wasserverbrauch, Flächenbedarf, benötigte Futtermittelmengen und Schlachtverluste sind bei der Insektenzucht in der Regel geringer als bei der Rinder- und Schweinemast und Fischproduktion. In Europa ist der Verzehr von Insekten allerdings

kaum kulturell verankert und die Verbraucherakzeptanz gegenüber Insekten als Nahrungsmittel vergleichsweise gering.

Vorbehalte gegenüber dem Einsatz von Insekten als Tierfuttermittel gibt es hingegen kaum. Prognosen sehen das größte Marktpotenzial für Insekten als Futter im Aquakultur- und Haustierfutterbereich gefolgt von Nutztierfutter für Geflügel und Schweinemast (Jong and Nikolik. 2021). Die Insektenproteinerzeugung als Tierfuttermittel steht allerdings vor rohstoffseitigen Herausforderungen, da in Europa gewerblich gezüchtete Insekten nur mit futtermitteltauglichen Einsatzstoffen gefüttert werden dürfen. Rest- und Abfallstoffe sind für die Insektenfütterung nicht zugelassen. Bei der Auswahl der Futtermittel für die Insektenzucht muss bedacht werden, dass Insekten eine weitere trophischen Ebene in der Prozesskette vom Rohstoff zum Futtermittel darstellen. Hochwertige Tierfuttermittel kommen für eine nachhaltige Futterproteingewinnung auf Basis von Insekten kaum in Frage. Die industrielle Insektenzucht bietet allerdings die Möglichkeit, futtermitteltaugliche Einsatzstoffe mit kurzer Haltbarkeit, hohen Transportkosten (hoher Wassergehalt oder geringes Schüttgewicht) und geringer Eignung als Nutztierfutter (geringe Schmachhaftigkeit oder geringer Energiegehalt) in ein hochwertiges Eiweißfutter umzuwandeln. Weiterhin ergeben sich vielfältige Vermarktungsmöglichkeiten für Insektenprodukte in höheren Preissegmenten. Neben dem Hauptprodukt der Insektenzucht dem Insektenprotein, können Koppelprodukte wie Insektenfett und Insektenchitin einer Vielzahl stofflicher Wertungspfade zugeführt werden, z. B. in der Chemie- und Kosmetikindustrie. Insekten könnten darüber hinaus bei der Behandlung organischer Abfälle eingesetzt werden und dabei Insektenprodukte für technische Anwendungen liefern. Hierfür muss sich allerdings die derzeitige Gesetzeslage ändern. Futterreste der Insektenzucht stellen nach ersten Untersuchungen ein energiereiches Biogassubstrat dar und ermöglichen die Nutzung der Reststoffe der Insektenzucht für die Erzeugung biobasierter Energieträger (Biogas/Biomethan). Die Insektenzucht stellt einen vielversprechenden Baustein einer zukünftigen Bioökonomie dar, denn vor dem Hintergrund begrenzter Ressourcen rückt die Mehrfachnutzung und Kreislaufführung von Biomasse in Nutzungskaskaden zunehmend in den Fokus. Reststoffe der Insektenzucht werden für gewöhnlich als organische Düngemittel und Bodenzuschlagsstoffe vermarktet. Weitere Anwendungsmöglichkeiten bestehen z.B. als Rohstoff für die Bioenergieerzeugung, Futterstoff für Zierfische oder Pilzkultursubstrat.

### Industrielle Insektenzucht

Der gesamte Prozess der Hermetiaproduktion kann in zwei Produktionsstufen untergliedert werden, wobei in der ersten Stufe der Insektenproduktion die Insekteneigewinnung und in der zweiten Stufe der Larvenproduktion die Aufzucht der Junglarven im Vordergrund stehen (Caruso et al. 2013). In Abbildung 2 ist eine schematische Darstellung des Hermetiaverfahrens gezeigt. Während der Insektenproduktion werden die Hermetiaeeier gesammelt, die in der Larvenproduktion zur Aufzucht der Larven und Puppen eingesetzt werden. Ein Teil der Larven entwickelt sich zu Hermetiapuppen, die in der Insektenproduktion zu geschlechtsreifen Hermetiafliegen heranwachsen und neue Hermetiaeeier ablegen. Die übrigen Hermetialarven, die nicht in die Insektenproduktion gehen, werden vor der Verpuppung aus der Larvenproduktion entnommen und zu Hermetiamehl weiterverarbeitet. Der Einsatz kostengünstiger Futterstoffe ist im Besonderen im Produktionsschritt der Larvenproduktion von wirtschaftlicher Bedeutung, denn für die Aufzucht der Junglarven sind große Mengen an Substrat erforderlich.

Die großtechnische Produktion von Insektenprodukten ist eine neue Technologie. Es gibt bislang nur wenige Unternehmen weltweit mit Insektenproduktionskapazitäten im industriellen Maßstab. Die am häufigsten gezüchteten Futterinsekten sind Mehlwurm, Grille und Schwarze Soldatenfliege (*Hermetia Illucens*). Speziell *Hermetia* gilt als relativ robust in der Zucht und ist als Futtergeneralist in der Lage,

verschiedenste Biomasse in hochwertiges Insektenprotein umzusetzen. Das getrocknete Mehl der Hermetialarven besteht zu 35 - 65% TS aus Protein und 30 - 45% aus Fett. In einzelnen Ländern außerhalb der EU sind Insektenmehle bereits seit längerem als Nutztierfuttermittel zugelassen. So existiert bereits ein Markt für Insektenmehle z.B. in Nordamerika und dem ostasiatischen Raum. In Europa sind gerade sieben Firmen dabei, jeweils eine größere Produktionsanlage für die Produktion von Larven der Hermetia Fliege zu konzipieren und zu bauen. Am weitesten in der Entwicklung fortgeschritten sind die Firmen Protix NL, Koppert NL, Innovafeed FR, Nextalim FR, und außerhalb Europas die Firmen Enterra Kanada, Agriprotein Südafrika, Enviroflight USA. Einige Firmen sind aus China und Südostasien bekannt, Informationen über deren Entwicklungsstand sind aber nur limitiert vorhanden. Als Rohstoffe werden in Nordamerika beispielsweise organische Abfälle regionaler Landwirte, Lebensmittelhändler und Lebensmittelproduzenten verwendet. Die verwendeten Einsatzstoffe müssen allerdings Tierfuttermitteltauglich sein. Insekten werden als getrocknete Insektenlarven und trockenes Insektenmehl als Futtermittel und Alternative zu Fischmehl und Sojaschrot vermarktet. Das Insektenfett wird zum Teil als Tierfutter für Aquakultur, Geflügel und Haustiere gehandelt, eignet sich aber auch für verschiedenste technische Anwendungen. Reststoffe aus der Larvenmast werden außerhalb der EU bereits als natürlicher Dünger im Bereich der ökologischen Pflanzenproduktion vertrieben.

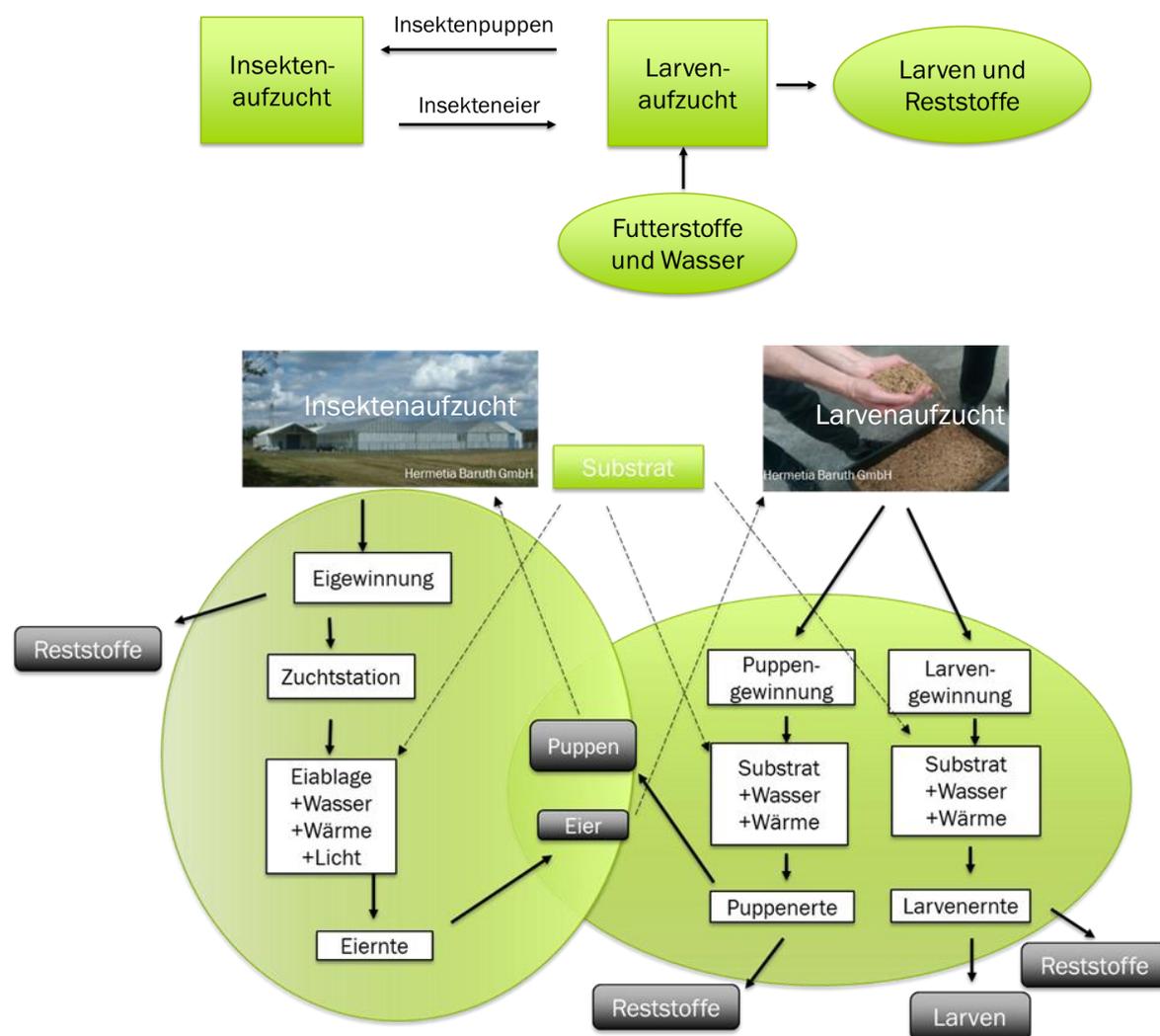


Abbildung 2: Schematische Darstellungen des Hermetia-Produktionsverfahrens

Neben der Hermetia Baruth GmbH gab es in Deutschland im Projektzeitraum keinen industriellen Insektenhersteller, sondern lediglich kleinere Versuchsanlagen. Hermetia ist ein Spin-off der Katz Biotech AG, die seit 1992 nützliche Insekten für die biologische Schädlingsbekämpfung züchtet und vertreibt sowie die Verfahren und Prozesse laufend verbessert. Hermetia war im Jahr 2006 die erste Einrichtung, der der Aufbau einer großtechnischen und stabilen Zucht der Fliege Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) in Europa gelang. Hermetia beherrscht den holometabolischen Lebenszyklus der Black Soldier Fly und hat für die Massenproduktion der Larven einen Bioreaktor entwickelt, der weltweit vertrieben wird. Ein Verfahren zur Aufbereitung der Larvenmasse zu proteinreichem Mehl und Öl wurde ebenfalls von der Hermetia entwickelt. Der „proof-of-concept“ ist in Baruth zu besichtigen. Der Hauptabsatzmarkt der gewonnenen Insektenbiomasse liegt momentan im Haustierfuttermittelbereich. Die Rechtslage in der EU erlaubt momentan noch nicht den Einsatz von Insektenmehlen in Nutztierfuttermitteln. Es wird in den nächsten zwei Jahren mit der Zulassung als Nutztierfutter gerechnet. Als Futtermittel für Fischzucht und Aquakultur ist Hermetiamehl bereits zugelassen, darüber hinaus ist der Einsatz der Larven als Lebendfutter in der Geflügelmast erlaubt. Ein weiterer wichtiger Markt für Insektenproteine stellt der Haustierfuttermittelmarkt dar.

### 2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

#### Pilot Pflanzenöl Magdeburg e.V.

Der Pilot Pflanzenöl Magdeburg e.V. (PPM) ist ein privates, gemeinnütziges Forschungs- und Entwicklungsinstitut. Mitglieder des PPM sind Unternehmen oder Personen, die sich mit Pflanzenzüchtung, Pflanzenölproduktion und -verarbeitung, Biokraftstoffen und Biochemie sowie mit dem Maschinen- und Anlagenbau für diesen Industriesektor befassen. PPM betreibt Deutschlands erste experimentelle Pilotanlage zur Gewinnung und Verarbeitung von Ölen/Fetten und Proteinen aus nachwachsenden Rohstoffen. Die Belegschaft von PPM besteht derzeit aus 20 Mitarbeitern. Darunter sind Chemiker, Ingenieure und Laboranten. PPM gliedert sich in die Geschäftsbereiche Öle & Fette und Proteine. Bei der Arbeit mit Ölsaaten hat PPM eine Expertise in der Saatgutaufbereitung, Saatölraffination und -reinigung sowie in der chemischen Saatölmodifikation für regionale und exotische Ressourcen erworben. Im Projekt CIP wurde die Firma PPM mit einem Unterauftrag beauftragt, der Versuche zur Abtrennung und Aufreinigung von Insektenfett und -protein beinhaltete sowie die stoffliche Charakterisierung der gewonnenen Produkte.

#### DANICO Biotech GmbH

Die Firma Danico GmbH (Danico) entwickelt und vertreibt biogene Schmierstoffe, Bio-Hydrauliköle, Bio-Getriebeöle, Bio-Schmieröle und Bio-Kettenöle und ist Kunde für biobasierte Öle aus verschiedenen Quellen. Die DANICO GmbH verfügt über ein umfassendes Know-how in der Produktentwicklung von Hochleistungs-Bioschmierstoffen und versteht sich als Entwicklungs- und Vertriebsunternehmen und als Anbieter von nachhaltigen Lösungen in der Schmierstoffindustrie. Im Projekt CIP wurde mit Danico erste Überlegungen angestellt, in wie weit Insektenfett für die Herstellung hochwertiger Bioschmierstoffprodukte in Frage kommt und welche Aufbereitungsschritte für das Rohöl erforderlich wären.

## 3 Ausführliche Darstellung

### 3.1 Verwendung der Zuwendung im Einzelnen und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen

Die Zuwendungen wurden entsprechend der Zielsetzung im Projektantrag eingesetzt. Im Folgenden sollen anhand der Arbeiten in den einzelnen AP die Verwendung der Zuwendung dargelegt werden. Das Verbundvorhaben „Wettbewerbsfähige Insektenprodukte“ (CIP) hatte drei wesentliche Ziele:

- Reduzierung der substratseitigen Produktionskosten der Hermetia-Insektenzucht
- Optimierung des Herstellungsprozesses und Weiterentwicklung der bestehenden Verwertungspfade für Insektenprodukte
- Optimierung des Stoffstrom-, Energie- und Reststoffmanagements der Insektenzucht durch ein integriertes Anlagenkonzept als Add-On für bestehende Biogasanlagen

An den dafür notwendigen Untersuchungen waren das DBFZ als Forschungskoordinator und Hermetia als Praxispartner für die großtechnische Gewinnung von Insektenprodukten sowie PPM und Danico als Berater für das Aufgabenfeld der Produktentwicklung der Bioolefine beteiligt.

Im Nachfolgenden werden die Ergebnisse der zwei zugehörigen Teilvorhaben zusammengefasst.

#### 3.1.1 AP 1 – Projektkoordination

##### Zielstellung

Das AP 1 beinhaltet das allgemeine Projektmanagement (Projekttreffen, Kommunikation, Ausschreibung Unterauftrag, Mietvertrag), die Einhaltung der Berichtspflichten sowie Maßnahmen zur Wissenschaftskommunikation und Öffentlichkeitsarbeit.

##### Vorgehen

Zur Sicherstellung des Projektfortschrittes und der Abstimmung der weiteren Schritte fanden regelmäßig Projekttreffen statt:

- In Absprache mit den Projektpartnern Hermetia Baruth GmbH (Heinrich Katz) wurde der 25.10.2017 als Termin für das Auftakttreffen festgelegt. Dieses fand planmäßig am zuvor festgelegten Termin in den Räumlichkeiten des DBFZ statt. Teilgenommen haben seitens der Projektpartner Harald Wedwitschka, Jürgen Pröter (DBFZ) und Heinrich Katz (Hermetia Baruth GmbH).
- Der Kooperationsvertrag zwischen dem DBFZ und Hermetia ist am 24.11.2017 geschlossen worden.
- Erstellung der Projekt-Homepage ([www.dbfz.de/cip](http://www.dbfz.de/cip)) und Freischaltung im Januar 2018
- Organisatorisches Treffen (DBFZ, Hermetia) in Räumlichkeiten des DBFZ in Leipzig am 29.01.2018 → Organisation der Futterstoffe und Abstimmung zur Methodik für Versuche in AP 2 und 3

- Organisatorisches Treffen (DBFZ, Hermetia) in Räumlichkeiten der Hermetia in Baruth am 29.06.2018 → Organisation weiterer Futterstoffe und Abstimmung zur Auswertung der Versuche in AP 2 und 3
- Im zweiten Quartal des Jahres 2019 fand eine weitere Projektbesprechung am ITC in Berlin Neukölln statt, bei der das DBFZ durch Herrn Wedwitschka und Dr. Pröter vertreten war und die Hermetia Baruth GmbH durch Herrn und Frau Katz sowie Herrn Reda. Neben der Vorstellung der bisherigen Ergebnisse des Arbeitspaketes 2 und 3 sind die nächsten Schritte in der Projektbearbeitung besprochen worden. Mit dem Ziel die Übertragbarkeit der Ergebnisse der Labor- und Technikumsversuche zu verbessern, sind parallele standardisierte Fütterungsversuche an den Firmenstandorten beschlossen worden.
- Organisatorisches Treffen (DBFZ, Hermetia) Online, im vierten Quartal 2019 → Organisation weiterer Futterstoffe und Abstimmung zur Auswertung der Versuche in AP 2 und 3
- Organisatorisches Treffen (DBFZ, Hermetia) Online, im ersten Quartal → Organisation der Probenahmen für externe Produktanalysen AP4, gemeinsame Datenauswertung und Interpretation
- Organisatorisches Treffen (DBFZ, Hermetia) Online, drittes Quartal 2020 → gemeinsame Datenauswertung und Interpretation AP 4 und 5, Abstimmung zu Folgeprojektanträgen
- Projektmitarbeiter der Hermetia Baruth GmbH und des DBFZ haben an der „INSECTA 2019 – International Conference on Insects as Food, Feed and Non-Food“ teilgenommen. Herr Heinrich Katz stellte als Key-Note Speaker die Chancen von Insektenprodukten und das Projekt Wettbewerbsfähige Insektenprodukte (CIP) vor. Mit über 270 Teilnehmern aus 38 Ländern zählt die INSECTA zu einer der wichtigsten internationalen Fachveranstaltungen zum Thema Insektenprodukte
- Im Berichtszeitraum fand eine weitere Projektbesprechung am ITC in Berlin Neukölln und ein Projekttreffen am DBFZ in Leipzig statt, bei der das DBFZ durch Herrn Wedwitschka und Dr. Pröter vertreten waren und die Hermetia Baruth GmbH durch Herrn und Frau Katz und Herrn Reda. Neben der Vorstellung der bisherigen Ergebnisse des Arbeitspaketes 2 und 3 sind die nächsten Schritte in der Projektbearbeitung und die Antragsskizze für die zweite Projektphase besprochen worden.

Weitere Organisatorische Projektarbeiten im AP1: Im Rahmen des Vorhabens wurde durch Hermetia ein Unterauftrag an den Pilot Pflanzenöl Magdeburg e.V. (PPM) vergeben. Der PPM führte Untersuchungen zur Insektenfettreinigung und Materialcharakterisierung von Insektenfett und Insektenprotein durch.

Es wurden an den Fachkonferenzen „Ressourceneffizienz BW“ in Leinfelden, Baden-Württemberg, „European Forum for Industrial Biotechnology & the Bioeconomy (EFIB)“ in Brüssel, „Insectinov3“ in Paris, Frankreich und bei der „Farm & Food“ in Berlin Fachvorträge durch Heinrich Katz oder Kirsten Katz gehalten. Weiterhin erfolgte die Teilnahme an der Konferenz des IPIFF (International Platform of Insects for Food and Feed) in Brüssel, mit einer speziellen Einladung der Generaldirektion Landwirtschaft (DG Agri) die Möglichkeiten der Insektenzucht und den neuen Wertschöpfungsketten darzustellen.

Am 12. November 2019 wurde von der Generaldirektion Konsumentensicherheit (DG Sante) ein EU-audit bei der Hermetia Baruth GmbH durchgeführt. Beteiligt waren Vertreter des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), des Ministerium der Justiz und für Europa und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (LMJEV) und der Landesveterinär sowie die lokalen Behörden für das Veterinärwesen und die Futtermittelsicherheit. Die Bedeutung der neuen Wertschöpfungsketten wurde

dabei deutlich und von den Auditoren positiv bewertet. Der Abschlussbericht dazu ist noch nicht veröffentlicht, einzelne vorab zu erhaltende Ausführungen lassen aber auf eine äußerst positive Bewertung der Ansätze der Hermetia Baruth GmbH schließen.

Im Berichtszeitraum wurden mehrere Projektvideos veröffentlicht, die durch Filmteams des MDR und des BMBF Auftritts Bioökonomie.de in Baruth und Leipzig angefertigt worden.

#### 3.1.2 AP 2 – Charakterisierung und Auswahl von Substratalternativen

Die Herstellungskosten Insektenbasierter Produkte sind in großem Maße von den Rohstoffkosten abhängig. Im Arbeitspaket 2 sollte die Eignung kostengünstiger Rohstoffquellen als Nährsubstrat für die Insektenproduktion untersucht werden. Aufbauend auf den Ergebnissen des AP2 sollten in AP3 Fütterungsversuche mit ausgewählten Substratalternativen durchgeführt werden.

Die Hermetia Baruth GmbH ist der Know-how-Träger des Insektenproduktionsprozesses mit jahrelanger Erfahrung in der Produktion und Vermarktung von Insektenprodukten. Derzeit setzt Hermetia Getreidemehl als Nährsubstrat in der Insektenproduktion ein, da es hohe Produktausbeuten ermöglicht und gleichbleibende Materialeigenschaften aufweist. Durch den Einsatz alternativer Nährsubstrate auf Reststoffbasis könnten die Einsatzstoffseitigen Kosten um 50 bis 75% reduziert werden, was zu einer deutlichen Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens führen würde. Die Verwendung von Reststoffen, die nicht in Konkurrenz zu Lebensmittel- oder Futtermittel stehen, würde darüber hinaus zu einer verbesserten Nachhaltigkeit und Akzeptanz von Insektenprodukten führen.

##### Vorgehen

Anhand einer Auswahl von acht Einzelsubstraten und sechs zusammengestellten Substratmischungen wurden nähere Untersuchungen zu den Materialeigenschaften und zur Nährsubstrateignung durchgeführt. Zur Beschreibung der Substrate und der gewählten Mischungen wurden Untersuchungen der physikalischen und biochemischen Materialeigenschaften durchgeführt. Diese umfassten Dichtemessungen z.B. Schütt-, Trocken/Feuchtdichte, (organischer) Trockensubstanzgehalt, Futterwert- und Nährstoffuntersuchungen. Ausführliche Informationen zu den Analysemethoden sind in der Messmethodensammlung Biogas (Liebetau et al. 2015) festgehalten.

Die genannten Untersuchungen wurden für jedes Substrat und jede Substratmischung durchgeführt und durch labortechnische Voruntersuchungen erfolgte anschließend eine Evaluierung der Substrateignung. Das Arbeitspaket beinhaltete neben dem Einsatzstoffscreening und den Materialcharakterisierungstest die Untersuchung des optimalen Einsatzstoffhandlings. Dazu wurden Laborversuche zur Einsatzstoffvorbehandlung, Materiallagerung und Konservierung durchgeführt.

Auf Basis der Ergebnisse des AP 2 wurden die Substratmischungen für großtechnische Untersuchungen im AP 3 zusammengestellt und mit Hilfe der im AP 2 etablierten Methoden untersucht.

##### Untersuchte Futterstoffe für die Hermetiazucht

Wie in der Einleitung beschrieben, kommen als Futterstoffe für die gewerbliche Insektenzucht ausschließlich Rohstoffe in Futtermittelqualität in Frage. In einer umfassenden Literaturrecherche wurden vielversprechende Rohstoffe bestimmt und eine Auswahl für Materialcharakterisierungsversuche

und Futterstofftests getroffen. Darüber hinaus wurden potenzielle Rest- und Abfallstoffe recherchiert, die als Futterstoffe für die Insektenzucht in Frage kommen, die auf die Gewinnung technischer Produkte abzielt. Im Fall einer Änderung der gegenwärtigen gesetzlichen Lage, könnte die Nutzung von Abfallstoffen als Futterstoffe für die Insektenzucht relevant werden. Im Arbeitspaket 2 wurden folgende Futterstoffe mit Futtermittelqualität untersucht: Koppelprodukte der Bioethanolherstellung (Schlempe und DDGS), Brauereinebenprodukte (Biertreber), Müllerei-Nebenprodukte (Kleie), Pflanzensilage (Maissilage, Zuckerrübenblattsilage), Getreidestroh. Außerdem wurden folgende Reststoffe untersucht: Reststoffe der Insektenzucht (Insektenfraß), Wirtschaftsdünger (Hühnertrockenkot), Gärreste aus Biogasanlagen, Wasserpflanzen u.a. Wasserpest (*Elodea Nutallii*), Wasserlinse (*Lemna Minor*), Wasserrose (*Nymphaea alba*), Tausendblatt (*Myriophyllum*)

Entscheidungskriterien für die Futterstoffauswahl waren z.B. ganzjährige Verfügbarkeit, relevante Rohstoffmengen und hochwertige Futtermiteleigenschaften. Zahlreiche weitere Rohstoffe kommen als Einsatzstoffe für die Insektenzucht in Frage, wurden im Rahmen des Projekts CIP allerdings nicht betrachtet.

**Getreideschlempe** und **DDGS** wurde als Testsubstrat ausgewählt, da sie als Tierfuttermittel in relevanten Mengen ganzjährig zur Verfügung stehen und sich durch günstige Futtermiteleigenschaften auszeichnen. Schlempe fällt als Koppelprodukt der Bioethanolherzeugung aus Getreide an. Bioethanol wird den Benzinsorten Super Plus, E5 und E10 beigemischt und trägt zur Erhöhung des erneuerbaren Kraftstoffanteils bei. Bioethanol wird in Deutschland vorwiegend aus Zuckerrüben und den Getreidesorten Weizen, Roggen und Triticale gewonnen. Die im Getreide enthaltene Stärke wird in einem Fermentationsprozess durch alkoholische Gärung zu Alkohol überführt. Nach der Destillation des Alkohols fällt der ausgegorene Destillationsrest, die sogenannte Schlempe als Nebenprodukt an. Nach Angaben des Bundesverbands der deutschen Bioethanolwirtschaft e.V. wurden im Jahr 2017 ca. 522.000 Tonnen Bioethanol aus Getreide produziert, woraus sich ein jährliches Potential von ca. 3,5 bis 8,25 Mio. Kubikmeter Getreideschlempe in Deutschland abschätzen lässt. Ein Teil der Schlempe wird bereits im Herstellungsprozess recycelt. Schlempe wird darüber hinaus als flüssiges Futtermittel gehandelt. Allerdings ist die Transportwürdigkeit des flüssigen Reststoffs begrenzt, aufgrund des hohen Wasseranteils von ca. 85%. Ein Großteil der anfallenden Schlempe wird unter hohem Energieaufwand getrocknet und als Eiweißfuttermittel (DDGS) vermarktet. Getreideschlempe und DDGS enthält neben nicht umgesetzten Stärke- und Zuckerresten größere Mengen an Proteinen sowie durch die Hefegärung entstandenes Vitamin B, weshalb sie sich gut als Ergänzungsfutter in der Milchkuhhaltung und Schweinemast eignet. Flüssigschlempe wird mit ca. 25 €/t Frischmasse gehandelt, der Endpreis ist abhängig von Trockensubstanzgehalt. Zusätzlich müssen anfallende Transportkosten vom Bioethanolwerk zum Abnehmer und Lagerungs- bzw. Konservierungskosten berücksichtigt werden.

**Biertreber** ist ein Koppelprodukt der Bierherstellung und wird vorwiegend als eiweißreiches Tierfuttermittel genutzt. Biertreber fällt in jeder Brauerei in relevanten Mengen ganzjährig an. Aufgrund des hohen Wassergehalts von ca. 85% ist die Transportwürdigkeit und Lagerfähigkeit im Vergleich zu trockenen Futterstoffen gering. Die in der Braugerste enthaltene Stärke wird im Brauprozess durch alkoholische Gärung zum Großteil in Alkohol überführt. Nach der Filtrierung der Maische bleibt ein eiweißreiches Futtermittel zurück. Biertreber enthält neben nicht umgesetzten Stärke- und Zuckerresten größere Mengen an Proteinen sowie durch die Hefegärung entstandenes Vitamin B, weshalb sie sich gut als Ergänzungsfutter in der Milchkuhhaltung und Schweinemast eignet. Flüssigschlempe wird mit ca. 35 €/t Frischmasse gehandelt, ohne Berücksichtigung weiterer Kosten für Transport und Lagerung.

**Kleie** ist ein Müllereinebenprodukt, das beim Mahlen von Getreide anfällt und aus Schalen, Spelzen und Resten von Mehl besteht. Weizenkleie wird als Futtermittel für Pferde, Rinder oder Schweine genutzt. Es enthält Eiweiß, wenig Stärke und einen hohen Anteil fermentierbarer Fasern. Kleie ist problemlos Lager- und Transportfähig. Typische Futtermittelpreise für Weizenkleie liegen im Bereich von ca. 45 €/t Frischmasse.

Am Beispiel von **Maisilage** und **Zuckerrübenblattsilage** wurde die Eignung landwirtschaftlicher Pflanzensilagen als Futtermittel für die Insektenzucht getestet. Maisilage ist eine Silage aus der ganzen Maispflanze mit einem Wassergehalt von ca. 35 bis 40 % und wird als Grundfutter für Wiederkäuer und als Biogassubstrat genutzt. Maisilage wird in Fahrsilos ganzjährig gelagert. Der Preis pro Tonne Maisilage ohne Transport und Lagerung liegt bei ca. 35 €/t Frischmasse. Zuckerrübenblattsilage ist ein Futtermittel aus den silierten Blättern der Zuckerrübe. Aufgrund des hohen Risikos von Verschmutzungen der Blätter wird Rübenblattsilage in Milchviehrationen für Hochleistungskühe kaum eingesetzt. Versuchsweise wird die Silage auch als Biogassubstrat genutzt. Der Preis für eine Tonne Zuckerrübenblattmus ohne Transport und Lagerung liegt im Bereich von ca. 4,50 €/t Frischmasse.

**Stroh** wird als Raufutter und Einstreu in der Nutztierhaltung eingesetzt sowie als Zuschlagsstoff bei der Herstellung von Pilzkutursubstraten und als Rohstoff für die Biokraftstoffherstellung. Stroh wird in Form von Strohballen oder Quadern transportiert und ist trocken ganzjährig lagerfähig. Die Preise für Weizenstroh rangieren im Bereich von ca. 80 bis 100 €/t FM.

**Hühnertrockenkot** fällt in der Geflügelhaltung an, die weltweit die mit Abstand am stärksten wachsende Nutztierhaltungsform ist. In Deutschland stieg die Gesamtzahl der Hühner im Produktionskreislauf von 109 Millionen Tieren im Jahr 2003 auf ca. 158 Millionen Tiere im Jahr 2016. Die wachsenden Tierzahlen führen zu einem Anstieg der prozessbedingten Abfallstoffproduktion. Das Biomassepotenzial für Hühnerkot von Legehennen wird auf bis zu 5 Mio. t/a geschätzt, plus weitere 1,3 Mio. t/a von Hühnern zur Eierproduktion, Junghennen und Masthähnchen. Hühnertrockenkot wird üblicherweise als landwirtschaftlicher Dünger verwendet, der reich an Stickstoff, Kalium, Phosphat, Kalzium, Magnesium und Schwefel ist. In Regionen mit hohem Viehbestand ist jedoch ein umfassendes Düngemangement erforderlich, um das Risiko der Nitratverschmutzung von Oberflächen- und Grundwasser sowie der Emission von gasförmigem Ammoniak (NH<sub>3</sub>) aus der Lagerung und Ausbringung von Hühnerkot zu verringern. Im geringen Umfang wird Hühnerkot als Biogassubstrat verwendet. Im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Reststoffen wie Rinder- und Schweinegülle ist Hühnerkot mit einem Wassergehalt zwischen 30 bis 50 % verhältnismäßig trocken, weshalb geringere Lager- und Transportkosten anfallen. Der Preis für eine Tonne Hühnertrockenkot ohne Transport und Lagerung variiert stark in Abhängigkeit von der Region. Speziell in Regionen mit hoher Viehdichte werden zum Teil Entsorgungserlöse gezahlt und das Nährstoffmanagement an dem Abnehmer übergeben. Die ermittelte Preisspanne bewegt sich im Bereich von -100 bis 25 €/t Frischmasse.

**Insektenfraß** fällt als Reststoff der Hermetiazucht an und besteht hauptsächlich aus Insektenkot und unverdauten Futterresten. Genutzt wird Insektenfraß hauptsächlich als düngewirksamer Bodenzuschlagsstoff. Außerhalb der EU wird Insektenfraß bereits im Biolandbau eingesetzt. Abhängig vom Prozess und den verwendeten Einsatzstoffen kann die stoffliche Zusammensetzung stark schwanken, weshalb die Reststoffpreise am Markt nur schwer beziffert werden können.

Als **Gärrest** wird der flüssige oder feste Rückstand bezeichnet der im Biogasprozess anfällt. Als Einsatzstoffe setzen die meisten der ca. 9000 Biogasanlagen in Deutschland Reststoffe tierischen

Ursprungs wie z. B. Gülle und Mist sowie Anbaubiomasse ein. Gärrest wird meist als landwirtschaftlicher Dünger verwendet aufgrund des hohen Gehalts an Nährstoffen. Ähnlich wie beim Hühnertrockenkot können die Kosten pro Tonne Gärrest regional stark schwanken und so können in Gebieten mit hohen Nährstoffaufkommen sogar Entsorgungserlöse erzielt werden.

**Wasserpflanzen** sind ein wichtiger Bestandteil eines Gewässers. Sie liefern Futter für aquatische Herbivoren, sind ein Habitat für Fische und Wasservögel und führen dem Gewässer Sauerstoff zu und entziehen Schadstoffe und Nährstofffrachten. Allerdings vermehren sie sich oft rasant, wodurch die Flachwasserbereiche besiedelter Seen in kurzer Zeit vollkommen zuwachsen können. Eine massenhafte Vermehrung von Wasserpflanzen kann zu Problemen führen, wenn die Nutzung des Gewässers z.B. für den Tourismussektor, das Fischereigewerbe, den Hochwasserschutz oder Wasserkraftproduktion erschwert wird. In zahlreichen deutschen Stillgewässern müssen Wasserpflanzen entweder vom Gewässerrand oder mittels Mähboot aufwändig entnommen werden, was hohe Kosten verursacht. Nach (Zerbe und Wiegleb 2009) lagen die Ausgaben im Jahr 2008 für derartige Gewässerpflegemaßnahmen in naturfernen Fließgewässern bei ca. 100 Mio. €. Die entnommene Pflanzenbiomasse wird ungenutzt entsorgt. Für die Kompostierung ist das Material ungeeignet aufgrund des hohen Wassergehalts und ein Transport über weitere Strecken ist vielen Fällen unwirtschaftlich. Im Forschungsprojekt Aquamak (Aquatische Makrophyten – ökologisch und ökonomisch optimierte Nutzung) wurde vom DBFZ die Nutzbarkeit von Wasserpflanzen für die Erzeugung von Bioenergie untersucht und erste vielversprechende Ergebnisse erzielt. Es wurde festgestellt, dass die Wasserpflanzen im Biogasprozess gut biologisch abbaubar sind und hohe Energieausbeuten ermöglichen. Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass das frische Pflanzenmaterial durch Co-Silierung mit Getreidestroh für mehrere Monate lagerfähig sind. Aufgrund des verfügbaren Biomassepotentials und des vorhandenen Problemdrucks für die Entsorger wurden Wasserpflanzen als alternativer Futterstoff für die Insektenzucht ausgewählt. In zukünftigen Forschungsarbeiten sollen Synergieeffekte der Wasserpflanzenzucht zur de-Eutrophierung von Gewässern in Kombination mit der Wasserpflanzenbiomassennutzung in der Produktion von Insektenprotein und -fett untersucht werden.



Abbildung 3: Wasserpflanzenproben aus dem Leipziger Raum (Elodea Nutallii, Lemna minor, Myriophyllum)

Tabelle 3: Übersicht der Futtermitteleigenschaften der getesteten Futterstoffe

Probenbezeichnung	TS [%]	oTS [% <sub>TS</sub> ]	Rohwasser [%]	Rohasche [g/kg <sub>TS</sub> ]	Rohprotein [g/kg <sub>TS</sub> ]	Rohfett [g/kg <sub>TS</sub> ]	Rohfaser [g/kg <sub>TS</sub> ]	NfE [g/kg <sub>TS</sub> ]
Biertreber	16,2	95,7	83,8	43,3	220,2	89,3	197,0	450,2
Schlempe 1	14,4	92,1	85,7	79,0	422,9	58,9	115,9	323,2
Schlempe 2	17,0	92,1	83,0	79,2	391,7	62,3	80,4	386,5
Schlempe 3	17,0	91,9	83,0	80,7	388,8	54,3	73,7	402,6
DDGS 1	87,8	95,7	12,2	43,2	325,9	120,0	134,7	376,2
DDGS 2	89,3	94,5	10,7	319,4	319,4	9,1	113,4	503,3
Insektenfraß I	78,1	90,0	21,9	99,7	221,3	27,9	307,4	343,7
Insektenfraß II	84,2	91,0	15,8	89,7	228,8	33,9	226,5	421,1
Maissilage	33,6	96,2	66,4	37,8	8,1	1,2	22,8	931,9
Zuckerrübenblatt	13,9	78,8	86,1	211,6	163,3	42,7	101,5	480,9
Weizenstroh	91,5	93,0	8,5	69,8	4,0	0,9	47,9	877,4
<i>Elodea Nutallii</i>	10,1	66,4	89,9	336,3	243,1	14,7	184,2	221,7
HTK	61,3	69,8	38,7	302,4	22,7	2,5	24,6	647,8
Gärrest 1	7,4	58,7	92,6	413,0	11,9	0,2	17,5	557,3
Gärrest 2	25,3	86,3	74,7	137,5	336,8	38,2	300,3	187,1

### Methodik der Fütterungsversuche

Im nachfolgenden Abschnitt wird die Methodik der Futterstofftests näher beschrieben und auf die Auswertung der Versuchsergebnisse eingegangen.

### Analysen

Die Bestimmung der Trockensubstanz (TS) und organischen Trockensubstanz (oTS) der Substrate, Larven und Futterreste wurde im Labor gemäß Messmethodensammlung Biogas durchgeführt. Ausgewählte Proben wurden einer Futtermittelanalytik nach Weender unterzogen und das Fett- und Aminosäurespektrum untersucht. Ausführliche Informationen zu den Analysemethoden sind in der Messmethodensammlung Biogas (Liebetau et al. 2015) festgehalten.

### Allgemeine Beschreibung der Versuchsdurchführung der Fütterungsversuche und Ergebnisauswertung

Junglarven für die Fütterungsversuche wurden durch die Hermetia Baruth GmbH zur Verfügung gestellt und erreichten das DBFZ Labor mit einem durchschnittlichen Alter von 9 bis 12 Tagen nach der Eiablage. Zu diesem Zeitpunkt hatten die Junglarven ein mittleres Gewicht von ca. 2,4 mg und eine durchschnittliche Größe von 2 mm. In parallelen Fütterungsversuchen im Maßstab von ca. 250 ml ist das Wachstum der Junglarven batchweise auf unterschiedlichen Substraten getestet worden. Das Substrat wurde zum Anfang des Versuchs einmalig dosiert. Die Junglarven und das Testsubstrat wurden auf Basis der TS/oTS-Analysen in drei Mischungsverhältnissen eingewogen und über den gesamten Versuchszeitraum temperiert. Abhängig vom Mischungsverhältnis aus Substrat und Junglarven ergab

sich eine definierte Futtergabe pro Larve. Die Fütterungsversuche wurden mit drei unterschiedlichen Futtergaben (160, 240 und 320 mg oTS / Larven) jeweils als Dreifachansatz durchgeführt. Die Versuchstemperatur hat über den gesamten Versuchszeitraum 30 °C betragen. Als Probenbehälter wurden verschließbare Plastikboxen verwendet, die mit Luftlöchern versehen waren. Die trockenen Proben wurden mit Wasser verdünnt und ein durchschnittlicher TS Gehalt von ca. 14% eingestellt. Das Larvenwachstum und das Larvenendgewicht wurden über einen Versuchszeitraum von 13 bis 17 Tagen dokumentiert. Die Versuche wurden bis zur Gewichtskonstanz der Larven durchgeführt. Nach Erreichen des Abbruchkriteriums (stagnierendes oder abnehmendes Larvengewicht) wurden die Probenansätze gesiebt um Reststoffe und Larven zu trennen und anschließend zu analysieren. Stoffanalysen wie TS/oTS Analysen wurden von den ausgewachsenen Larven und den Einsatz- und Reststoffen durchgeführt.

#### Arbeitsschritte

- Bestimmung des Einzelgewichtes der Junglarven durch mehrmaliges wiegen von 30 Einzellarven und anschließende Berechnung des Einzellarvengewichtes durch Mittelwertberechnung
- Berechnung der benötigten Larvenmasse in Abhängigkeit von der gewünschten Futtergabe
- Vorbereitung der Substratmischung (ggf. Vorbehandeln, Einwiegen und Temperieren) und Befüllung der Versuchsbehälter
- Hinzugabe der Junglarven
- Erfassung des Startgewichts der Versuchsbehälter
- Verschließen der Becher und Temperierung bei 30 °C und 100% RH Feuchte
- Nach 3, 6, 10 und 12 Tagen Versuchsdauer sind jeweils 30 Junglarven zu entnehmen. Vorsichtig zu säubern - dazu kurz abspülen, anschließend für 10 min mit Zellstofftüchern trocknen und das Larveneinzelnicht ermitteln und notieren. Die Larven anschließend zurück in den Ansatz geben.
- Nach Auswertung des Wachstumsverhaltens den Test beenden. Dazu werden die Bechergewichte erneut notiert. Anschließend werden die ausgewachsenen Larven abgesiebt, gewaschen und für 10 min zum Trocknen auf Zellstoff belassen und dann das Gesamtgewicht der Larven bestimmt. Die Larven werden mittels Siebung abgetrennt (Maschenweite 5 mm). Futterreste sind für anschließende Analysen (TS, oTS, FMA, Gärtests) zu sammeln.
- Erneute TS und oTS Analytik der Laven und Futterreste



Abbildung 4: Geräte für die Bestimmung des Einzelgewichtes der Larven und Trennung der Futterreste und Larven

### Ergebnisauswertung - Wachstumsverhalten

In Abständen von 3 bis 4 Tagen wurde das Larveneinzelgewicht erfasst. Hierfür wurden jeweils 30 Exemplare aus den Dreifach-Ansätzen jeder untersuchten Fütterungsrate entnommen, gewaschen, getrocknet, gewogen und anschließend in den Versuchsbehälter zurückgegeben. Nach zehn Versuchstagen stieg das Larvengewicht nur noch geringfügig oder nahm sogar ab, da einzelne Larven begonnen hatten sich zu verpuppen. Larvenpuppen nehmen kein Substrat auf und versorgen ihren Energiestoffwechsel durch den Abbau eigener Reserven, ebenfalls kommt es zu einem Anstieg des Trockensubstanzgehalts der Larven zum Ende des Versuchszeitraums.

### Larven-Massezuwachs

Der Quotient der gesamten Larvenmasse zum Ende und zum Anfang des Fütterungsversuchs beschreibt den Larven-Massezuwachs.

$$\text{Larven Massezuwachs} = \frac{\text{gesamte Larvenmasse Output}}{\text{gesamte Larvenmasse Input}} \quad [g/g^*] \quad (1)$$

### Feed Conversion Ratio (FCR)

Die Feed Conversion Rate beschreibt die Menge an Trockensubstanz des Futters, die für die Zunahme eines Gramms an Larvenfrischmasse benötigt wird. Wenn z.B. für die Zunahme eines Gramms Larvenfrischmasse zwei Gramm Trockensubstanz des Substrates benötigt werden, ist die FCR des Futters zwei. Die Berechnungsgleichung lautet:

$$\text{FCR} = \frac{\text{Futtermasse trocken Input}}{\text{gesamte Larvenmasse Output} - \text{gesamte Larvenmasse Input}} \quad [\text{g/g}] \quad (2)$$

### Umsatz

Als Umsatz wird in der Studie die Umsatzrate bezeichnet, mit der organische Trockensubstanz des Substrates in Biomasse oTS der Larven umgewandelt wird. Die Berechnungsgleichung lautet:

$$\text{oTS Umsatz} = \frac{\text{oTS Masse der Larven Output}}{\text{oTS Masse des Substrates Input}} \quad [\% \text{ oTS (zugeführt)}] \quad (3)$$

### Ausbeute

Darüber hinaus wurde ein Ausbeutewert berechnet, die angibt welche Menge Substrat (oTS) für die Gewinnung von Larven-Frischmasse erforderlich ist. Die Berechnung erfolgte nach der folgenden Formel:

$$\text{Ausbeute} = \frac{\text{Frischmasse der Larven Output}}{\text{oTS Masse des Substrates Input}} \quad [\text{kg oTS Larven} / \text{t FM Substrat}] \quad (4)$$

### Zusammenfassung der Futterstofftests

Im nachfolgenden Abschnitt werden die erzielten Ergebnisse der Fütterungsversuche und generelle Beobachtungen vorgestellt.

#### Feed Conversion Rate (FCR)

Die Bewertung von Fütterungssystemen in der Nutztierhaltung und Aquakultur erfolgt oftmals mit Hilfe des Faktors der Feed Conversion Ratio (FCR). Der Wert gibt Aufschluss über die Effizienz der Futtermittelverwertung und berechnet sich aus wieviel Kilogramm Trockenmasse Tierfutter für den Aufbau eines Kilogramms Lebendmasse erforderlich sind. Ein niedriger Wert deutet auf einen guten Futterumsatz hin, während hohe Werte für eine schlechte Futteraufnahme sprechen. In Tabelle 4 sind die FCR Werte unterschiedlicher Nutztiere dargestellt. Die Ergebnisse unserer Untersuchungen decken sich mit Ergebnissen anderer Hermetia-Studien. Die beste Futterverwertung konnten mit Getreideschlempe erzielt werden. Ebenfalls wurden gute Ergebnisse mit Biertreber, Maissilage und Insektenfraß erzielt. Schlechter war der Futterumsatz in der Proben landwirtschaftlichen Gärrest, Elodea Wasserpflanzen, Hühnertrockenkot.

Tabelle 4: Ergebnisse Feed Conversion Ratio

	Feed Conversion Ratio FCR [g/g]								
	FR 1			FR 2			FR 3		
Biertreber	2,12	±	0,16	2,25	±	0,14	2,58	±	0,10
Schlempe 1	0,85	±	1,10	1,10	±	0,08	1,33	±	0,10
Schlempe 1 Siliert	1,50	±	0,96	0,86	±	0,03	1,04	±	0,02
Schlempe 2	0,79	±	0,03	1,14	±	0,09	1,461	±	0,06
DDGS 1Kan	n.b.	±	n.b.	1,83	±	0,07	1,74	±	0,08
DDGS 2Proti	n.b.	±	n.b.	1,43	±	0,08	1,17	±	0,02
Kleie	1,44	±	0,21	1,50	±	0,03	1,95	±	0,35
Insektenfraß I	1,48	±	0,03	1,93	±	0,07	2,67	±	0,05
Maissilage	1,85	±	0,03	2,34	±	0,06	2,67	±	0,31
Zuckerrübenblatt	2,97	±	0,57	n.b.	±	n.b.	n.b.	±	n.b.
Weizenstroh	n.b.	±	n.b.	266,79	±	68,81	n.b.	±	n.b.
Elodea Nutallii	2,99	±	0,02	4,13	±	0,54	4,77	±	0,47
HTK	2,90	±	0,01	3,55	±	0,03	4,76	±	0,08
Gärrest 1	8,98	±	2,48	3,78	±	0,06	3,87	±	0,12
Gärrest 2	26,39	±	6,70	15,43	±	1,38	8,36	±	0,39

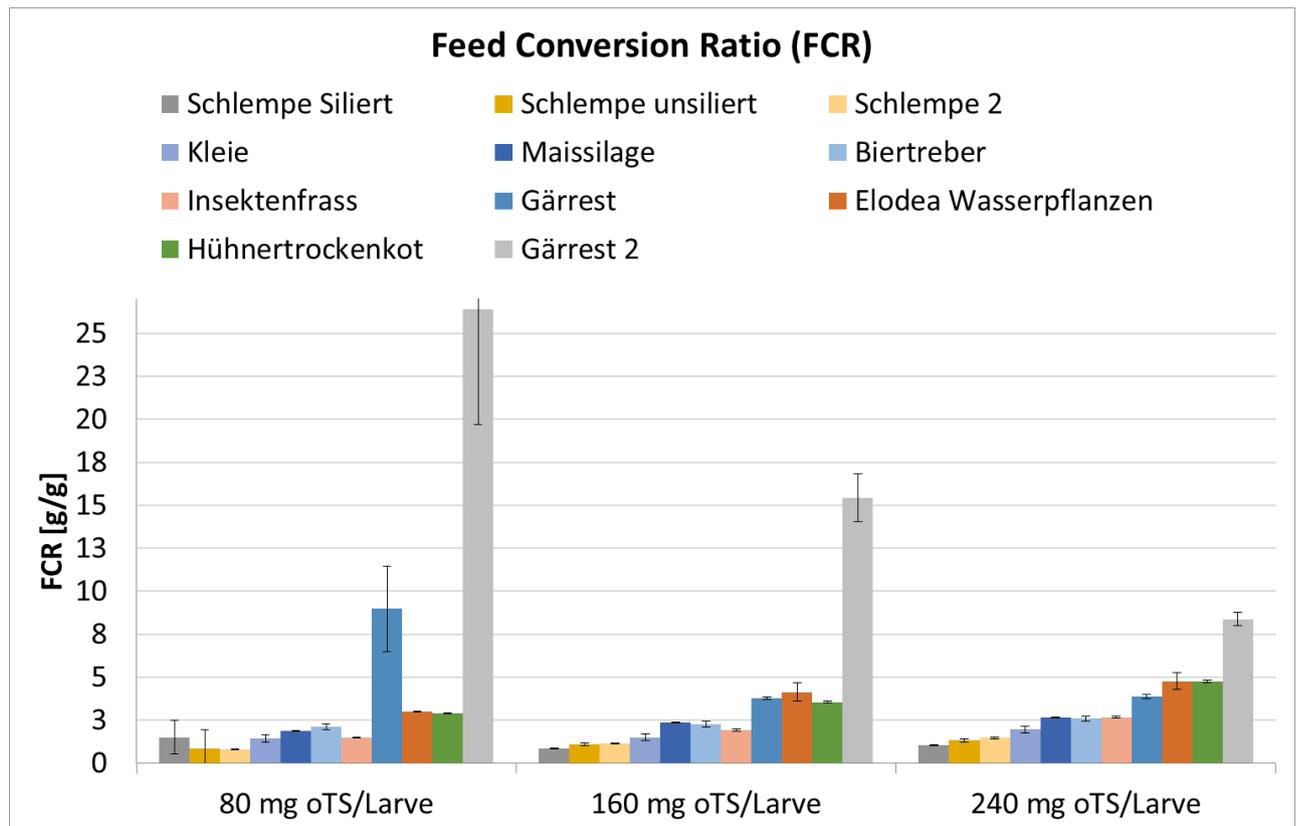


Abbildung 5: Feed Conversion Ratio der untersuchten Substrate

Tabelle 5: Vergleich unterschiedlicher Nutztierarten

Nutztierart	FCR [g/g]	Futterstoff
Fleischrind	4.5...7.5 (> 6 typisch)	Futtermix
Schwein	3.8...4.5	Futtermix
Huhn	1.6...1.9	Futtermix
Schaf	4.0...6.0	Futtermix
	40.0	Stroh
Fisch (Aquakultur)	0.75...2.0	trockene Futterpellets
Hermetia	2.0...3.2	Kernmehl der Ölpalme (Caruso et al. 2013)
	0.8...1.5	Getreidschlempe (eigene Messungen)

### Umsatz der im Substrat enthaltenen organischen Trockensubstanz in Insektenbiomasse (oTS – Umsatz)

Der Ansatz der Bewertung von Fütterungssystemen mittels der FCR bringt allerdings auch Nachteile mit sich. So werden beispielsweise der Ascheanteil des Futterstoffs und der Wasseranteil des Produktes in der Berechnung nicht berücksichtigt. Aussagefähiger ist daher die Betrachtung des Umsatzes der organischen Trockensubstanz.

Die besten oTS-Ausbeuten von über 30% oTS (zugeführt) wurden mit Schlempe erzielt. Die oTS-Ausbeuten der Proben Maissilage, Kleie, Biertreber und Insektenfraß lagen zwischen 9 und 17% oTS

(zugeführt). Eine oTS Ausbeute von ca. 1 bis 11% oTS (zugeführt) wurde mit den Reststoffen Hühnertrockenkot, Gärrest, Wasserpflanzen und Schlempegärrest erzielt.

Tabelle 6: Ergebnisse oTS Umsatz

	oTS Umsatz [% oTS (zugeführt)]								
	FR 1			FR 2			FR 3		
Biertreber	14,2	±	1,11	13,79	±	0,77	11,72	±	0,48
Schlempe 1	32,75	±	0,56	30,04	±	2,42	25,71	±	0,51
Schlempe 1 Siliert	31,33	±	14,17	34,75	±	1,05	28,68	±	0,63
Schlempe 2	32,17	±	1,24	30,04	±	2,42	25,23	±	1,04
DDGS 1Kan	n.b.	±	n.b.	19,67	±	0,68	20,48	±	0,99
DDGS 2Proti	n.b.	±	n.b.	21,04	±	1,08	25,52	±	0,49
Kleie	16,88	±	2,32	16,13	±	0,37	16,79	±	2,76
Insektenfraß I	12,21	±	0,24	10,38	±	0,36	9,27	±	0,18
Maissilage	14,58	±	0,20	12,36	±	0,31	12,33	±	1,37
Zuckerrübenblatt	10,10	±	1,72	n.b.	±	n.b.	n.b.	±	n.b.
Weizenstroh	n.b.	±	n.b.	0,07	±	0,02	n.b.	±	n.b.
Elodea Nutallii	10,25	±	0,08	7,36	±	0,98	6,26	±	0,61
HTK	11,33	±	0,04	10,69	±	0,09	7,74	±	0,13
Gärrest 1	4,03	±	0,8	7,92	±	0,13	7,64	±	0,24
Gärrest 2	1,1	±	0,19	1,31	±	0,1	2,18	±	0,09

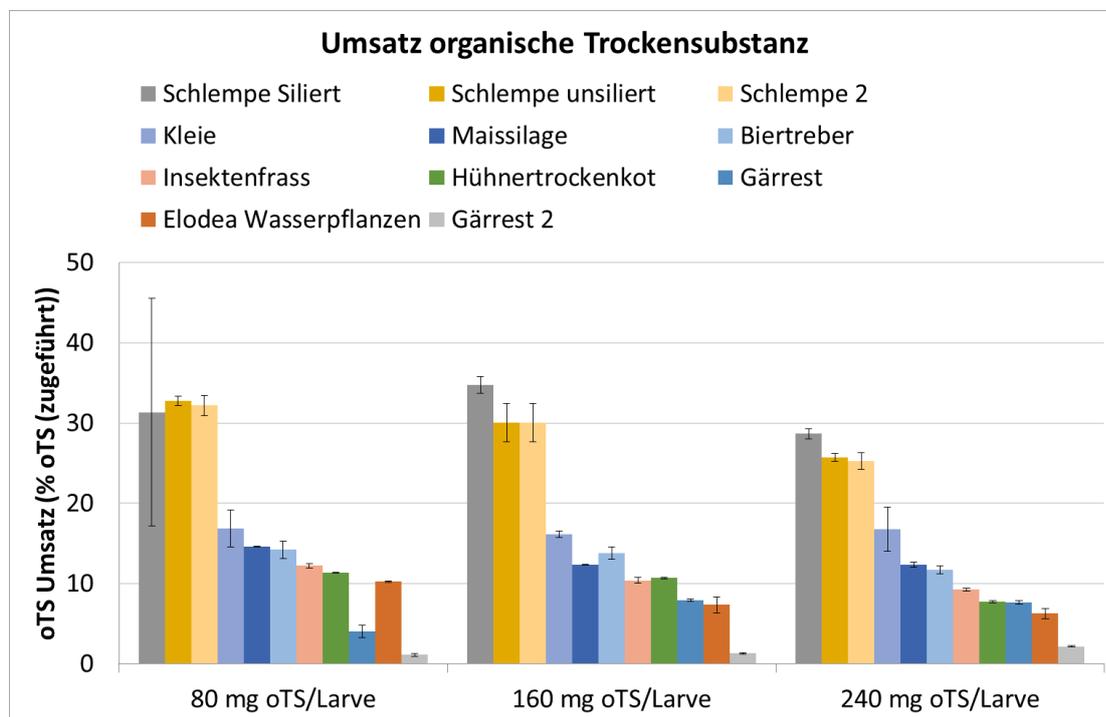


Abbildung 6: Umsatz organische Trockensubstanz

### Ausbeute

In folgenden Abschnitt sind die Ergebnisse der Ausbeuteberechnungen zusammengefasst dargestellt. Die beste Ausbeute von 142 kg organische Trockensubstanz Larven pro Tonne Futterstoff Frischmasse wurde mit Kleie ermittelt. Aus den Versuchsergebnissen ist zu erkennen, dass mit trockeneren

Substraten wie z. B. Kleie, DDGS, Insektenfraß vergleichsweise höhere Ausbeuten möglich waren. Auffällig ist außerdem, dass bessere Ausbeuten erzielt werden konnten, wenn als Versuchsparameter niedrigere Fütterungsraten bzw. ein höherer Larvenbesatz gewählt wurde.

Tabelle 7: Ergebnisse Ausbeute

	Ausbeute (kg oTS Larven / t FM Substrat)								
	FR 1			FR 2			FR 3		
Biertreber	20,84	±	1,65	20,69	±	1,25	17,71	±	0,71
Schlempe 1	40,46	±	0,69	37,11	±	2,99	31,76	±	0,63
Schlempe 1 Siliert	43,51	±	15,1	44,74	±	1,36	42,4	±	0,94
Schlempe 2	39,75	±	1,54	37,11	±	2,99	31,17	±	1,28
DDGS 1Kan	n.b.	±	n.b.	80,93	±	2,88	85,03	±	4,12
DDGS 2Proti	n.b.	±	n.b.	82,01	±	4,38	92,24	±	1,82
Kleie	142,4	±	19,6	136,1	±	3,13	141,7	±	23,2
Insektenfraß I	90,56	±	1,86	77,8	±	2,75	69,67	±	1,4
Maissilage	45,45	±	0,67	39,11	±	1,01	37,96	±	4,24
Zuckerrübenblatt	10,51	±	1,88	n.b.	±	n.b.	n.b.	±	n.b.
Weizenstroh	n.b.	±	n.b.	0,11	±	0,03	n.b.	±	n.b.
Elodea Nutallii	4,27	±	0,03	3,88	±	0,54	3,43	±	0,35
HTK	23,29	±	0,08	22,37	±	0,19	16,27	±	0,27
Gärrest 1	1,67	±	0,4	3,56	±	0,06	3,08	±	0,1
Gärrest 2	1,55	±	0,42	2,45	±	0,21	4,47	±	0,21

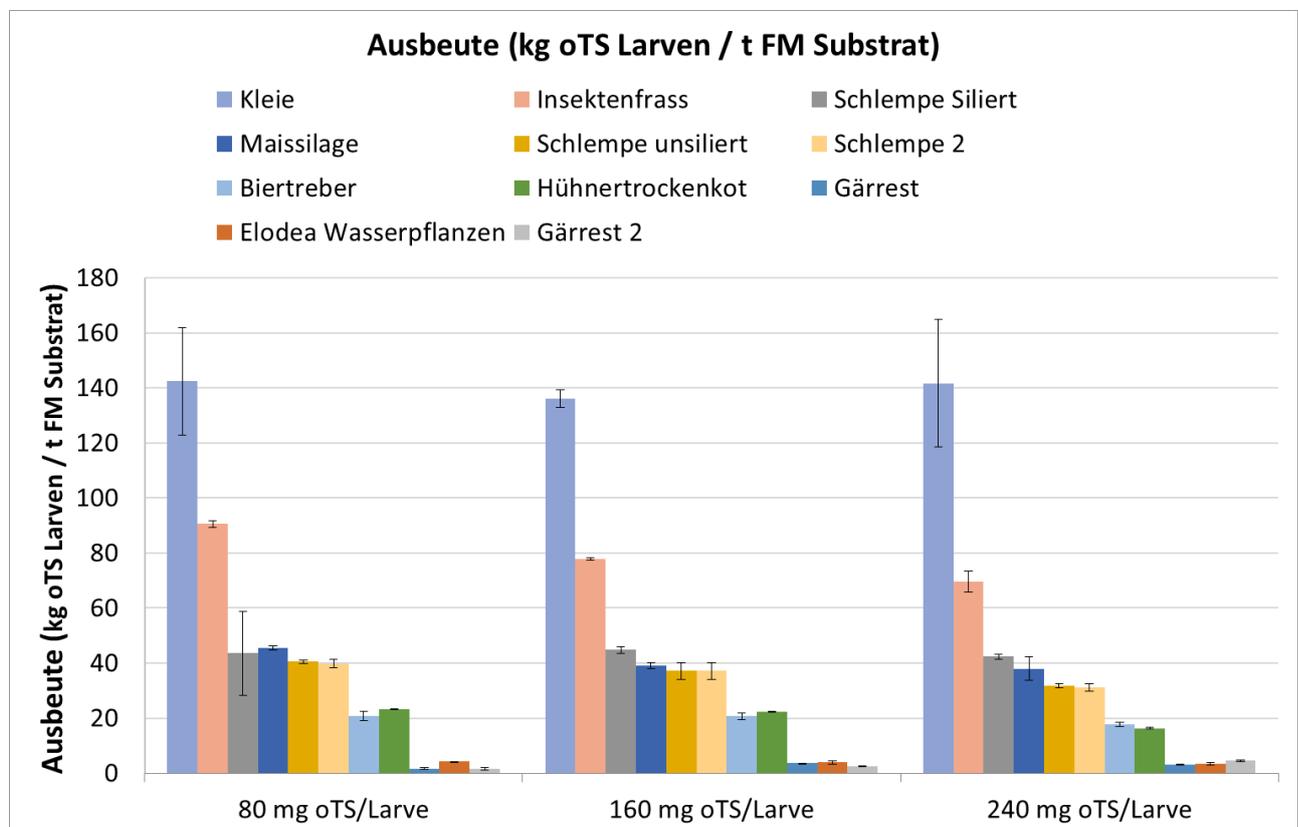


Abbildung 7: Substratausbeute

Larven-Massezuwachs

Die Fütterungsversuche haben gezeigt, dass aus einem Gramm Junglarven nach ca. 12 Tagen Mastdauer zwischen 18 und 142 Gramm ausgewachsene Larven gewonnen werden können. Abhängig von der Substratzusammensetzung, -beschaffenheit und der Futterkonzentration variiert der Massezuwachs allerdings deutlich.

Tabelle 8: Ergebnisse Larven-Massezuwachs (SLW)

	Larven-Massezuwachs [g / g*]								
	FR 1			FR 2			FR 3		
Biertreber	20,72	±	1,56	38,11	±	2,10	49,03	±	1,93
Schlempe 1	90,66	±	1,67	124,29	±	9,80	147,56	±	2,99
Schlempe 1 Siliert	49,31	±	17,2	101,72	±	1,06	128,55	±	3,74
Schlempe 2	89,01	±	3,56	124,29	±	9,8	144,54	±	6,51
DDGS 1Kan	n.b.	±	n.b.	46,815	±	1,62	73,221	±	3,51
DDGS 2Proti	n.b.	±	n.b.	60,605	±	3,17	109,68	±	2,14
Kleie	40,93	±	5,64	76,616	±	1,77	90,049	±	14,8
Insektenfraß I	30,49	±	1,2	43,05	±	0,44	51,36	±	3,86
Maissilage	23,85	±	0,47	36,98	±	0,94	49,03	±	5,87
Zuckerrübenblatt	20,09	±	3,31	n.b.	±	n.b.	n.b.	±	n.b.
Weizenstroh	n.b.	±	n.b.	1,15	±	0,04	n.b.	±	n.b.
Elodea Nutallii	14,97	±	0,12	21,75	±	2,55	28,14	±	2,58
HTK	21,29	±	0,18	33,59	±	0,19	39,53	±	0,34
Gärrest 1	5,84	±	1,17	23,13	±	0,43	31,79	±	0,85
Gärrest 2	2,85	±	0,49	7,04	±	0,52	17,24	±	0,83

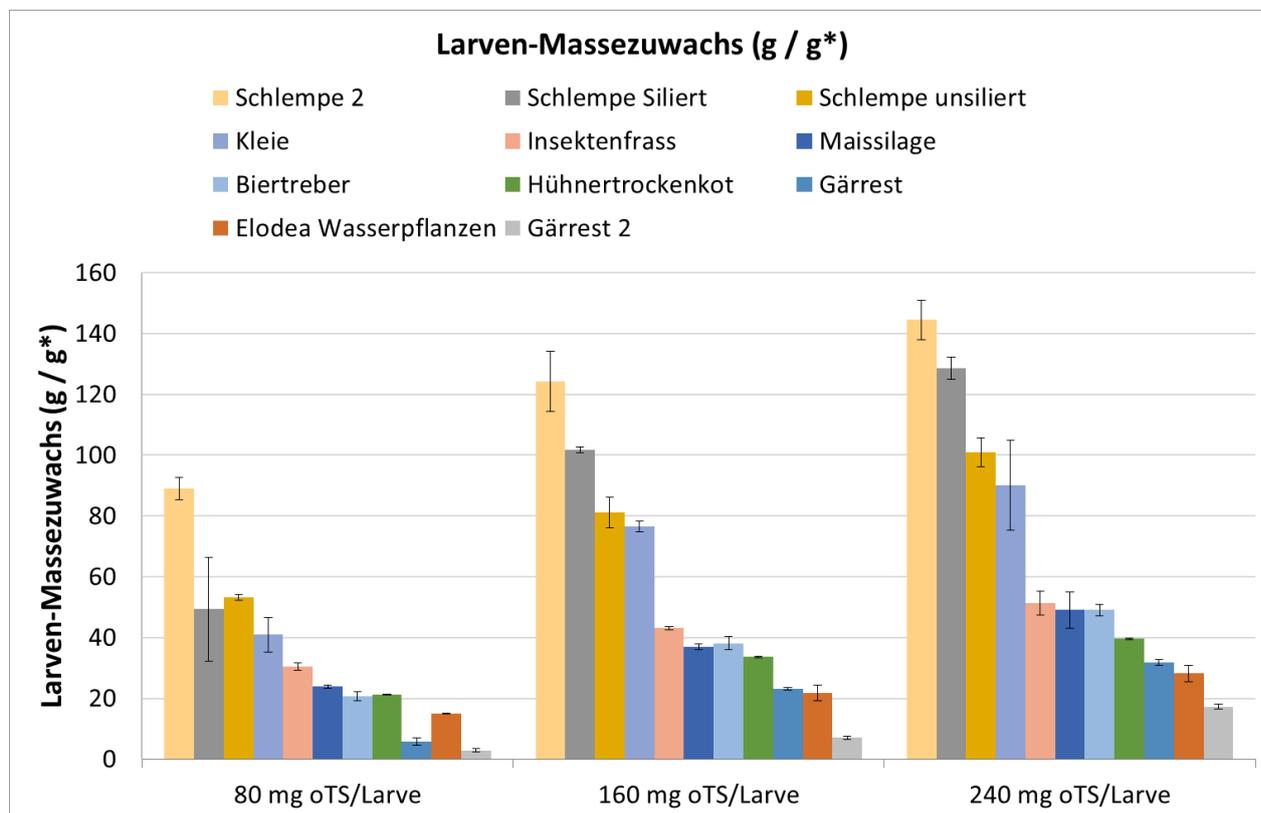


Abbildung 8: Larvenwachstum

### Wachstumsverhalten

Die Futterstofftests wurden im Batchverfahren durchgeführt. Die Futterzugabe erfolgte hierbei einmalig zum Versuchsstart. Für den Praxismaßstab ergeben sich dadurch geringerer Arbeitsaufwand für den Mastprozess und eine verbesserte Prozesshygiene gegenüber einer kontinuierlichen Fütterung. Das Larvenwachstum war in den ersten Tagen des Fütterungsversuchs unabhängig vom Substrat vergleichsweise langsam. Nach 3 Tagen setzte eine starke Wachstumsphase ein, die nach ca. 7 Tagen in eine Plateauphase überging. Abhängig vom Substrat unterschied sich das Wachstumsverhalten und die Zeit bis zum Erreichen der Plateauphase (8 bis 13 Tage) geringfügig. Bei einzelnen Substraten wurde nach 10 Tagen bereits eine Abnahme des Larvengewichts beobachtet. Abhängig vom Substrat wurde das Präpuppen-Stadium zwischen 10 und 13 Tagen erreicht.

Als Beispiel ist in Abbildung 9 der Massezuwachs von Larven über den Versuchszeitraum von 13 Tagen dargestellt. In dem dargestellten Fütterungsversuchen wurden Bioethanolschlempe, Mais-DDGS und DDGS der Marke Protigrain® als Substrate eingesetzt. Das Larvengewicht stieg nach zehn Versuchstagen nur noch wenig an oder nahm im Fall von DDGS und Schlempe bereits ab. An Tag 13 wurden die Versuche beendet. In Abbildung 10 ist zu erkennen, dass einzelne Larven bereits begonnen hatten sich zu verpuppen. Larvenpuppen nehmen kein Substrat auf und versorgen ihren Energiestoffwechsel durch den Abbau eigener Reserven. Bei der Fütterung mit DDGS war der Anteil an Larvenpuppen am besonders hoch. Der Anteil an Larvenpuppen war in den Ansätzen mit niedriger Futterkonzentration am höchsten.

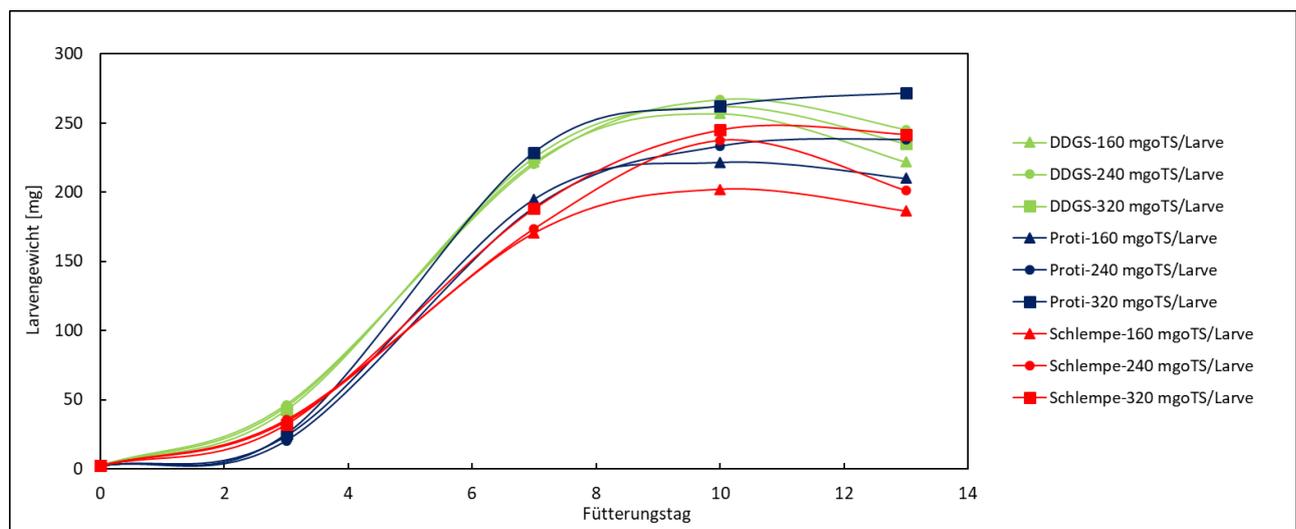


Abbildung 9: Entwicklung des mittleren Larvengewichts bei der Fütterung mit unterschiedlichen Futterkonzentrationen

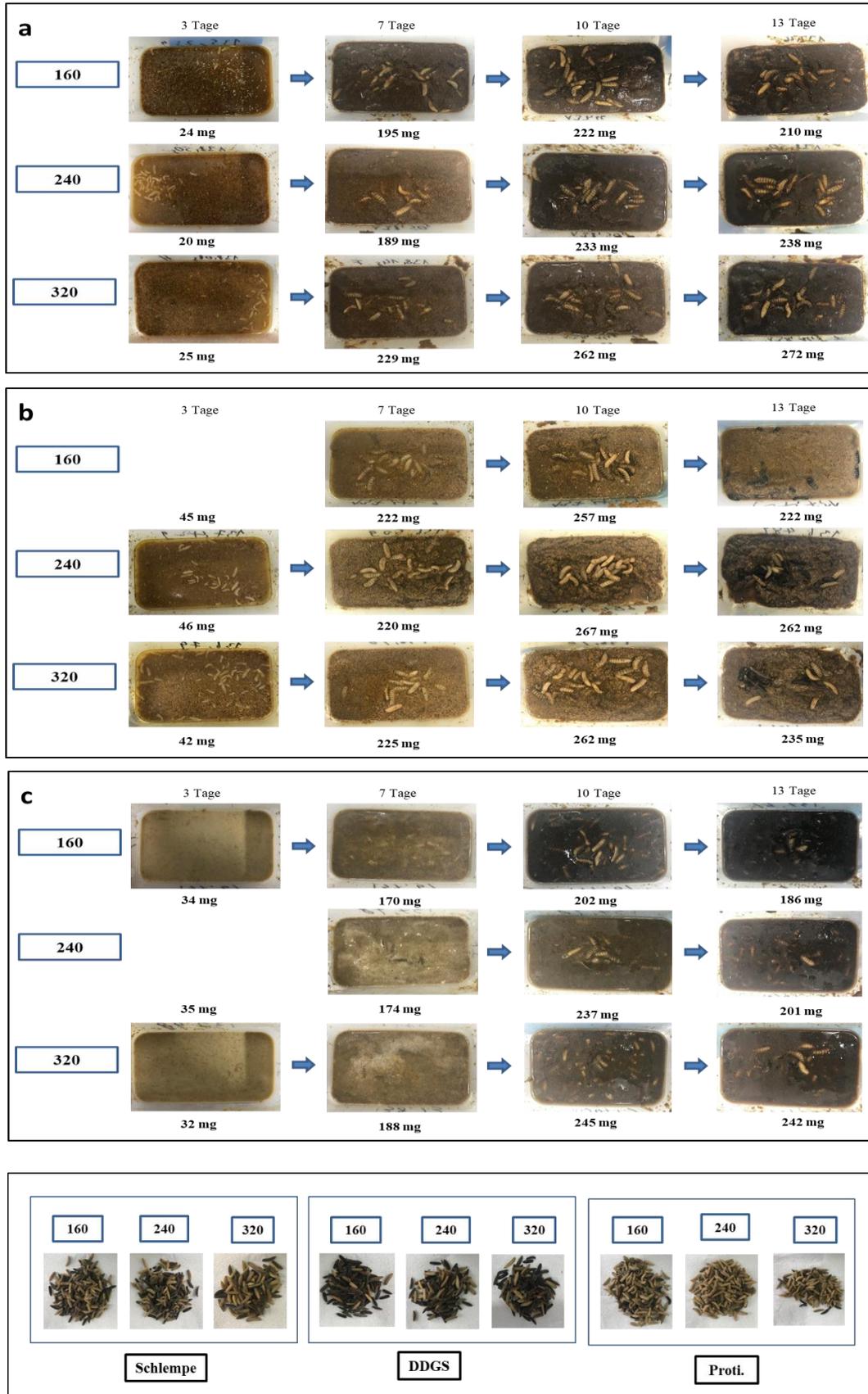


Abbildung 10: Larvenentwicklung und Futteränderung bei der Fütterung mit ProtiGrain® (a), DDGS (b) und Schlempe (c) bei unterschiedlichen Futtergaben 160, 240 und 320 mg oTS/ Larve nach 3, 7, 10 und 13 Tagen

### Larvenzusammensetzung

Die in den Fütterungsversuchen gewonnenen Larven wurden auf ihre Zusammensetzung untersucht (Tabelle 9). Der Proteingehalt der Larven lag im Bereich von ca. 190 und 520 g/kg TS. Der Proteingehalt von Hermetia-Mehl übersteigt diese Messwerte, da eine Entfettung durchgeführt wird. Frühere Studien haben bereits gezeigt, dass sich hohe Proteingehalte im Substrat ebenfalls in den damit gefütterten Larven wiederfinden. Die Ergebnisse unserer Studie konnten einen schwachen Zusammenhang bestätigen (Abbildung 11). Lediglich im Fall der Gärrestproben konnte keine Korrelation festgestellt werden. Der Fettgehalt lag in einem Bereich zwischen ca. 40 und 340 g/kg TS. Es konnte allerdings kein Zusammenhang zwischen dem Fettgehalt im Substrat und dem Fettgehalt der Larven festgestellt werden. Der Trockensubstanzgehalt der Larven lag am Ende des Versuchs zwischen 16 und 32 % FM und der organische Trockensubstanzgehalt bei 68 bis 93 % TS. Der zum Teil hohe Ascheanteil kann nur auf Substratreste im Darm der Larven zurückzuführen sein, da die Larven vor der Analyse gereinigt wurden. In der Praxis könnte eine mehrtägige Lagerung der ausgewachsenen Larven auf Holzspänen und anschließende Siebung helfen, den Anteil an Substratresten im Produkt zu verringern. Allerdings bleibt die Wirtschaftlichkeit einer solchen Prozedur noch zu klären.

Tabelle 9: Ergebnisübersicht der Futtermitteluntersuchen der Larven

Probenbezeichnung	TS [%]	oTS [% TS]	Rohwasser [%]	Rohasche [g/kg TS]	Rohprotein [g/kg TS]	Rohfett [g/kg TS]	Rohfaser [g/kg TS]	NfE [g/kg TS]
Schlempe Larven	24,9	93,4	75,1	66,3	524,1	226,7	142,6	40,3
Biertreber Larven	30,3	92,7	69,7	72,7	458,5	343,1	105,3	20,4
Insektenfraß Larven	20,9	89,3	79,1	107,4	446,9	110,5	150,5	184,7
HTK Larven	31,9	68,0	68,1	319,7	309,9	239,2	95,3	35,9
Elodea Larven	20,2	77,4	79,8	226,2	480,7	92,6	102,4	98,1
Gärrest 1 Larven	16,1	77,7	83,9	223,1	435,9	92,2	141,6	107,2
Gärrest 2 Larven	19,3	76,8	80,7	232,5	194,6	42,4	173,4	357,1
Maissilage Larven	28,9	91,3	71,1	86,8	377,7	344,2	181,2	10,1

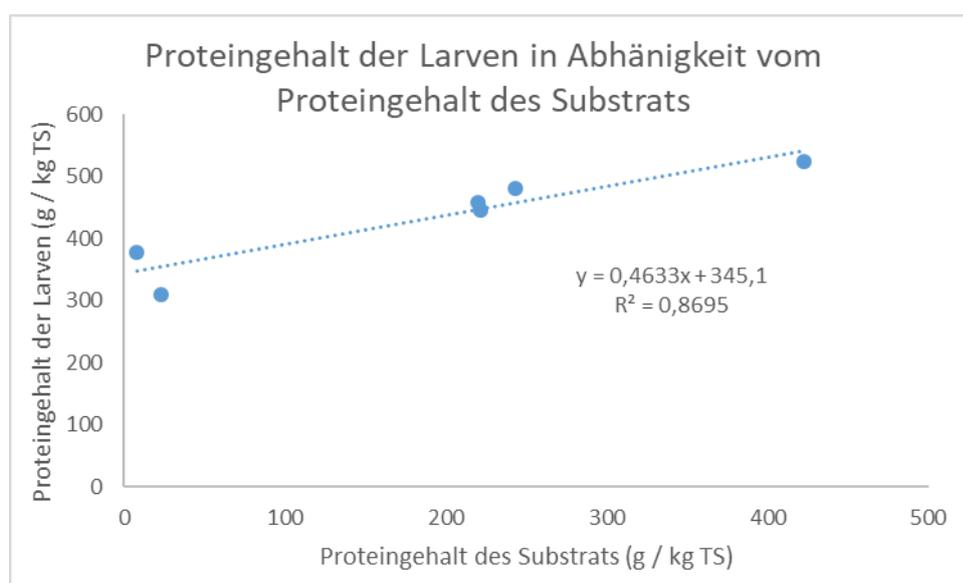


Abbildung 11: Abhängigkeit Proteingehalt in Substrat und Larven

#### Schlussfolgerungen aus den Arbeiten in AP 2 - Welche Futterstoffe eignen sich für die Hermetiazucht?

Junglarven, die von der Hermetia Baruth GmbH zur Verfügung gestellt wurden, zeigten nach ca. zwei bis drei Wochen Versuchsdauer eine Gewichtszunahme von circa 2 auf 250 mg und ein Größenwachstum von ca. 2 mm auf ca. 2,5 cm. In den Fütterungsversuchen konnte beobachtet werden, dass eine ausreichende Temperierung und Substrat- und Luftfeuchte für ein optimales Larvenwachstum erforderlich sind. Die besten Ergebnisse konnten im Labormaßstab bei einer Temperatur von ca. 30 °C und einen Trockensubstanzgehalt von ca. 15 % erzielt werden. Die Testergebnisse haben gezeigt, dass verschiedenste organische Einsatzstoffe für die Hermetiazucht in Frage kommen und dass speziell energiereiche Substrate mit hohen Anteilen an Protein und verdaulichen Kohlenhydraten zu einem starken Larvenwachstum führen. In Abhängigkeit vom eingesetzten Futterstoff und von der gewählten Fütterungsrate konnte ein Umsatz der im Futterstoff enthaltenen organischen Trockensubstanz (oTS) in Insektenbiomasse (oTS) zwischen 1...33 % erzielt werden.

Die Fütterungsversuche haben außerdem gezeigt, dass das Larvenwachstum bei großem Futterangebot besonders ausgeprägt war, allerdings fiel die Futtermittelverwertung geringer aus, da Teile des Substrates unverbraucht im Futterrest verbleiben. Bei der Einstellung der Futtergabe müssen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Wird eine hohe Futtergabe gewählt, fallen dementsprechend höhere Futterkosten und größere Reststoffmengen an, mit höheren Anteilen an unverdaulichen Futterresten. Niedrige Futtergaben führen zu einem besseren Umsatz der im Substrat enthaltenen Organik und es wird eine höhere Produktausbeute erzielt. Bei gleichen Reaktionsvolumina der Inkubationsbehältnisse, wird allerdings ein höherer Einsatz an Junglarven erforderlich. Eine Berücksichtigung der aufgeführten Aspekte und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist in jedem Fall vor dem Einsatz neuer Futterstoffmischung vorzunehmen.

Eine Trockensubstanzeinstellung war bei den trockeneren Substraten erforderlich, um für das Larvenwachstum günstige Materialeigenschaften einzustellen. Die Mischung flüssiger und trockener Futterstoffe oder eine Zugabe von Wasser kommen dafür in Frage. Während der Hermetiamast kommt es aufgrund der Batchdauer von 2 bis 3 Wochen und der Prozesstemperatur zu einem Wasserverlust der Futterstoffe und zu einer Verringerung des Reststoffvolumens, wenn keine Feuchteregulierung vorgenommen wird. Wenn keine Feuchteregulierung vorgenommen wird, sind die Reststoffe der Larvenmast vergleichsweise trocken (70...85 % TS). Auf Basis der Ergebnisse der Fütterungsversuche im Labormaßstab ist eine erste Abschätzung der erforderlichen Futterstoffeinsatzmengen und der substratseitigen Produktionskosten erfolgt. Eine Übersicht ist in Tabelle 10 dargestellt. Bei der Einordnung der Ergebnisse ist zu beachten, dass die angenommenen Rohstoffkosten regional stark abweichen können und weitere Kosten für Materialtransport oder Silierung berücksichtigt werden müssen. Beim Einsatz von landwirtschaftlichen Reststoffen als Futterstoffe könnten Entsorgungserlöse einen sehr günstigen Einfluss auf die substratseitigen Produktionskosten haben, allerdings muss die Entsorgung der Insektenzuchtreststoffe in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bedacht werden. Interessant in diesem Zusammenhang erscheint, dass die Insektenzucht eine Stickstoffsänke darstellt, bei der im Futterstoff enthaltener Stickstoff in Form proteinreicher Insektenbiomasse gebunden wird. Es bleibt allerdings zu beachten, dass in der EU gewerblich gezüchtete Insekten als Nutztiere gelten und ausschließlich futtermitteltaugliche Einsatzstoffe für deren Fütterung verwendet werden dürfen.

Tabelle 10: Ergebnisübersicht der Fütterungsversuche

Substrat	Substrat-Preise		TS	oTS	oTS	Substrat- einsatz t Substrat / t TS Larven	Substratseitige Kosten € / t TS Larven
	€ / t	€ / t TS	% FM	% TS	Umsatz %		
Zuckerrübenblatt	4,5 ...6,5	41...59	11	74	10	83	372...537
Brennereischlempe	20...30	143...214	14	95	30	23	461...691
Maissilage	30...40	86...114	35	95	13	20	612...816
Kleie	100...120	111...133	90	94	17	6	617...741
DDGS	210...230	239...261	88	95	22	5	1.038...1.136
Biertreber	35...45	219...281	16	95	14	42	1.458...1.875
Stroh	100...110	114...125	88	95	0,1	103	10.331...11.364
Elodea	-5...20	-63...250	8	80	8	139	-694...2.778
HTK	-20...15	-67...50	30	75	10	30	-606...455
Gärrest	-15...5	-150...50	10	80	4	200	-3.000...1.000

FM Frischmasse, t Tonne, TS Trockensubstanz, oTS organische Trockensubstanz

### Zusammenfassung der Ergebnisse AP2

Im Rahmen des Arbeitspaketes 2 sind im Berichtszeitraum Fütterungsversuche im Labormaßstab durchgeführt worden, mit dem Ziel die Substrateignung unterschiedlicher Reststoffe näher zu untersuchen. Die Laboruntersuchungen dienen als Basis für eine erste Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Insektenzucht mit unterschiedlichen Einsatzstoffen. Neben Produktausbeuten aus dem jeweiligen Substrat haben die Substratkosten der getesteten Einsatzstoffe einen wesentlichen Einfluss auf die Substratauswahl. Anhand der gewonnenen Ergebnisse der Fütterungsversuche und der recherchierten Substratkosten wurden für Zuckerrübenblatt, Getreideschlempe, Maissilage und Kleie die günstigsten substratseitigen Produktionskosten ermittelt.

Die Substratkosten sind ein entscheidender Faktor für den wirtschaftlichen Erfolg des Insektenzuchtverfahrens. Neben den Rohstoffpreisen spielt die ganzjährige Verfügbarkeit, die Aufwendungen für Transport und Lagerung eine entscheidende Rolle bei der Auswahl der Futterstoffe und ggf. des Produktionsstandorts. Derzeit werden vor allem Getreidebasierte Futterstoffmischungen im Prozess verwendet. Die angenommenen Futterstoffkosten zeigen eine größere Schwankungsbreite. Genaue Informationen über einzelnen Rohstoffpreise stehen erst zur Verfügung, wenn die benötigten Mengen bestimmt sind und auf der Basis Einkaufsverhandlungen mit potenziellen Lieferanten durchgeführt sind. Erfahrungsgemäß steigen Preise für Reststoffe sobald eine Verwendung dafür gefunden wurde!

### 3.1.3 AP 3 – Prozessoptimierung der Hermetia Larvemast

Im Rahmen des Arbeitspaket 3 sind am Firmenstandort der Hermetia Baruth GmbH großtechnische Fütterungsversuche mit der Zielstellung der Optimierung der Hermetia-Larvenmast durchgeführt worden. Neben dem Einsatz alternativer Substrate wurden Ansätzen zur Strukturoptimierung der Einsatzstoffe zur Effizienzsteigerung untersucht. Die Versuche sind im Folgenden zusammengefasst dargestellt. Im Rahmen der Fütterungsversuche mit unterschiedlichen Substratproben sind verschiedene Einflussfaktoren auf das Wachstumsverhalten der Hermetialarven näher untersucht worden, wie zum

beispiel Prozesstemperatur, Temperatur des Substrates zu Versuchsbeginn und Futterkonzentration und Wassergehalt des Substratmaterials.

### Versuchsserie 1

Im Folgenden sollen die Versuchsergebnisse der ersten Versuchsserie kurz dargestellt werden. In Tabelle 11 ist die Substratzusammensetzung der ersten Versuchsserie und das Mischungsverhältnis eines Einzelversuchs (Tabelle 12) beschrieben.

Tabelle 11: Substratzusammensetzung

Substrat 1	Menge	Substrat 2	Menge
Bezeichnung	l	Bezeichnung	kg
Bioethanolschlempe	900	Schweinefutter	50
Bioethanolschlempe	900	Weizenkleie	50
Bioethanolschlempe	900	Apfeltrester	50
Bioethanolschlempe	800	Altbrötchen	45
Bioethanolschlempe	1000	Rübenmehl	15
Bioethanolschlempe	300	Rübenmehl	18,9
Bioethanolschlempe	240	Obstschälreste	66

In einem Fall wurden vier Komponenten gemischt:

Tabelle 12: Substratmischungsverhältnis

Substrat 1	Menge	Substrat 2	Menge	Substrat 3	Menge	Substrat 4	Menge
Bezeichnung	l	Bezeichnung	kg	Bezeichnung	kg	Bezeichnung	kg
Bioethanolschlempe	300,0	Schweinefutter	10,0	Kleie	10,0	Apfeltrester	10,0

Die Verhältnisse von eingesetztem Substrat zu Frischmasse (FM) und Trockenmasse (TM) sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 13: Eigenschaften der Substratmischung

Substrat 1	Substrat 2+3+4	Verhältnis	Verhältnis
Bezeichnung	Bezeichnung	Substrat/FM	Substrat/TM
Bioethanolschlempe	Schweinefutter	0,1053	0,0360
Bioethanolschlempe	Schweinefutter+Kleie+Apfeltrester	0,1212	0,0406
Bioethanolschlempe	Weizenkleie	0,0947	0,0382
Bioethanolschlempe	Apfeltrester	0,1053	0,0313
Bioethanolschlempe	Altbrötchen	0,1385	0,0446
Bioethanolschlempe	Rübenmehl	0,0818	0,0263
Bioethanolschlempe	Rübenmehl	0,1066	0,0345

Die Auswertung der Versuche wurde im Hinblick auf die geerntete Larvenmasse und der daraus erzielten Trockenmasse durchgeführt. Das beste Ergebnis ergab sich bei der Kombination Bioethanolschlemme mit Altbrot. Es wurden ca. 117 kg Frischmasse aus dem eingesetzten Substrat gewonnen und daraus wiederum 37,7 kg getrocknete Larven mit einer Trockenmasse von 90%. Die Ergebnisse decken sich gut mit den Ergebnissen der Laborversuche. Der Versuch mit Bioethanolschlempe und Obstschälresten konnte wegen eines Anlagenproblems nicht bis zum Ende durchgeführt werden.

### Versuchsserie 2.1

Die Ergebnisse der zweiten Versuchsserie sollen im folgenden Abschnitt vorgestellt werden. Zielstellung der Versuche war eine Prozessverbesserung durch den Einsatz von Kaffeeabfällen als Kleie-Alternative.

Das Grundfutter in diesem Versuch bestand aus mit Wasser verdünnter Schlempe (Verhältnis 2:1, Schlempe: Wasser). Der Schlempe wurden 50g Brot pro 1 kg Schlempe hinzugefügt. Es erfolgten jeweils 3 Wiederholungen (n=3).

Dem Grundfutter wurden dann folgende Mengen an Struktur-Material hinzugefügt.

- T1 (Kleie): 100 g/kg FM Kleie.
- T2 (Kaffee/ Kleie): 50 g/kg FM Kleie + 50g/kg FM Kaffee.
- T3 (Kaffee): 300 g/kg FM Kaffee.

500 Larven (0,01 g/Larve) erhielten einmalig 750 kg Futter und wurden in der Klimakammer (30 °C, 65 % rel. Feuchte) gezüchtet. Die Ernte erfolgte durch zufälliges Sammeln von mindestens 20 Larven pro Box. Die Proben wurden pro Box gewogen und schließlich zusammengefasst (siehe Darstellung). Tötung erfolgte durch einfrieren, anschließendes Trocknen bei 80 °C.

In Abbildung 12 ist das durchschnittliche Trockengewicht einer einzelnen Larve (g/Larven) am Ende des Fütterungsversuchs mit den unterschiedlichen Substraten. In beiden Fällen wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Im Trend ist die Kaffeebehandlung etwas schlechter, was das Einzellarvengewicht angeht ( $p = 0,16$ ,  $n = 3$ ). Sowohl die Kleie-Behandlung als auch die Kaffee/Kleie Behandlung weisen einen Anstieg von ca. +20 % auf.

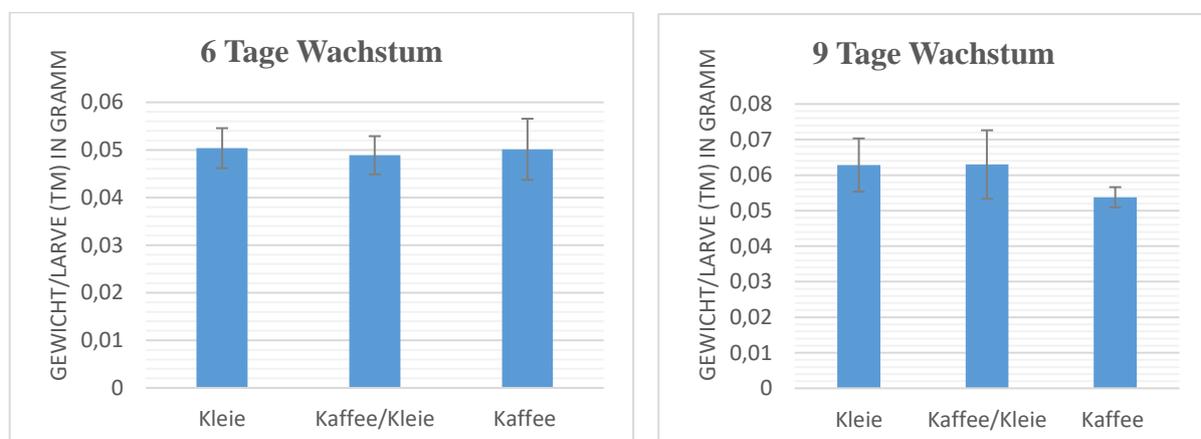


Abbildung 12 a und b: Ergebnisse Versuchsserie 2.1

Diese Unterschiede können auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden und werden in weiteren Versuchen überprüft.

- Wachstumshemmung durch schnelleres Austrocknen (fehlendes Wasser) des Substrats mit Kaffee-Zusatz
- Fehlende Nährstoffe im Kaffee, die durch die Kleie ins Futter eingebracht werden

Kaffee kann die Verwendung von Kleie zumindest reduzieren. Eine weitere Optimierung des kaffeehaltigen Futters kann jedoch noch erfolgen, z.B.

- Kohlenhydratergänzung (in Form von Brot) anstelle von Kleie-Kohlenhydraten
- Hinzufügen von Wasser, um ein frühzeitiges Austrocknen des Futters zu verhindern

Vorteile der Verwendung von Kaffee

1. Schnellere, bessere Austrocknung
2. weniger Geruch

Allerdings fehlen noch Informationen zu den Rohstoffkosten.

#### Versuchsserie 2.2

Zur Bestimmung des optimalen Brot / Schlempe-Verhältnis wurden folgende Versuche durchgeführt:

Die Larven erhielten:

T100: 0 g/kg FM Brot + 100% Schlempe + ~ 70 g/kg FM Kleie

T75: 75 g/kg FM Brot + 75% Schlempe (Verhältnis Schlempe: Wasser 3:1) + ~ 70 g/kg FM Kleie

T50: 150 g/kg FM Brot + 50% Schlempe (Verhältnis Schlempe: Wasser 1:1) + ~ 70 g/kg FM Kleie

Die Schlempe wurde wieder mit Wasser verdünnt.

500 Larven erhielten in einem kontinuierlichen System Futter und wurden in der Klimakammer (30 °C, 65 % rel. Feuchte) gezüchtet. Die Ernte erfolgte durch zufälliges Sammeln von mindestens 20 Larven pro Box. Die Proben wurden pro Box gewogen und schließlich zusammengefasst (siehe Darstellung). Tötung erfolgte durch einfrieren, anschließendes Trocknen bei 80 °C.

In Abbildung 13 ist das durchschnittliche Trockengewicht einzelner Larven (g/Larven) dargestellt. In beiden Fällen verbesserte das Verdünnen von Schlempe und der Zusatz von Brot (Kohlenhydratquelle) das Larvenwachstum ( $p < 0,05$ ,  $n = 3$ ) signifikant (\*, T1 100 : T2 75; T1 100 : T3 50). Die Effektgröße (Verbesserung des Wachstums) beträgt ca. +30 %. Um zu ermitteln, ob die signifikante Verbesserung aufgrund der Brotzugabe oder aufgrund der Verdünnung zurückzuführen ist, wird ein faktorielles Experiment durchgeführt, bei dem unterschiedliche Brotmengen und unterschiedliche Verdünnungsreihen verwendet werden.

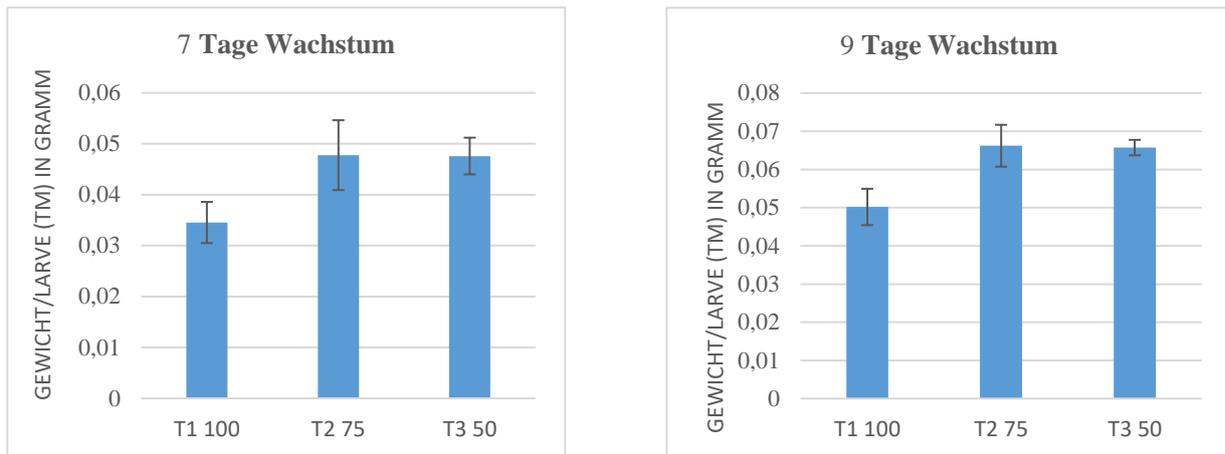


Abbildung 13 a und b: Ergebnisse der Versuchsserie 2.2

Wir gehen davon aus, dass das Austrocknungsverhalten der Schlempe verbessert wird, sobald die Schlempe mit Wasser verdünnt ist. Dabei geht es zum einen um die Verhinderung der Austrocknung zu Beginn und zum anderen um am Ende der Larven-Mast eine ausreichende Austrocknung zu gewährleisten. Das Aggregationsverhalten von Futter und die Wasserhaltekapazität von Futter hängen maßgeblich von dem Verhältnis von Wasser zu Proteinen ab. Derzeit wird eine Struktur geschaffen, die durch Elemente wie Kleie, Kaffee oder andere Struktur-Elemente verbessert wird (Oberflächenvergrößerung, Van-der-Waals-Kräfte (Kapillareffekt)). Um den Einsatz solcher strukturgebenden Elemente zu verringern, empfehlen wir eine Verdünnung der Schlempe auf 7 bis 12 % Trockenmassegehalt. Ebenso wie der Verdünnungsgrad *kann* der pH-Wert hier ebenfalls eine Rolle spielen und wird in der nächsten Zeit untersucht.

Im AP 3 sollten die Effekte und Auswirkungen der verschiedenen Einstellungen (Strukturanteil, Perkolationsrate) bei der anaeroben Vergärung auf einen optimalen Biogasertrag und eine geeignete Gärreststruktur untersucht werden. Dazu wurden insgesamt 13 Versuchsansätze in einer Fassversuchsanlage und neun Versuchsansätze in einer Technikum-Versuchsanlage anaerob vergoren, Die Verantwortlichkeiten im AP 3 teilten sich wie folgt auf:

Zur Prozessoptimierung wurden weitere verfügbare und kostengünstige Substrate in Baruth getestet. Neue Versuche im Pilotmaßstab mit unterschiedlichen Reststoffmischungen wurden durchgeführt mit der Zielstellung der Steigerung der Substratumsetzung und Verringerung des Energieeinsatzes bei der Insektenzucht.

### Versuchsserie 2.3

Dieses Experiment zielte darauf ab, die Leistung der Larven der Schwarzen Soldatenfliege (BSF) auf den erhaltenen Substraten mit minimaler Vorbehandlung und ohne Zusätze zu bewerten. Die frisch geschlüpften Larven erhielten das bei Hermetia Baruth verwendete Standardfutter für Schweine und erreichten ein durchschnittliches Gewicht von 0,0027 g pro Larve in 9 Tagen. Die ursprünglichen Larven wurden vom Schweinefutter getrennt und 500 Larven wurden in eine 2-Liter-Plastikkiste gegeben, die mit jeweils 600 g der folgenden Futtermischungen gefüllt war.

- U1: Schweinefutter, das in Hermetia verwendet wurde.

Zubereitet durch Zugabe von 310 g Weizenkleie zu 667 g Schweinefutter und 2500 kg Wasser. Der Trockensubstanzgehalt betrug 28 %.

- U2: Schweinefutter aus der Ukraine.

Zubereitet durch Zugabe von 310 g Weizenkleie (von uns bereitgestellt) zu 667 g Schweinefutter und 2500 kg Wasser. Der Trockensubstanzgehalt betrug 28 %.

- U3: Schlempe - Maiskleie - Kaffeeabfallgemisch.

Zubereitet durch Mischen von 300 g Schlempe + 300 g Maiskleie + 300 g Kaffeeabfälle, das Gewicht wurde durch Zugabe von Wasser auf 3 kg ergänzt. Der Trockensubstanzgehalt betrug 26 %.

- U4: Molke- Kaffee- Maiskleie- Getreidespelze.

450g Molke, 300 g Kaffee, 250 g Maiskleie + 150 g Getreidespelze, Wasserzugabe bis zu einem Gesamtgewicht von 3150 g. Der Trockensubstanzgehalt betrug 43 %. Am 6. Tag wurden aufgrund der Dränage des Substrates 150 g Wasser in jede Kiste gegeben.

- U5: Korn-Kleie-Mischung.

450 g Getreidespelze + 450 g Maiskleie und dann mit Wasser auf 3000 g ergänzt. Der Trockensubstanzgehalt betrug 33 %.

- U6: Trockenschlempe - Getreidespelze - Kaffee.

375 g Trockenschlempe + 150 g Treber + 150 g Mais + 150 g Kaffee, mit Wasser auf 3 kg aufgefüllt. Der Trockensubstanzgehalt betrug 24 %.

Jede Behandlung wurde in drei Wiederholungen (n=3) durchgeführt, was insgesamt 18 Kisten ergab. Das Frischgewicht der zufällig gepflückten Larven (+20) wurde nach 2 Tagen, 6 Tagen, 8 Tagen und 10 Tagen gemessen. Das Trockengewicht wurde erst nach 10 Tagen gemessen. Für jede Box wurde das Gewicht der einzelnen Larven als Durchschnitt der gesammelten Larven einer Box berechnet.

Die Varianzanalyse (ANOVA) mit anschließender Tuckey-HSD (post hoc Test) ergab signifikante Unterschiede (n=3,  $P < 0,05$ ) zwischen der Kontrolle U1 und den dargestellten Mischungen. Das Wachstum der BSF-Larven auf U1: Standard-Schweinefutter, U2: Ukrainisches Schweinefutter, U3: Schlempe-Mais-Kaffeeabfall-Mischung, U4: Molke-Kaffee-Mais-Kleie-Getreidespelzen, U5: Getreidespelzen-Mais-Kleie-Mischung, U6: Trockenschlempe - Treber-Mais-Kaffee. Dargestellt sind der Mittelwert und die Standardabweichung des Frischgewichts von 1 Larve. Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass die Substrate von den BSF-Larven gut verwertet werden können, das Wachstum jedoch optimiert werden kann. Tendenzen, die sich im Laufe der Zeit ändern (z.B. zwischen U1 und U5), können darauf hinweisen, dass ein Nährstoff oder mehr im Laufe der Zeit an U5 abgereichert wurde. Dies könnte durch eine Erhöhung der Menge der U5-Mischung, die den Larven verabreicht wird, gelöst werden. U4 begann sich zu verbessern, nachdem mehr Wasser zugegeben wurde. Aufgrund der Löslichkeit von Molke wurde mit einem hohen Trockensubstanzgehalt begonnen, um eine ähnliche physikalische Struktur zu erreichen.

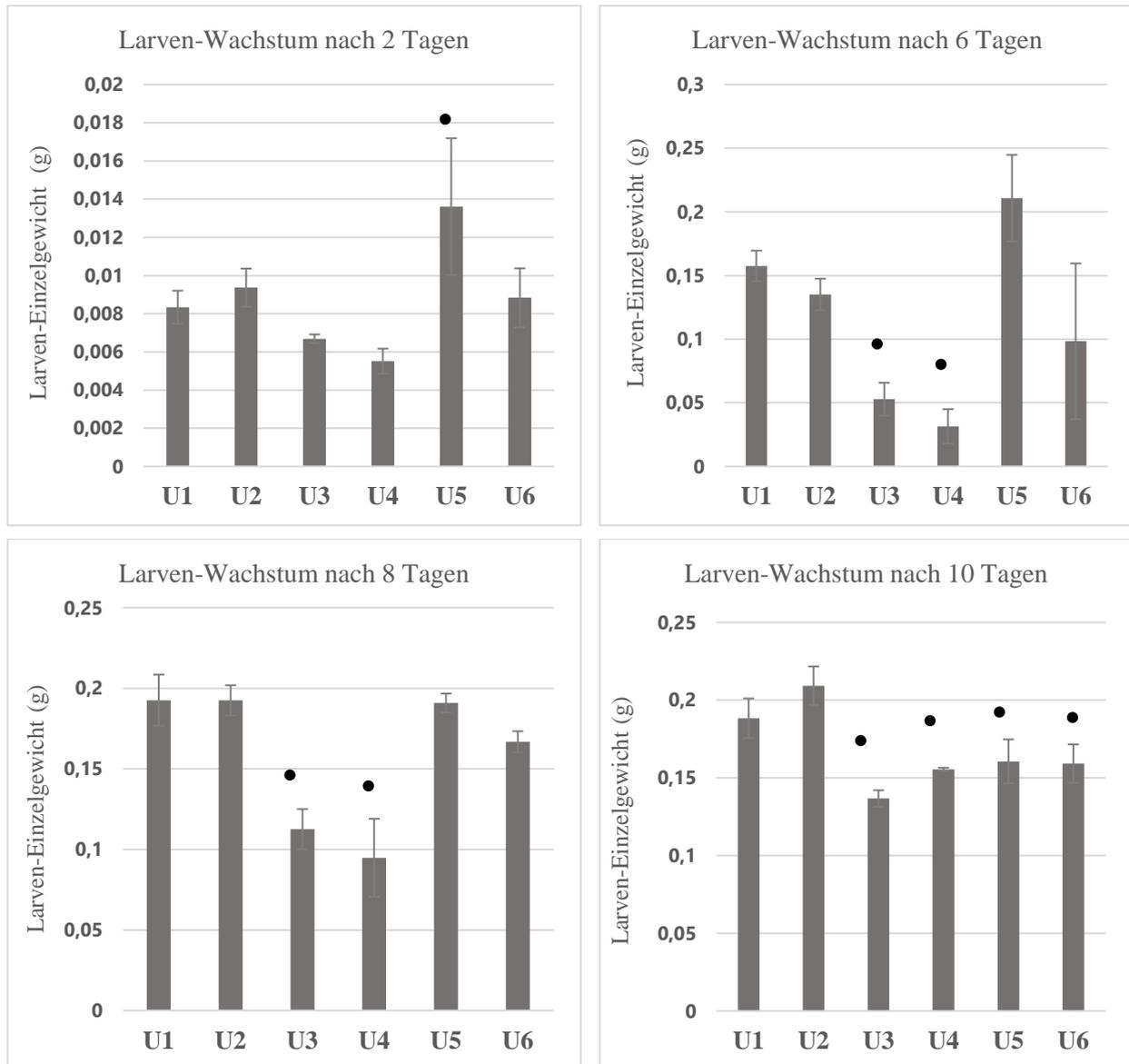


Abbildung 14: Ergebnisse ausgewählter Fütterungsversuche der Hemeta Baruth GmbH

Weitere Untersuchungen zur Optimierung der Substratnutzung sind geplant. Zum Beispiel könnte U3 durch die Reduzierung des Kaffeeabfalls und die Erhöhung der Kleie verbessert werden. U4 kann durch die Erhöhung des Wassergehalts und die vermehrte Zugabe eines Strukturelements "zum Beispiel Kleie oder Getreidespelze" optimiert werden. Zusätzlich können U5 und U6 durch Erhöhung der Gesamtmenge verbessert werden.

### Schlussfolgerungen AP 3

Neben der Futterstoffzusammensetzung und dem Wassergehalt wurde die Strukturbeschaffenheit als weiterer Einflussfaktor auf das Larvenwachstum identifiziert. Optimale Wachstumsbedingungen liegen in sehr flüssigen Futterstoffen erst nach einer Substratoptimierung beispielsweise durch Zugabe trockener und strukturgebender Co-Substrate vor. Die Entwicklung eines Futterstandards mit optimaler Futterzusammensetzung und Materialeigenschaften würde die Konditionierung von Substratmischungen erleichtern und zur Verbesserung der Rohstoffausnutzung beitragen. In Kooperation mit der Universität Rostock wird an dem Thema im Rahmen einer Promotionsarbeit gearbeitet.

### 3.1.4 AP 4 – Entwicklung neuer Verwertungspfade

Im AP 4 sollten auf Basis von Untersuchungen der Materialeigenschaften mögliche Anwendungsfelder für Insektenprodukte abgeleitet werden.

#### Hermetia-Fett

Als Nebenprodukt fallen im Herstellungsprozess Insektenfette an, für die es derzeit noch keine ökonomisch sinnvolle Anwendung gibt. Die Nutzung des Insektenfetts als Tierfutter wird nur bedingt angestrebt, da in der Tierernährung wesentlich mehr Protein als Fett benötigt wird. Im Rahmen des Arbeitspakets 4 sind Insektenfettproben aus dem Pilotanlagenbetrieb der Firma Hermetia GmbH näher charakterisiert worden. Im folgenden Abschnitt werden Versuche zur Insektenfettreinigung und Ergebnisse zur Charakterisierung des Insektenfetts vorgestellt.

#### Versuchsdurchführung Fettreinigung

Nach einer Rohölfiltration wurden 1,96 kg Rohfett auf 85 °C erwärmt. In der Hydratisierung (Wasserentschleimung) wurden 10 % entionisiertes Wasser in einem Rührkolben zugegeben und für 45 Minuten Reaktionszeit gerührt. Anschließend wurde das Öl für 2 Stunden zum Absetzen ruhen gelassen. Es konnten 225 ml Wasser und Schleimstoffe abgezogen werden (100 ml Wasser, 125 ml Schleimstoffe). Im nächsten Schritt erfolgte die Säureentschleimung. Bei einer Temperatur von 85 °C wurde 0,3 % Phosphorsäure 85 % 1:1 verdünnt hinzugegeben. Die Reaktion erfolgte mit Rühren für 45 Minuten. Anschließend wurden 200 ml Wasser zugegeben. Die Absetzzeit betrug danach 3 Stunden und 40 Minuten. Für die chemische Neutralisation bei einer Temperatur von 87...90 °C wurden NaOH 4 % mit einem Überschuss von 90 % für 20 Minuten Reaktionszeit gerührt und danach 200 ml Wasser. Nach der Absetzzeit von 60 Minuten wurden 360 ml Soapstock abgezogen. Es folgten insgesamt 5 Wäschen bis zum Erreichen des pH=7 im Waschwasser. Dafür wurden insgesamt 1000 ml Wasser bei einer Temperatur von 80 °C zugegeben und nach einer Reaktionszeit sowie dem folgenden Absetzen 990 ml Waschwasser abgezogen. Die Trocknung erfolgte bei 60 mbar und 60...90 °C für 55 Minuten. Während der Durchführung wurden insgesamt 61,91 g Material für begleitende Analytik entnommen.



Abbildung 15: Rohfett und gereinigte Fettprobe

### Analysenergebnisse

Mit der durchgeführten Reinigung konnten die Metalle und der Phosphor entfernt werden. Auch der Anteil freier Fettsäuren wurde weitgehend reduziert. Die Farbe vom Öl wurde deutlich heller, jedoch nahmen Peroxidzahl und Oxidationsstabilität zu. Je nach Art der geplanten Anwendung sind dabei für Phosphor, Magnesium und Calcium Konzentrationen unter 0,1 ppm erwünscht (auch für Fe, S, Cu). Weitere mögliche Raffinationsschritte sind dabei eine Bleichung und eine Desodorierung. In einer Bleichung kann das Öl hinsichtlich Farbe und Oxidationsstabilität verbessert werden, während in der Desodorierung der Anteil freie Fettsäuren /S Säurezahl und der Geruch verringert werden können. Die Anteile von Phosphor, Magnesium, Calcium, Schwefel, Eisen und Kupfer können in einer Bleichung ebenfalls noch deutlich reduziert werden.

In Tabelle 14 und Tabelle 15 sind die Ergebnisse einer umfassenden Fettanalytik des Rohöls und der gereinigten Fettprobe dargestellt.

Tabelle 14: Ergebnisse Fettcharakterisierung

Prüfparameter	Prüfmethode	Prüfergebnis	Prüfergebnis	Einheit
Freie Fettsäuren (FFA)	DIN EN ISO 660 :2009	0,61	0,06	% (m/m)
Peroxydzahl	DIN EN ISO 3960 :2010	13	28	meq O <sub>2</sub> /kg
Farbzahl rot	AOCS Cc 13e-92	>20	6,5	-
Farbzahl gelb		>120	84	-
Farbzahl	DIN ISO 2049 :2003	4,4	1,2	-
Oxidationsstabilität	DIN EN 14112 :2016	28,1	7,4	h
Phosphorgehalt	DIN EN 14107 :2003	620	8,3	mg/kg
Magnesium (Mg)	DIN EN 14538 :2006	100	1,9	mg/kg
Calcium (Ca)		330	10,5	mg/kg
Eisen	ASTM D6595	24	2	mg/kg
Chrom	ASTM D6595	0	0	mg/kg
Zinn	ASTM D6595	12	10	mg/kg
Aluminium	ASTM D6595	0	0	mg/kg
Nickel	ASTM D6595	0	0	mg/kg
Kupfer	ASTM D6595	2	0	mg/kg
Blei	ASTM D6595	5	3	mg/kg
Antimon	ASTM D6595	9	6	mg/kg
Mangan	ASTM D6595	80	0	mg/kg
PQ-Index	Magnetischer Metallabrieb als PQ-Index	< 25	< 25	

Tabelle 15: Ergebnisse Fettsäureanalytik

Prüfparameter	Prüfergebnis	Prüfergebnis	Einheit
	Rohöl	Öl gereinigt	
Anteil gesättigter Fettsäuren	79%	82%	%
Anteil einfach ungesättigter Fettsäuren	13%	11%	%
Anteil mehrfach ungesättigter Fettsäuren	8%	7%	%
Anteil trans-Fettsäuren	0%	0%	%
Anteil Omega-3-Fettsäuren	1%	1%	%
Anteil Omega-6-Fettsäuren	7%	6%	%
Caprinsäure C 10:0	1,06	1,03	%OS
Laurinsäure C 12:0	40,80	47,90	%OS
Myristinsäure C 14:0	8,49	10,30	%OS
Myristoleinsäure C 14:1	0,25	0,26	%OS
Pentadecansäure C 15:0	0,09	0,10	%OS
Palmitinsäure C 16:0	9,93	11,00	%OS
Palmitoleinsäure C 16:1	0,01	2,37	%OS
Margarinsäure C 17:0	2,27	0,11	%OS
Stearinsäure C 18:0	<0,1	1,46	%OS
Octadecensäure	<0,1	0,08	%OS
Ölsäure C 18:1	0,12	6,54	%OS
cis-Vaccensäure C 18:1	<0,2	0,28	%OS
Octadecadiensäure	1,53	0,05	%OS
Linolsäure C 18:2 omega-6	0,07	5,27	%OS
alpha-Linolensäure	6,52	0,57	%OS
Summe gesättigter Fettsäuren	62,10	72,00	%OS
Summe einfach ungesättigter Fettsäuren	9,78	9,94	%OS
Gesamtsumme Fettsäuren	78,20	87,90	%OS
Summe mehrfach ungesättigter Fettsäuren	6,36	5,96	%OS
Summe trans-Fettsäuren	0,17	0,19	%OS
Omega-3-Fettsäuren	0,62	0,57	%OS
Omega-6-Fettsäuren	5,64	5,30	%OS

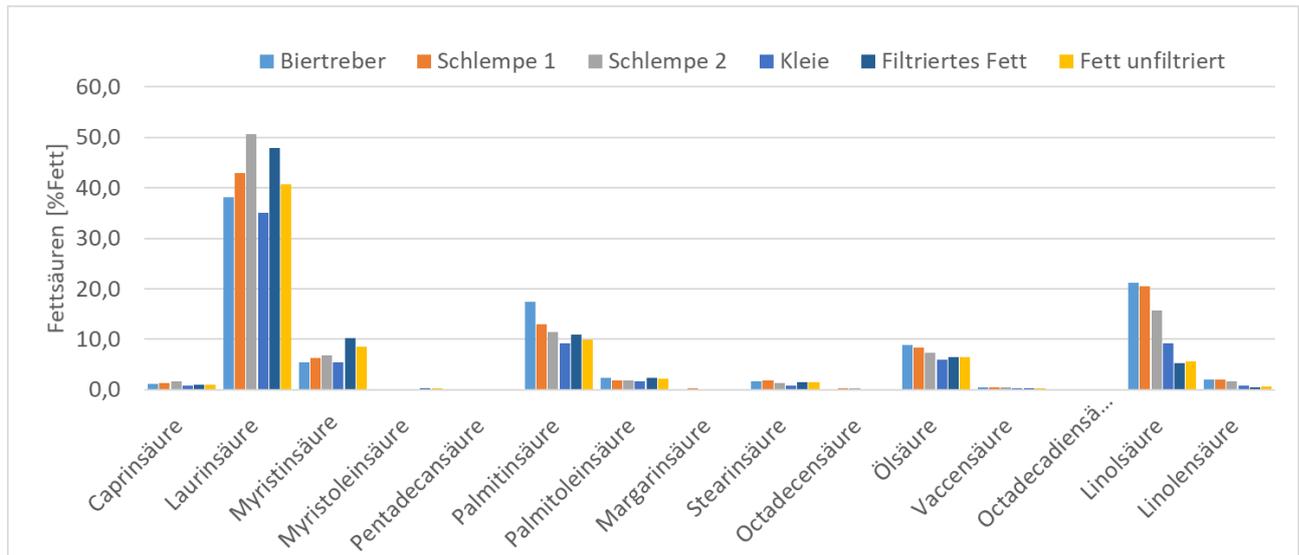


Abbildung 16: Fettsäurezusammensetzung von mit Biertreber, Getreideschlempe und Kleie gefütterter Hermetialarven

### Schlussfolgerungen Fettanalytik

Die Voruntersuchungen zu den stofflichen Eigenschaften des Insektenfetts haben gezeigt, dass die Herstellung hochwertiger Zielprodukte wie beispielsweise bio-basierte und biologisch-abbaubare Hochleistungsschmierstoffe aus Insektenfett möglich erscheint.

Bioschmierstoffe werden vorwiegend als Verlustschmierstoffe eingesetzt vor allem im Forstbereich und im Baugewerbe. Im Hochpreis-Marktsegment sind Bioschmierfette und Hydrauliköle zu finden. Bio-Schmierstoffe müssen nach DIN SPEC 51523 zu mindestens 25 % aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt sein, sowie entsprechend der OECD 301 Testmethode biologisch schnell abbaubar sein. Weiterhin dürfen Bioschmierstoffe nicht als umweltgefährdend eingestuft sein. Zudem muss sichergestellt sein, dass der Bioschmierstoff für eine bestimmte Anwendung gebrauchstauglich ist.

Insektenfett, das während der Insektenproteinherstellung als Nebenprodukt anfällt, ist innerhalb kürzester Zeit biologisch abbaubar und nicht umweltgefährdend. Für die Gewinnung von Insektenfett können zu 100 % nachwachsende Rohstoffe auf Reststoffbasis genutzt werden und nur ein geringer Einsatz an Produktionsflächen, Energie und Wasser wird benötigt. Da Rohstoffe auf Reststoffbasis zum Einsatz kommen, fällt die LCA der Zielprodukte sehr günstig aus. Für die Herstellung von Bioschmierstoffen werden derzeit fast ausschließlich additivierte Fettsäureester auf Pflanzenölbasis eingesetzt. Trotz der vergleichsweise schlechten Umweltwirkung sind Palmöl und Palmkernöl die derzeit bedeutendsten Ausgangsöle.

Bioschmierstoffe aus Insektenfett könnten eine höherwertige Alternative zu fossilen Schmierstoffen darstellen mit besseren Schmierstoffeigenschaften wie Tieftemperatureignung und Verdampfungsneigung, wenn eine umfassende und kostengünstige Insektenfettveredelung gelingt. Die Umweltwirkung von Bioschmierstoffen aus Insektenfett fällt zudem deutlich besser aus als bei konventionellen Schmierstoffen. Die Untersuchungen im AP 4 haben Insektenfett als möglichen Grundstoff für die Entwicklung von Bio-Olefinen identifiziert. Nach einer mehrstufigen Fettreinigung konnte ein schwebstoffreies Insektenfett mit hohem Gehalte an gesättigten Fettsäuren und hohen Anteilen an Laurinsäure gewonnen werden. Die Entwicklung von Verlustschmierstoffen wie z.B. Kettenfett oder Hydrauliköl für den Forstbereich oder Schmierfett für den Einsatz im marinen Bereich auf Basis von

Insektenfett erscheint nach derzeitigem Kenntnisstand möglich. Die vorliegenden Rohfetteigenschaften, vor allem der hohe Anteil an gesättigten Fettsäuren, machen allerdings eine weitere Produktaufbereitung (Raffination, chemische Modifikation/ Veresterung und Additivierung) erforderlich, um die marktüblichen Produktspezifikationen erfüllen zu können. Im Eine Darstellung der angestrebten Zielprodukte und der erforderlichen Veredelungsschritte die im Forschungsprojekt BioLube (FKZ:031B111B) untersucht werden, sind in Abbildung 17 dargestellt. Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung bio-basierter und biologisch-abbaubarer Hochleistungsschmierstoffe auf Basis von Insektenfett für den breiten technischen Einsatz als Spezialschmierfett, Hydraulik- und Schmieröl. Einsatzgebiete der Zielprodukte sind in fast allen technischen Bereichen zu finden, vor allem aber in umweltsensiblen Bereichen z. B. in der Forst- und Bauwirtschaft, in der Schifffahrt und im Abwassermanagement. Bioschmierstoffe müssen dort, neben hervorragenden technischen Eigenschaften, eine gute Umweltverträglichkeit und schnelle biologische Abbaubarkeit vorweisen. Insektenfett ist bisher nicht als Grundstoff für die Bioschmierstoffherzeugung untersucht worden. Es gibt nur sehr wenige Daten zu den Materialeigenschaften und kaum Informationen zu den prozesstechnischen Erfordernissen der Produktaufbereitung.

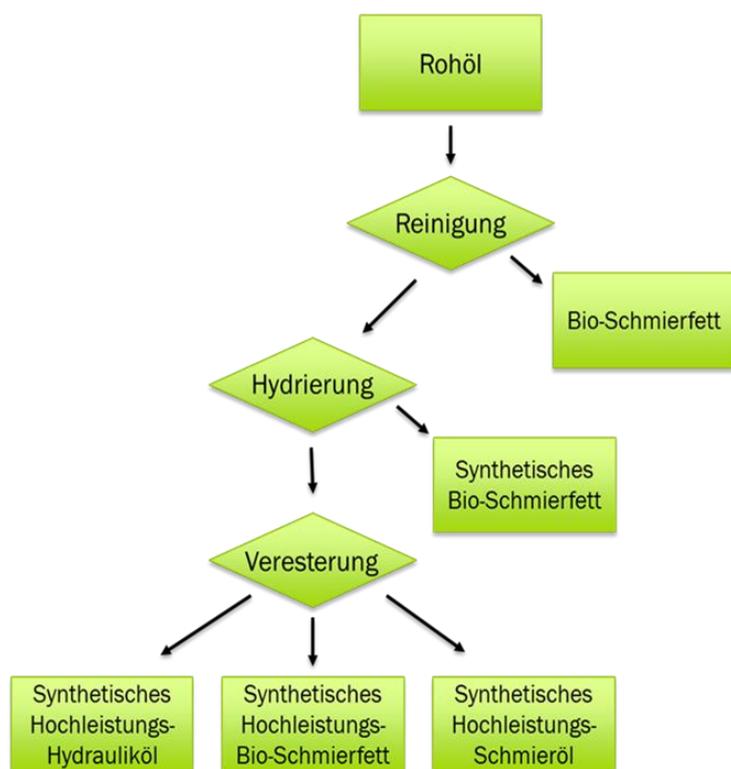


Abbildung 17: Angestrebten Zielprodukte und erforderliche Veredelungsschritte (Projekt BioLube)

Das Vermarktungspotenzial für die insektenfettbasierte Bioschmierstoffe ist positiv zu bewerten. Allein der Inlandabsatz von Schmierstoffen liegt in Deutschland bei etwa 1 Mio. t. Spezialisierte biobasierte Bioschmierstoffe ersetzen zunehmend konventionelle fossile Schmierstoffe im Bereich der Hydrauliköle (27 %), Sägeketten-/Sägegatteröle (24 %), Schalöle/Betontrennmittel (14 %) und Schmierfette (11 %). Anwender aus verschiedenen technischen Bereichen entscheiden sich für eine Umstellung auf biologische Schmierstoffe vor allem aufgrund der besseren technischen Eigenschaften wie z. B. geringere Verdampfungsneigung, höherer Flammpunkt, Wasserverdrängungsverhalten, Korrosionsschutzwirkung und deutlich verbessertes Temperatur-Viskositätsverhalten. Zudem bieten biologische Schmierstoffe

eine bessere Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit gegenüber fossilen Schmierstoffen, was speziell für den Einsatz in Umweltsensiblen Bereichen (Forst, Landwirtschaft, Schifffahrt) von Vorteil ist. Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe erstellt in regelmäßigen Abständen Marktpotentialstudien für den Bereich der Bioschmierstoffe. Im Jahr 2014 lag der Anteil biobasierte Öle im Bereich der Bioschmierstoffe bei ca. 43.000 t und es wird von einem durchschnittlichen Wachstum von jährlich 2 bis 4 % ausgegangen.

#### Fazit

Als Rohöle für die Gewinnung von Bioschmierstoffen kommen vor allem Palmöl/Palmkernöl (ca. 14000 t), Rapsöl (ca. 10000 t) und tierische Fette (ca. 1000 t) zum Einsatz. Für die Herstellung besonders hochwertiger Bioschmierstoffe werden darüber hinaus Kokosfett, hochölsäurereiches Sonnenblumenöl und Rizinusöl verwendet. Insektenfett, das als Nebenprodukt der Proteinerzeugung aus lokalen Reststoffen anfällt, zeichnet sich durch eine weit bessere Umweltwirkung gegenüber importierten Pflanzenölen wie Palmöl/Palmkernöl, Kokosfett und Rizinusöl aus. Derzeitige Prognosen gehen von zukünftig sinkenden Erträgen in der Palmölproduktion aus und aktuelle Ereignisse zeigen die Risiken globaler Lieferketten und von Rohstoffabhängigkeiten auf.

#### Hermetia-Protein

Insekten und verarbeitete Insektenmehle werden weltweit im Bereich Nutztierhaltung und Aquakultur als Futtermittel eingesetzt. Die Eignung von lebenden und getrockneten Hermetia Larven und verarbeitetem Hermetia-Proteinmehl als Futtermittel wurde zum Beispiel in folgenden Studien an Nutz- und Haustieren sowie Fischen getestet. Nach derzeitigem Kenntnisstand können konventionelle Futtermittel in der Schweine- und Geflügelmast und in der Forellenzucht anteilig, ohne Leistungs- oder Qualitätsverluste zu riskieren, durch Hermetia-Proteinmehl ersetzt werden (Makkar et al. 2014, Maurer et al. 2016; Kroeckel et al. 2012). Die Rechtslage in der EU ist momentan noch gegen den Einsatz von Insektenmehlen in Nutztierfuttermitteln. Es wird in den nächsten zwei Jahren sowohl mit der Zulassung als Tierfutter gerechnet als auch mit der Verabschiedung genau festgelegter Anforderungen an die Einsatzstoffe, die an Insekten verfüttert werden dürfen.

Ein wenig bekannter Markt für Hermetia-Protein sind Futtermittel im Haustierbereich. Alleine in Deutschland wurden 2015 über 1,5 Mio. t Haustierfutter abgesetzt. Besonderheiten sind hier die vom Kunden gewünschten Zusatzeigenschaften (vitaminangereicherte, lactosereduzierte oder anderweitig die Haustiergesundheit fördernde Effekte) sowie zunehmend die Herkunft der eingesetzten Futterstoffe. So verfolgt „MARS Petcare“ (Wiskas) als führendes Haustierfutterunternehmen eine Strategie zur Reduzierung der Fisch-basierten Inputstoffe. Bis 2020 sollen weitere alternative „fischfreie“ Proteinquellen für den Tiernahrungsbereich erschlossen werden (vgl. mars.com „Fish“). Die erzielbaren Preise für Haustierfutter liegen in einer Spanne zwischen 2500 und 4800 EUR/t, abhängig vom Marktsegment (Discount-Marke oder „Functional Pet Food“). Die Trends in Deutschland weisen eine zunehmende Haustierpopulation auf (auch im Zusammenhang mit der deutschen demographischen Entwicklung). In Deutschland wurden 2015 ca. 5 Mrd. EUR umgesetzt, auf dem US-Markt ca. 20 Mrd. EUR.

### Untersuchungen von Hermetia-Proteinmehl

Hermetia Larven können nach van Huis und Tomberlin 2017 einen durchschnittliche Proteingehalt von ca. 50 bis 60 % Trockenmasse (TM) aufweisen. Die in unserer Studie gewonnenen Hermetia-Larven enthielten einen Proteingehalt zwischen 12 bis 55 % TM. Es konnte gezeigt werden, dass zwischen dem Substratproteingehalt und dem Larvenproteingehalt eine positive korrelative Abhängigkeit besteht (Siehe Abschnitt 3.3.2). Die Proteinzusammensetzung von Hermetia Larven wurde in verschiedenen Arbeiten bereits untersucht und auf die hochwertige Aminosäurezusammensetzung hingewiesen (Wang und Shelomi 2017). Im Rahmen des AP 4 wurden Untersuchungen zur Charakterisierung von Hermetia-Protein-Mehl durchgeführt: Untersuchung der Aminosäurezusammensetzung von Hermetia in Abhängigkeit vom verwendeten Futterstoff (Abbildung 18) Ermittlung des Denaturierungsverhaltens (Thermostabilitätsmessung mittels DSC (Abbildung 19) Proteindispersierbarkeitsindex (PDI) zur Determinierung geeigneter Lösungsmittel und Proteinlöslichkeitsstests nach Morr (Abbildung 20), Schaumbildung nach Poole, Gelbildung, Filmbildung nach Patzsch, Emulsionsbildung nach Muschiolik, Thermostabilität nach Sousa. Für die Bewertung der Dispersierbarkeit des Mehles wurden mehrere Lösemittel verwendet. Dagegen wurde für die Messung der Proteinlöslichkeit Wasser als Lösemittel genutzt.

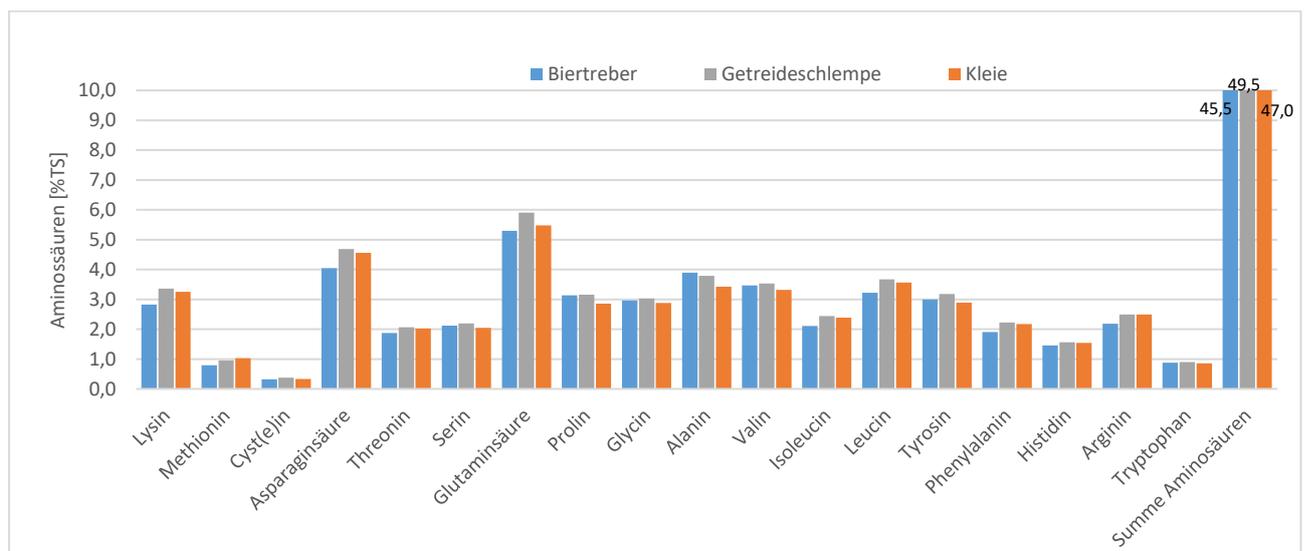


Abbildung 18: Proteinzusammensetzung von mit Biertreber, Getreideschlempe und Kleie gefütterter Hermetialarven

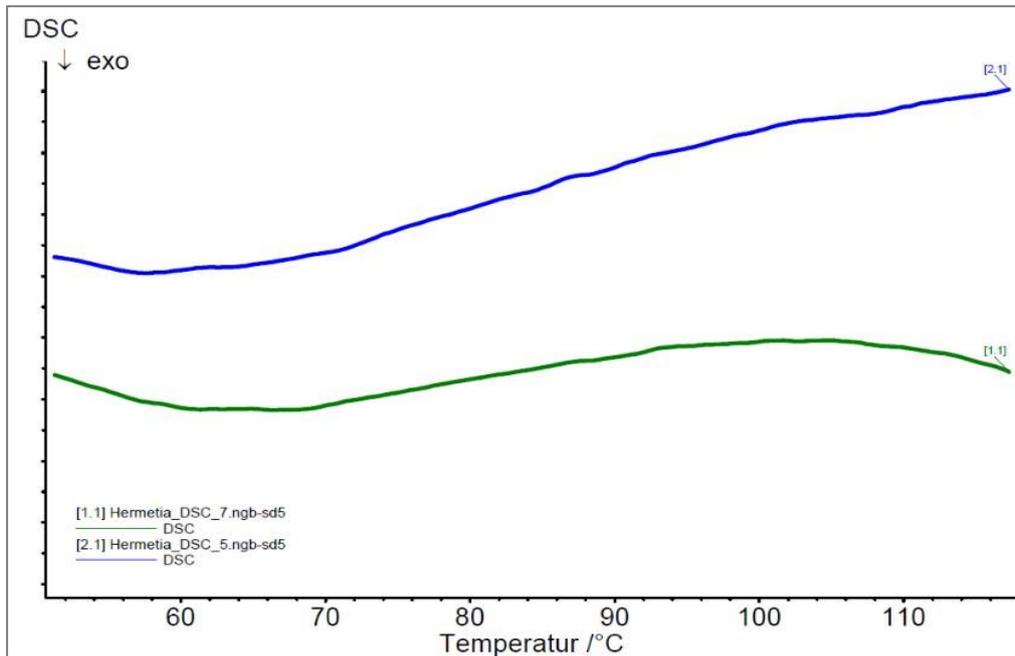


Abbildung 19: Thermostabilität DSC-Messung von 40%iger Hermetiaproteinsuspensionen

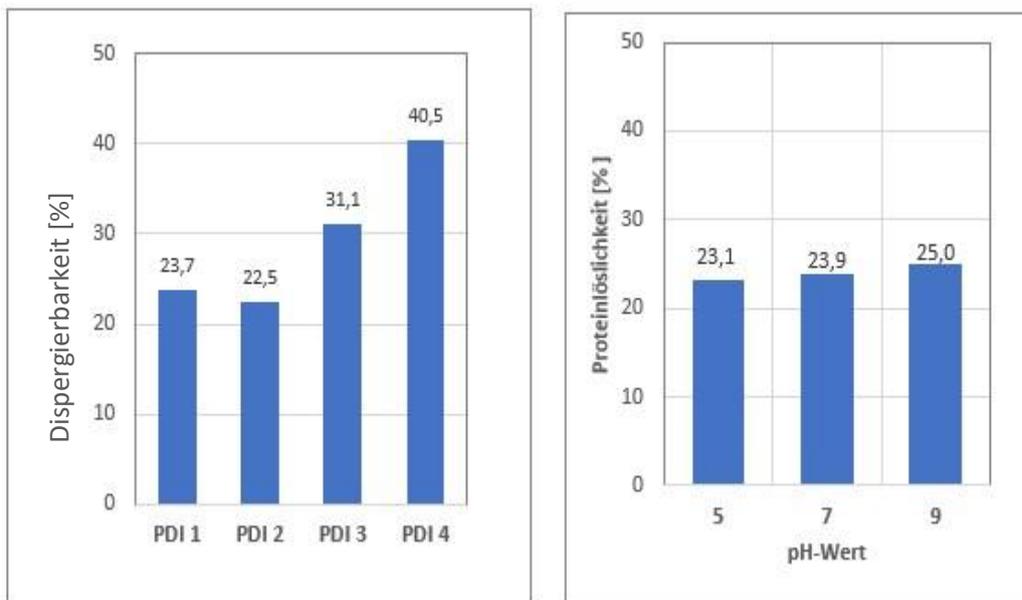
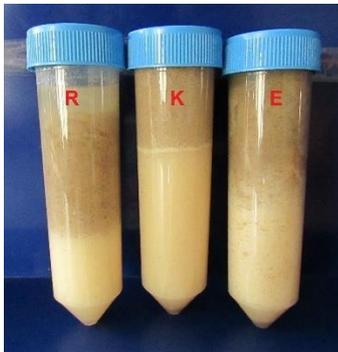
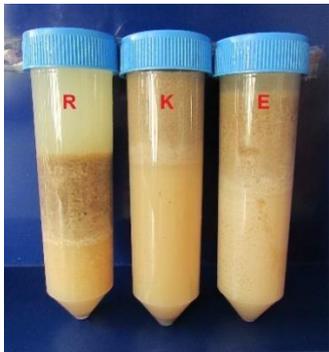


Abbildung 20: Ergebnisse Dispergierbarkeit und Proteinlöslichkeit des Mehles; PDI 1: im Leitungswasser; pH-Wert 8,6 / PDI 2:im 0,5 M NaCl-Lösung; pH-Wert 8,6 / PDI 3: in 50% Essigsäure-Lösung; pH-Wert 2,5 / PDI 4:in 2M NaOH -Lösung; pH-Wert 12,9

### Messung der Technofunktionalität des Mehles

Für die Messung der Technofunktionalität des Mehles wurde dieses in Leitungswasser sowie in 0,5 M NaCl-Lösung untersucht.

Tabelle 16: Messung der Technofunktionalität des Mehles

	Leitungswasser	0,5 M NaCl
<p><b>Schaumbildung:</b></p> <p>-5% Proteinlösung</p> <p>-Schlagen bei RT, 5 min, 1000 rpm</p>		
	Keine Schaumbildung	Keine Schaumbildung
<p><b>Filmbildung:</b></p> <p>-5% Proteinlösung</p> <p>-Erhitzen bei 80 °C, 30 min.</p> <p>-Aufnahme nach 2 Tagen</p>		
-	Keine Filmbildung	Keine Filmbildung
<p><b>Gelbildung:</b></p> <p>-20% Proteinsuspension - Erhitzen bei 80 °C.</p> <p>-Aufnahme nach Abkühlen</p>		
	Gelverhalten vorhanden	Schwaches Gelverhalten
<p><b>Emulsionsbildung:</b></p> <p>-2% Protein, 30% Öl, hochdruckhomogenisiert</p> <p>R: Raumtemperatur</p> <p>K: Kühlschrank 24 h</p> <p>E: Erhitzt 90 °C</p>		
	Keine Emulsionsbildung	Keine Emulsionsbildung

#### Auswertung der Untersuchungen

Bei dem untersuchten Hermetia-Mehl handelte es sich um ein entfettetes Mehl mit einem Proteingehalt von 57,9 (% TS) und einer Restfeuchte von 3,6 %. Das Mehl zeigte eine dunkle braune Farbe mit einem leichten Ammoniak-Geruch. Bei einer Wiederlösung in Wasser wies das Mehl ein alkalisches Verhalten (pH-Wert von 8,6) auf. Nach der Messung der Thermostabilität des Mehles mittels DSC wurde kein Hinweis auf eine Proteinaktivität gefunden (Siehe Abbildung 19). Die Proteine weisen aber ein Signal in Form eines Peaks zwischen 60 °C und 100 °C auf. Der Anwesenheit des Peaks liegt höchstwahrscheinlich eine Denaturierung des Proteins durch thermobelastende Verarbeitungsschritte zu Grunde. So könnte z.B. beim Trocknen, Pressen und Mahlen die Nativität des Proteins negativ beeinflusst worden sein.

Die Messung der Löslichkeit bzw. Dispergierbarkeit des Proteins deutet darauf hin, dass die Proteinlöslichkeit von der Einstellung des pH-Werts abhängt. So wurde bei der Anwendung von Wasser, Salzlösung und Essigsäure ein PDI-Wert von < 31 % gemessen. Dagegen betrug die Dispergierung im extremen alkalischen Bereich (PDI 4) > 40 %. Weitere Einstellungen des pH-Werts bei 5, 7 und 9 (übliche Bereiche bei Lebensmitteln) zeigen eine bedingte Löslichkeit bis zu 25 % (Abbildung 20).

Für die technofunktionelle Bewertung des Mehles wurden industrienaher Bedingungen ausgewählt. So wurden für die Durchführung dieser Versuche Salzlösung und Leitungswasser als wässriges Medium verwendet. Eine Schaum-, Film- und Emulsionsbildungsfähigkeit des Mehles unter definierten Parametern, wurde nicht beobachtet. Höchstwahrscheinlich handelt es sich hier um eine Wirkung der Denaturierung des Proteins, welche die Löslichkeit und weiteren Eigenschaften negativ beeinflusst. Allerdings ist eine Gelbildungsfähigkeit des Mehles festzustellen. Obwohl im Wasser sowie in NaCl-Lösung zeigte das Mehl nach einer Erhitzung bei 80 °C und einer Abkühlung bei 9 °C eine Netzwerk-Bildung.

#### Schlussfolgerungen aus den Charakterisierungsversuchen

Das untersuchte Mehl ist in diesem Zustand kaum für eine direkte Anwendung im Lebensmittelbereich geeignet. Negative sensorische Eigenschaften sowie eine bedingte Löslichkeit sind u. a. als Hindernis zu nennen.

Die vorhandenen Gelverhalten des Mehles eröffnet die Möglichkeit, diesen als neuen Rohstoff für die Anwendung in Food und Non-Food-Bereich zu nutzen. Allerdings sind noch weitere Untersuchungen notwendig wie z. B.:

- Verbesserung der sensorischen Eigenschaften (Farbe und Geruch) für die Anwendung in den Lebensmittelbereich.
- Isolierung bzw. Aufkonzentrierung des Proteins zur Feststellung der Effekte des Proteins auf die Technofunktionalität (z.B. Gelbildung).
- Quantifizierung der Gel-Qualität mittels standardisierter Methode im Vergleich mit herkömmlichen Gelbildner z. B. Messung der Textur und Festigkeit des Gels.

Im Projektverlauf konnte kein Praxispartner für die gemeinsame Entwicklung von Komplexnährmedien gewonnen werden. Als Ursache für das geringe Interesse wurden die bisher zu geringen

Produktionsmengen, schwankenden Produktqualitäten und die vergleichsweise hohen Rohstoffkosten im Vergleich zu konventionellen Proteinquellen genannt.

#### Reststoffe der Insektenzucht

Im nachfolgenden Abschnitt werden Anwendungsmöglichkeiten für Reststoffe aus der Insektenzucht diskutiert. Am DBFZ wurden Heizwertanalysen der Futterreste durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Futterreste der Insektenzucht ein vergleichbar hohes Energiepotential (Heizwert von 17,20 MJ/kg TS) besitzen und somit eine Vermarktung als Brennstoff für Biomasseheizkraftwerke möglich erscheint.

Futterwertanalysen der Futterreste haben darüber hinaus gezeigt, dass Insektenfraß Rohproteingehalte von zwischen 20 und 60 % aufweist. Die Nutzung der Futterreste in der Nutztierfütterung kommt aufgrund der europäischen Rechtsprechung für Nutztierfuttermittel nicht in Frage. Die Verwendung im Bereich der Zierfischzucht erscheint hingegen möglich. Erste Pelletversuche mit dem Futterrest wurden erfolgreich durchgeführt. Der Einsatz von Futterresten als Zierfischfutter soll im Projektverlauf untersucht werden.



Abbildung 21: Gepresste Pellets aus Insektenfraß

#### Insektenfraß als Substratmaterial für die Edelpilzzucht

Die Edelpilzzucht ist ein vergleichsweise junges Wirtschaftsfeld in Deutschland. Die Produktionszahlen für Edelpilze nehmen allerdings jährlich zu, was auf sich ändernde Essgewohnheiten und auf die gesteigerte Nachfrage nach vegetarischen proteinreichen Nahrungsmitteln zurückzuführen ist. Mengenmäßig ist der Champignon der am häufigsten angebauten Speisepilz in Deutschland. Andere Edelpilze wie Shiitake- Austern- oder Ulmenseitling werden zunehmend angebaut.

Kultursubstrate für die Pilzzucht sind speziell auf den entsprechenden Speisepilz angepasst und setzen sich meist aus mehreren Komponenten zusammen. Häufig ist hierbei ein hoher Stickstoffgehalt des Substrates erwünscht. In ersten Kulturversuchen am DBFZ wird derzeit die Eignung der Futterreste der Insektenzucht als Substratmaterial für die Edelpilzproduktion untersucht. Die vorläufigen Ergebnisse der

Aufwuchsversuche (Siehe Abbildung 22) sind vielversprechend. Eine erste Wirtschaftlichkeitsbetrachtung soll nach Abschluss der Versuche erfolgen.



Abbildung 22: Versuche zur Edelpilzzucht mit Insektenfraß als Kultursubstrat

#### Kultursubstrat und organisches Düngemittel

Futtermittelanalysen von Insektenfraßproben am DBFZ haben gezeigt, dass Insektenfraß einen hohen Stickstoffgehalt von ca. 40% enthält. Außerhalb der EU wird Insektenfrass bereits als organischer Dünger gehandelt. In Europa laufen verschiedene Zulassungsanträge.

#### Zierfischfutter

Die Nutzung der Futterreste in der Nutztierfütterung kommt allerdings aufgrund der europäischen Rechtsprechung für Nutztierfuttermittel nicht in Frage. Die Verwendung im Bereich der privaten Zierfischhaltung erscheint nach dem derzeitigen Kenntnisstand dagegen möglich. Erste Pelletierversuche am DBFZ haben gezeigt, dass sich Insektenfraß problemlos in eine stabile Pelletform pressen lässt. Nach einer ersten Recherche können pelletierte Zierfischfutter mit einem Rohproteingehalt von ca. 30% einen Einzelverkaufspreis im Futterhandel zwischen 3.000 und 4.000 €/t Frischmasse erzielen. In einer kleineren Vorversuchsserie soll nun die Eignung der Futterreste als Zierfischfutter getestet werden. Es bleibt zu prüfen, ob der Ammoniumgehalt des Insektenfraß von ca. 10 g/kg eine Verwendung als Zierfischfutter verhindert. Ebenfalls ist die rechtliche Einordnung der Futterreste noch nicht abschließend geklärt.

### 3.1.5 AP 5 – Machbarkeitsstudie – Integriertes Anlagenkonzept

Im Arbeitspaket 5 wurde die Möglichkeit der Integrierung der Insektenmehlproduktion in den Betrieb bestehender Biogasanlagen untersucht. Synergieeffekte entstehen aus der Verfahrenskombination durch die Abwärmenutzung der Biogasanlage für die Beheizung der Insektenfarm und zur Produkttrocknung sowie der Reststoffnutzung der Insektenfarm als potentielles Biogassubstrat. Deutschland weist mit mehr als 9.000 Biogasanlagen einen großen Anlagenbestand auf. Diese Anlagen

verfügen über eine etablierte Rohstoffversorgung, das entsprechende Materialhandling und stellen große Mengen Wärmeenergie vor Ort bereit. Auf diese Infrastruktur kann eine Insektenproduktion und die zugehörige Aufbereitung aufgesetzt bzw. daran ausgerichtet werden. Hierdurch könnten sich attraktive Betreibermodelle ergeben, die eine schnelle Steigerung der Insektenproteinproduktion erwarten lassen. Hinzu kommt, dass durch die gesetzlichen Änderungen im Bereich der Einspeisevergütung für erneuerbare Energien, neue Wertschöpfungswege für Biogasanlagenbetreiber auf einen realen – und in den nächsten 5 bis 10 Jahren rapide ansteigenden – Marktbedarf im Bereich der Anlagenerweiterung treffen. Die Erzeugung hochwertiger Insekten als erster Schritt entsprechender Wertschöpfungsketten und der Einsatz von Reststoffen aus der Insektenproduktion im Biogasprozess erhöht die Effizienz der Ressourcennutzung. Die organischen Bestandteile der Reststoffe werden im Biogasprozess zu mineralischen Pflanzennährstoffen umgesetzt, die in Form von Gärresten gewöhnlich als landwirtschaftliches Düngematerial verwertet werden. Ein Prozess- sowie eine Fließschema zur Verdeutlichung der Verfahrenskombination aus Insektenzucht und Biogasproduktion sind in Abbildung 23 und Abbildung 24 dargestellt.

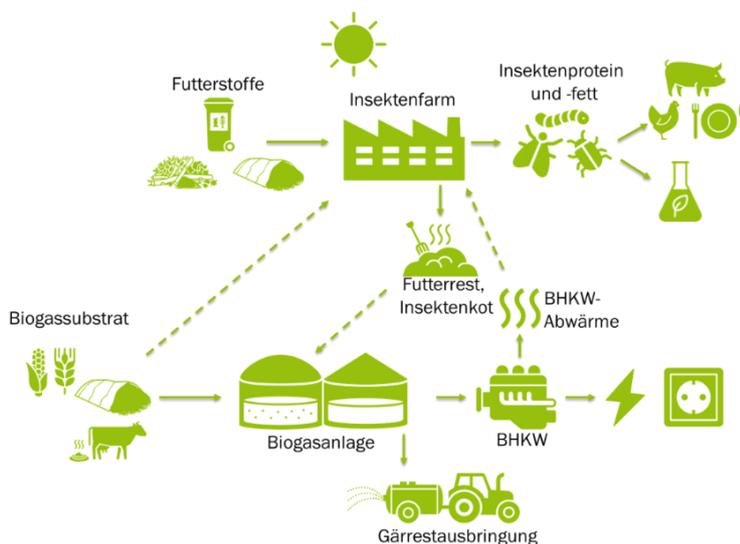


Abbildung 23: Prozessschema der integrierten Insektenmehlproduktion am Standort einer Biogasanlage

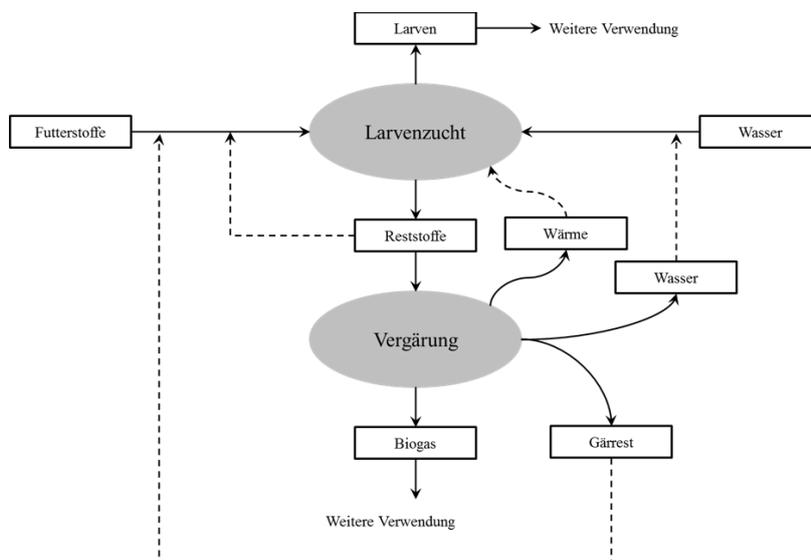


Abbildung 24: Fließschema der kombinierten Insektenzucht und Biogasproduktion

### Diskontinuierliche Gärversuche zur Bestimmung des Biomethanpotenzials von Insektenfraß

Insektenfraß aus dem Pilotanlagenbetrieb der Firma Hermetia Baruth wurde in diskontinuierlichen Gärversuchen auf sein Biomethanpotenzial untersucht. Die Tests wurden nach der Methodenvorschrift VDI 4630 durchgeführt. Die Substratuntersuchungen erfolgten jeweils als Dreifachbestimmung. Die Probenflaschen waren während der Versuchszeit kontinuierlich gerührt und mit Hilfe eines Wasserbades bei 39 °C temperiert. Die Gärversuche wurden mit dem automatisierten Batchtestsystem AMPTS II der Firma Bioprocesscontrol (siehe Abbildung 25) durchgeführt und die Methanbildung fortlaufend aufgezeichnet. Das Abbruchkriterium des Gärtests war erreicht, nachdem die tägliche Methanbildung drei Tage lang unter 1 % lag. Der Versuch wurde nach 33 Tagen beendet, ausgewertet und die gebildeten Methanmengen auf die organische Trockensubstanz (oTS) bzw. Frischmasse (FM) bezogen. Als Referenzsubstrat wurde Mikrokristalline Cellulose (MCC) eingesetzt. Das in VDI 4630 geforderte Methanpotenzial der MCC wurde erreicht. Die erforderliche Qualität des verwendeten Impfschlammes und Versuchsaufbaus war somit gegeben. In

Tabelle 17 und Abbildung 26 sind die Ergebnisse der Gärversuche mit den fünf getesteten Insektenfraßproben dargestellt. Die höchsten Methanausbeuten konnten mit den Insektenfraßproben der Maissilage-Fütterungsversuche erzielt werden. Das Methanpotential der Probe lag im Bereich von 367 mL / g oTS bzw. 45 mL / g FM. Das niedrigste Methanpotenzial zeigte die Insektenfraßprobe aus den Fütterungsversuchen mit Brennereischlempe mit einem Wert von 201 mL / g oTS bzw. 12 mL / g FM. Die Testergebnisse zeigen, dass mit Insektenfraß ähnliche Methanbildungspotenziale erzielt werden können wie mit anderen tierische Reststoffen wie z. B. Rinder und Schweinegülle sowie Hühnertrockenkot. Die Methanbildungsverläufe deuten auf eine gute Abbaubarkeit der Substrate. Bereits nach circa 30 Tagen Versuchsdauer war die Gasbildung weitestgehend abgeschlossen.

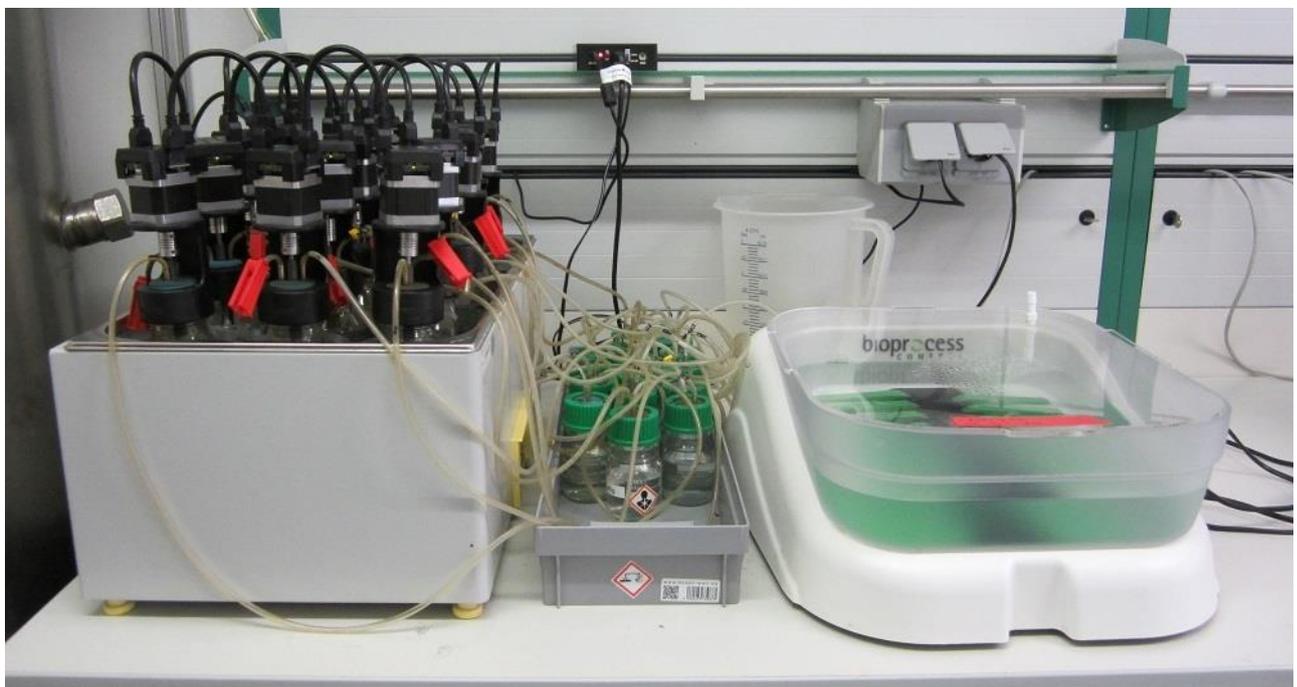


Abbildung 25: Batch-Test mit AMPTS II-Gerät von Bioprocesscontrol [DBFZ]

Tabelle 17: Zusammenfassung Gärtestergebnisse

Spezifisches Methanbildungspotenzial	mL / g oTS	m <sup>3</sup> / t FM
Insektenfraß Getreideschlempe	201±9	12±1
Insektenfraß Getreideschrot	240±9	25±1
Insektenfraß Elodea	288±38	4±1
Insektenfraß Biertreber	334±1	30±0
Insektenfraß Maissilage	367±24	45±3
Referenz Rindergülle(* FNR 2016)	110–275	11–19
Referenz Schweinegülle*	180–360	12–21
Referenz Hühnerkot*	200–360	70–140

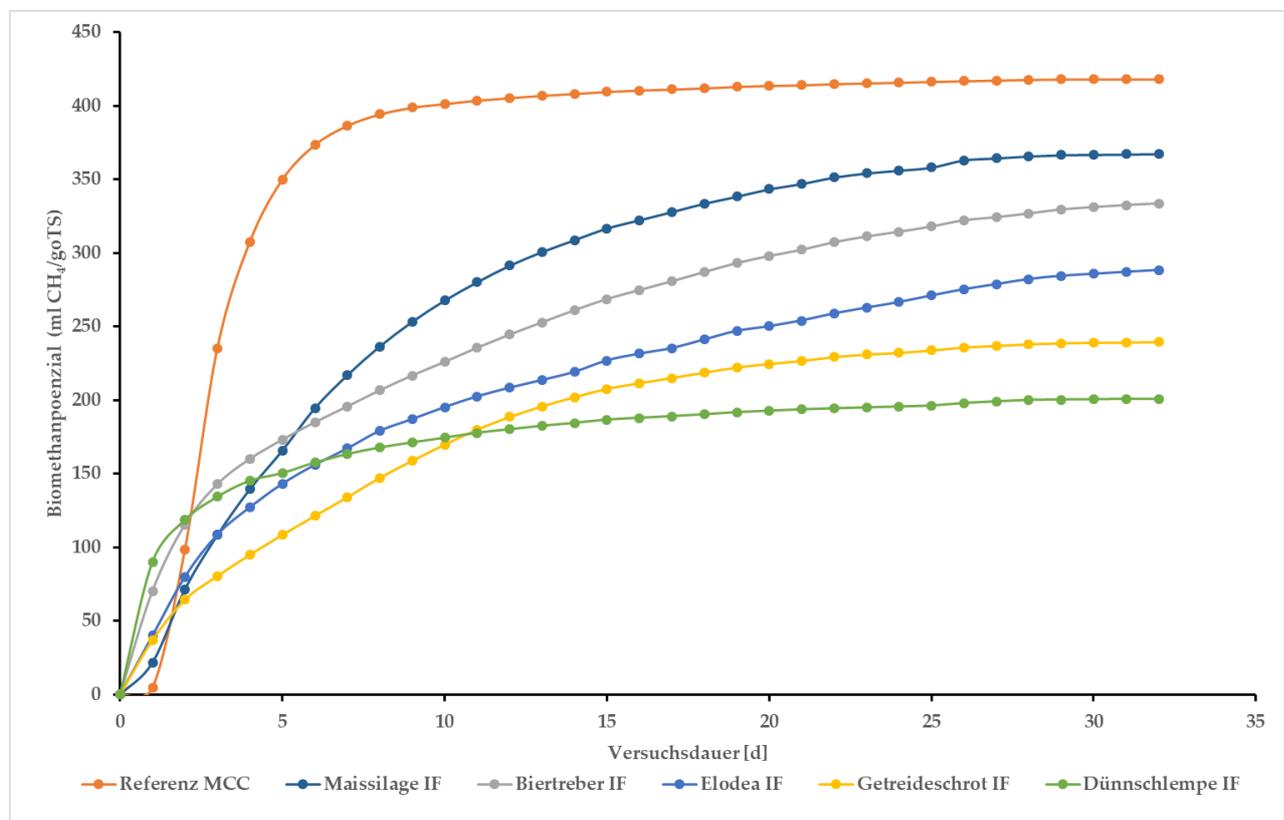


Abbildung 26: Batch-Test Ergebnisse dargestellt als kumulative Methanbildung (IF) Insektenfraß

### Semi-Kontinuierliche Gärversuche

In zwei kontinuierlich betriebenen Rührkesselfermentern wurde Futterrest aus dem Praxisbetrieb der Hermetia Baruth GmbH als potenzielles Biogassubstrat untersucht. Bei den verwendeten Fermentern handelt es sich um doppelwandige, kontinuierlich gerührte Fermenter, die über eine externen Wärmeversorgung auf 38 °C temperiert wurden. Der Versuchsaufbau mit zwei Rührkesselreaktoren, Rührwerken und Trommelgaszählern ist in Abbildung 27 dargestellt. Zur Aufzeichnung der Gasmengen und zur Messung der Zusammensetzung des Biogases wurde ein AwiFlex-Gerät von Awite verwendet. Begleitet wurden die Gärversuche durch zahlreiche Analysen, die der Prozesscharakterisierung und Überwachung dienten, so z.B. Trockensubstanz- organische Trockensubstanzanalytik der Substrat- und Gärrestproben, pH-Wert, Ammonium und Fettsäure-Analytik.

Die generelle Vorgehensweise beim Reaktorbetrieb am DBFZ und detaillierte Informationen zur Begleitanalytik sind in der Literaturstelle (Liebetrau et al. 2015) zu finden .

Der Betrieb der Reaktoren erfolgte unter mesophilen Bedingungen bei 39 °C. Nach einer 50 tägigen Einfahr-Phase mit DDGS als Substrat (11 g FM, Raumbelastung 1,0 g oTS/(L\*d)) und Leitungswasser (100 g), wurden die zwei 10-L-Reaktoren täglich mit Futterrest und Leitungswasser beschickt. Die Fermenter wurden mit 21 g FM Futterrest (Raumbelastung 1,5 g oTS/(L\*d)) und Leitungswasser (100 g) täglich beschickt. Die Raumbelastung konnte in der zweiten Versuchshälfte gesteigert werden. Zwischen Tag 150 und 320 sind täglich 30 g FM Futterrest (Raumbelastung 2,2 g oTS/(L\*d)) und 150 g Leitungswasser dosiert worden.

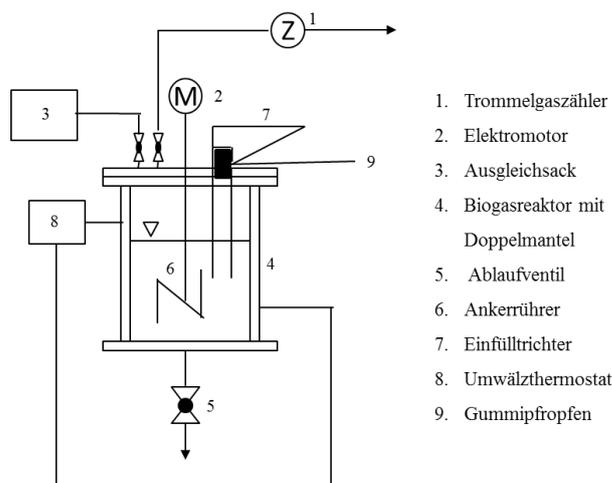


Abbildung 27: 10-L-Rührkesselreaktoren im DBFZ-Labor [DBFZ]

### Ergebnisse

Nach einer anfänglichen Einfahrphase sind über einem Versuchszeitraum von ca. 270 Tagen die Vergärungseigenschaften der Futterreste aus der Hermetia Zucht näher untersucht worden. Mit dem Vergärungsversuch sollte das maximale Biogaspotential und die Prozessstabilität beim alleinigen Einsatz des Reststoffs bestimmt werden. Im Versuchsverlauf zeigte sich, dass der Ammoniumgehalt in den Reaktoren kontinuierlich zunahm, was durch den Abbau der proteinhaltigen Bestandteile des Futterrests begründet ist (siehe Abbildung 29). Bei einer Ammoniumkonzentration von ca. 3 g NH<sub>4</sub>-N / L kann es je nach Versuchstemperatur und pH-Wert bereits zu einer Hemmung des Biogasprozesses kommen, was im Langzeitversuch zu einem Anstieg der Gärsäuren und zu einer Reduzierung des Methanbildung geführt hat (siehe Abbildung 29 und Abbildung 29). Erst nach einer kurzzeitigen Reduzierung der täglichen Fütterungsmenge (Tag 145 bis 173) und einer Erhöhung der Zugabemenge an Wasser zum Substratmaterial (Tag 140) konnte der Prozess wieder stabilisiert werden. In der zweiten Versuchshälfte konnte die Raumbelastung weiter gesteigert werden, was zu einem erneuten Anstieg der Ammoniumkonzentration geführt hat. Allerdings schien der Biogasprozess bereits an das Substrat und höhere Ammoniumkonzentrationen adaptiert zu sein, da bis zum Versuchsende keine weitere Prozessinstabilität beobachtet wurde. In der Abbildung 28 ist das ermittelte Biogaspotential über den gesamten Versuchszeitraum dargestellt. Das mittlere Methanbildung des Futterrests lag im Bereich von 172±15 mL / g oTS während der mittlere Methangehalt des Biogases in den Reaktoren 54 % betragen hat.

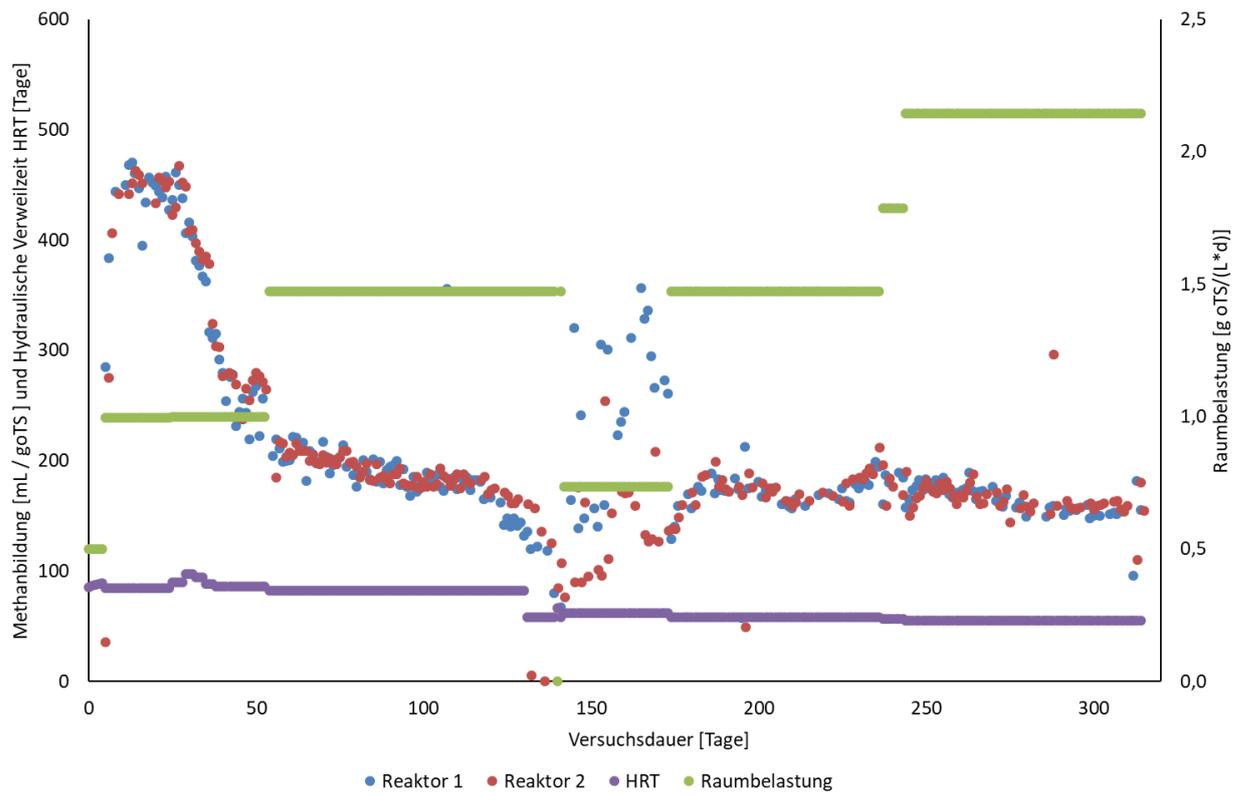


Abbildung 28: Spezifische Methanbildung im Versuchsverlauf, Hydraulische Verweilzeit (HRT) und Raumbelastung (Br)

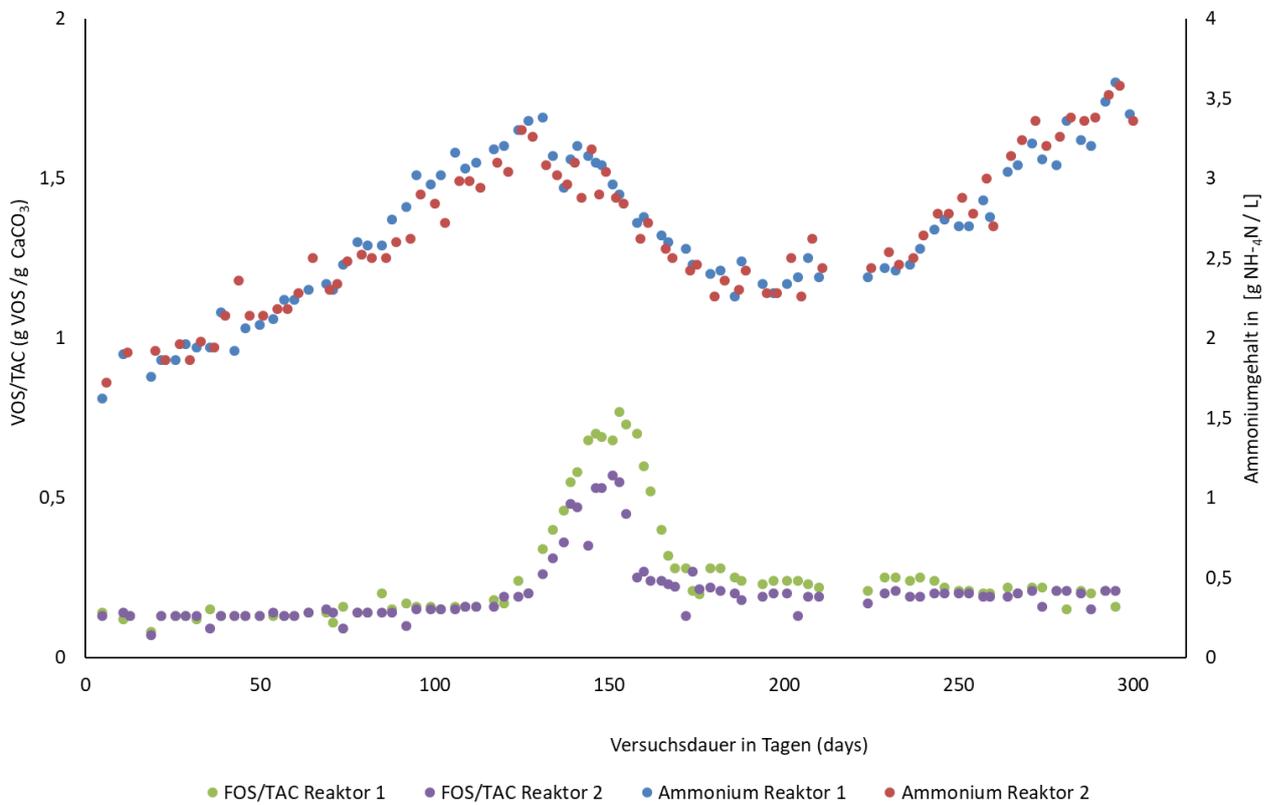


Abbildung 29: Fettsäure- zu Puffer- Verhältnis (VOS/TAC Wert), Ammonium-Konzentration

### Schlussfolgerungen aus den semi-kontinuierlichen Gärversuchen

Futterreste der Insektenzucht stellen nach ersten Untersuchungen ein energiereiches Biogassubstrat dar und ermöglichen die Nutzung der Reststoffe der Insektenzucht für die Erzeugung biobasierter Energieträger (Biogas/Biomethan). Die Insektenzucht stellt einen vielversprechenden Baustein einer zukünftigen Bioökonomie dar, denn vor dem Hintergrund begrenzter Ressourcen rückt die Mehrfachnutzung und Kreislaufführung von Biomasse in Nutzungskaskaden zunehmend in den Fokus.

### Bilanzrechnung

Die gewonnenen Versuchsdaten wurden für die Erstellung mehrerer Stoffstrombilanzierungen des Gesamtprozesses genutzt. Nachfolgend soll am Beispiel einer Substratmischung aus Getreideschlempe und Kleie eine erste Abschätzung des Stoffstromverlaufs von der Insektenzucht zur Biogasproduktion aufgezeigt werden (Abbildung 30). Die in den Berechnungen genutzten Stoffdaten stammen aus den Fütterungsversuchen im AP2. Auf Basis der Versuchsdaten würde sich beim Einsatz von 1.000 kg Ausgangsmaterial eine Ausbeute von ca. 122 kg Larven und der Anfall von ca. 732 kg Restsubstrat mit einem Wasseranteil von ca. 80 % ergeben. Bezogen auf den Organikanteil werden ca. 20 % des Futterstoffs in Larvenbiomasse umgesetzt und ca. 30 % werden in CO<sub>2</sub> umgesetzt. Es konnte nicht bestimmt werden, ob die Verluste ausschließlich auf Stoffwechselfvorgänge der Larven zurückzuführen waren, oder ob es zu weiteren biologischen Zersetzungsvorgängen im Substrat beispielsweise durch Hefen oder Bakterien kam. Etwa 50 % der im Futterstoff enthaltenen Organik bleiben im Futterrest enthalten. Das Methanpotenzial des Restsubstrats wurde mit 310 mL / g oTS angenommen. Aus dem Reststoff könnten im Beispiel ca. 14 m<sup>3</sup> Methan gewonnen werden. Im Biogasprozess kommt es nur zu einem geringen Verlust von ca. 6% der Ausgangsmasse des Reststoffs. Als Gärrest fallen im Beispiel ca. 688 kg flüssiger Gärrest als landwirtschaftlicher Wirtschaftsdünger an. Eine weitestgehende Trocknung der Futterreste während der Larvenmast empfiehlt sich, mit dem Ziel Kosten für Gärresttransporte zu vermeiden. Die dargestellte Bilanzierungsrechnung geht von der Annahme aus, dass die Laborergebnisse auf den Praxismaßstab übertragbar sind. Weitere Produktionskosten neben den Substratkosten werden in der ersten Voruntersuchung noch vernachlässigt. Die ermittelten Berechnungsgrößen sind die Grundlage für eine weitere Optimierung des Bilanzierungsmodells im Rahmen des Folgeprojekts BioLube.

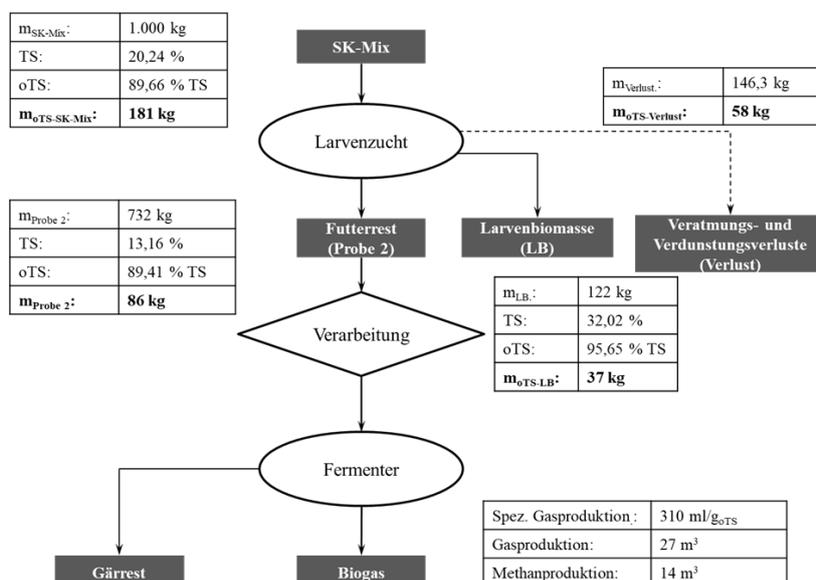


Abbildung 30: Insektenproteinherzeugung aus Schlempe Kleie Substratmix und anschließende Biogaserzeugung

#### Zusammenfassung- Kommen Reststoffe der Insektenzucht als Biogassubstrat in Frage?

Im Rahmen des Vorhabens CIP sind das Biogasbildungspotential und die Vergärungseigenschaften von Reststoffen der beschriebenen Fütterungstests untersucht worden. Hierfür kamen diskontinuierliche Gärtests mit dem AMPTS2 System der Firma Bioprozess Control zum Einsatz. Darüber hinaus wurden quasi-kontinuierliche Gärversuche im 10 Liter Maßstab über eine Versuchsdauer von 270 Tagen durchgeführt, mit dem Ziel, die Vergärbarkeit von Reststoffen der Hermetia-Larvenmast, auch Insektenfraß genannt, aus dem Pilotanlagenbetrieb der Hermetia Baruth GmbH zu untersuchen.

Das spezifische Methanbildungspotenzial der Insektenfraßproben lag im Bereich von 168...288 mL / g oTS und war somit vergleichbar mit anderen tierischen Reststoffen wie Rindergülle, Schweinegülle und Hühnerkot mit 210, 250 bzw. 280 mL / g oTS. Das Biomethanpotenzial des Insektenfraß war im Durchschnitt ca. 30 % niedriger als das Biomethanpotenzial der Ausgangssubstrate. Es wurden keine Hemmwirkungen der Reststoffe auf den Biogasprozess beobachtet. Da Insektenfutter zum Teil vergleichsweise hohe Proteinkonzentrationen enthalten, können sich auch im Insektenkot und Futterrest höhere Stickstoffwerte finden. Für stickstoffreiche Reststoffe der Insektenzucht empfiehlt sich nach ersten Einschätzungen der Einsatz als Co-Substrat gemeinsam mit stickstoffärmeren Substraten wie bspw. Ganzpflanzensilage. Insektenfraß aus der Hermetia-Pilotanlage erzielte in Langzeitgärversuchen im Labormaßstab Methanertrag von ca. 118 m<sup>3</sup> / t FM Reststoff, was dem typischen Methanpotenzial von Maissilage mit ca. 110 m<sup>3</sup> / t FM entspricht. Demnach könnte eine Tonne Maissilage durch den Einsatz einer Tonne Futterrest aus der Insektenzucht ersetzt werden. Maissilage ist neben Rindergülle das mengenmäßig am häufigsten eingesetzte Biogassubstrat landwirtschaftlicher Biogasanlagen in Deutschland. Die Energiepflanzensilage wird von landwirtschaftlichen Biogasanlagenbetreibern meist für den Eigenbedarf der Biogasanlage selbst produziert. Wenn Maissilage zugekauft wird, fallen Substratkosten in Höhe von ca. 35 € / t frei Feld an. In den letzten beiden Dürre Jahren kam es in einzelnen Regionen Deutschlands zu einer Verknappung des Maissilageangebots. Die verfügbaren Reserven wurden vorwiegend für die Milchviehhaltung verwendet und einzelne Biogasanlagen konnten aufgrund von Substratmangel nicht voll ausgelastet werden, was zu einer geringeren Jahresenergieproduktion und verringerter Wirtschaftlichkeit der betreffenden Anlagen geführt hat. Alternative Substrate wie z.B. Insektenfraß können hier in Zukunft dazu beitragen Einsatzstoffmengen an Maissilage in bestehenden Biogasanlagen zu ersetzen und die Nachfrage nach Maissilage in Jahren mit niedrigem Angebot zu reduzieren.

#### Fazit

Reststoffe der Insektenfarm stellen nach derzeitigem Kenntnisstand ein geeignetes Biogassubstrat dar, mit dem zumindest anteilig Maissilage als konventionelles Biogassubstrat ersetzt werden könnte. Reststoffe der Hermetia-Larvenmast gelten als landwirtschaftliche Reststoffe und sind mit Gülle und Mist gleichgestellt. Die Reststoffnutzung als Biogassubstrat in landwirtschaftlichen Biogasanlagen sollte demnach zulässig sein. Für Anlagenbetreiber ohne Zugang zu Gülle oder Mist, könnte durch den anteiligen Einsatz von Insektenfraß als Biogassubstrat sogar die Voraussetzungen für den Bezug des Güllebonus gegeben sein.

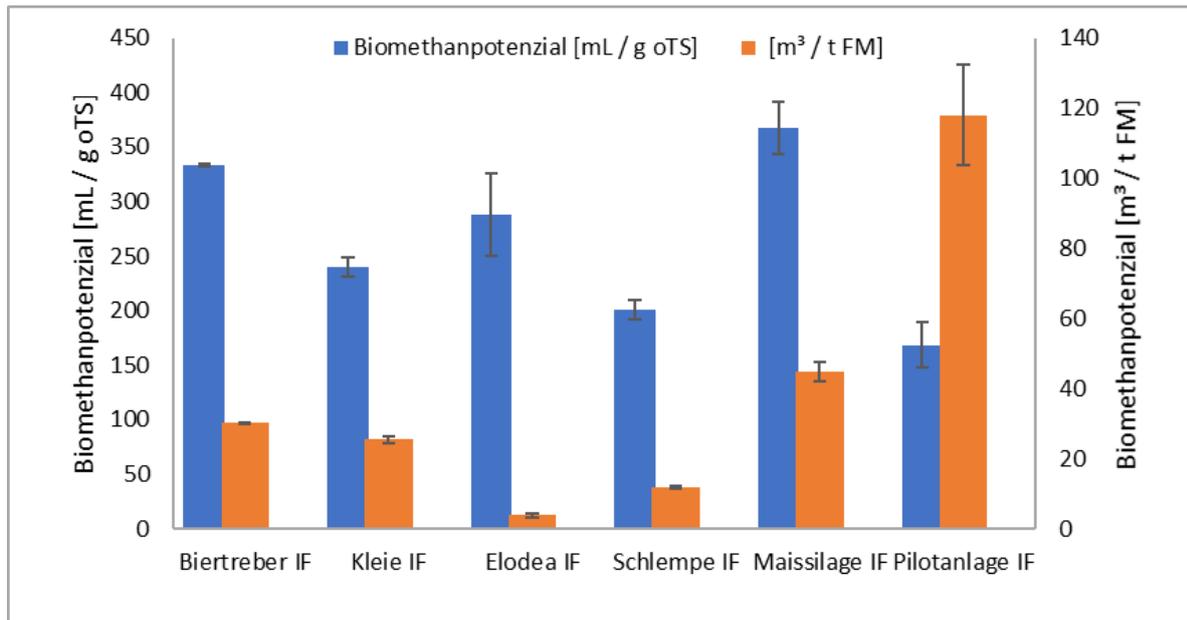


Abbildung 31: Zusammenfassung der Gärtestergebnisse (IF Insektenfraß / Reststoffe der Insektenzucht)

### Betrachtungen kombiniertes Verfahren Insektenzucht und Biogasprozess

Der Insektenzuchtprozess erfordert eine gleichmäßige Temperierung der Produktions- und Inkubationsräume, um ideale Bedingungen für das Wachstum der *Hermetia*-Larven und Fliegen zu gewährleisten. Weitere Prozesswärme wird für die Produkttrocknung benötigt. Somit stellt die Hermetiazucht eine ideale Wärmesenke und Nutzungsmöglichkeit für BHKW-Abwärme von Biogasanlagen dar. Reststoffe der Insektenzucht gelten per Definition als landwirtschaftliche Wirtschaftsdünger und sind z.B. Gülle oder Festmist gleichgestellt. Eine Verwendung als Biogassubstrat erscheint aus diesem Grund rechtlich möglich. Untersuchungen zu den Vergärungseigenschaften von Reststoffen der Insektenzucht haben das Biogaspotential und die Prozessstabilität in Langzeitgärversuchen im Labormaßstab belegt. Für eine großtechnische Insektenproteinerzeugung ist ein umfassendes Futterstoff- und Reststoffmanagement erforderlich. Landwirtschaftliche Betriebe und Biogasanlagen erscheinen daher aufgrund der vorhandenen Infrastruktur für Biomassetransport und -lagerung ideale Standorte zu sein. Insektenzucht in Kombination mit der Biogaserzeugung stellt einen Bioökonomieansatz dar, der im Labor- und Pilotmaßstab erprobt wurde. Zukünftige Untersuchungen im Realmaßstab sind allerdings für eine realistische Kostenabschätzung des kombinierten Verfahrens erforderlich.

### Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Verschiedenste Futterstoffe eignen sich für die Larvenmast der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia Illucens*).
- Zwischen dem Proteingehalt der Futterstoffe und der Larven besteht ein deutlicher, aber nicht starker Zusammenhang.
- Substrate mit hohem Fasergehalt wie z.B. Stroh werden nur im geringen Umfang umgesetzt
- Neben der Prozesstemperatur und der Futterstofffeuchte, hat die Materialbeschaffenheit einen Einfluss auf das Larvenwachstum.

- Temperaturen von ca. 30 °C führten zu einem zügigen Larvenwachstum. Niedrigere Temperaturen verzögerten zwar das Larvenwachstum, es konnten trotzdem ähnliche Endergebnisse (Ausbeute, Organik-Umsatz) erzielt werden.
- Sehr dünnflüssige Substrate sind für die Larvenmast ungeeignet. Eine zäh-fließfähige Konsistenz der Futterstoffe hat sich in den Fütterungsversuchen als besonders geeignet erwiesen. Eine Wasserzugabe wird für trocken Futterstoffe empfohlen. Eine weitere Möglichkeit der Futterstoffoptimierung besteht durch Mischung feuchter und trockener Substrate.
- Eine hohe Futtergabe je Larve zeigte einen deutlichen positiven Einfluss auf das Wachstumsverhalten der Larven.
- Eine hohe Anzahl an Junglarven zu Versuchsbeginn, verbunden mit einer niedrigen Futtergabe je Larve, zeigte einen deutlichen positiven Einfluss auf den Organik-Umsatz, FCR und Ausbeute.
- Das untersuchte Hermetiafett enthielt einen Anteil gesättigter Fettsäuren von 79...82 %, der Anteil einfach ungesättigter Fettsäuren lag bei 11...13 % und der Anteil mehrfach ungesättigter Fettsäuren war im Bereich von 7...8 %.
- Insektenfett enthält höhere Konzentrationen an Laurinsäure. Ohne Fettveredelung ist Insektenfett kaum Oxidationsstabil. Eine Reinigung und Modifizierung des Rohfettes ist für technische Anwendungen erforderlich.
- Entfettetes Hermetia-Proteinmehl zeigte in ersten Voruntersuchungen der technofunktionalen Eigenschaften keine Schaumbildung, keine Filmbildung und keine Emulsionsbildung, In Verbindung mit Wasser konnte eine Gelbildung beobachtet werden.
- Hermetia-Proteinmehl wird außerhalb der EU bereits im Nutztierfuttermittelbereich und innerhalb der EU als Grundstoff für Haustierfuttermittelherstellung vermarktet. Für mögliche Anwendung im Bereich Novel-Food sind der Eigengeruch des Mehls und die Mehlfarbe noch zu verbessern.
- Futterreste der Insektenzucht werden außerhalb der EU bereits als stickstoffreicher Naturdünger mit positiver Humuswirkung für den Ökolandbau vermarktet. Mögliche weitere Anwendungen ergeben sich z. B. als biogener Festbrennstoff, als Pilzkultursubstrat oder als Biogassubstrat.
- Insektenfraß aus dem Pilotanlagenbetrieb der Hermetia Baruth GmbH zeigte einen Heizwert von 17,20 MJ/kg TS. Die Testung der Brennstoffeignung in praktischen Verbrennungstests steht noch aus.
- Erste Vorversuche zum Einsatz der Reststoffe als Kultursubstrat für die Edelpilzzucht verliefen vielversprechend. Aufgrund des zum Teil hohen Stickstoffgehalts des Reststoffe könnten diese zumindest als Zuschlagsstoff in der Herstellung von Kultursubstratmischungen eingesetzt werden.
- In diskontinuierlichen und quasi-kontinuierlichen Biogasgärtests im Labormaßstab wurde das Methanbildungspotenzial unterschiedlicher Insektenfraßproben untersucht. Die Ergebnisse lagen im Bereich von 168...288 mL/g oTS und waren somit vergleichbar mit anderen Reststoffen tierischen Ursprungs wie z. B. Rinder-, Schweingülle oder Hühnertrockenkot.
- Insektenfraß aus dem Pilotanlagenbetrieb der Firma Hermetia zeigte ein Methanbildungspotenzial von 172±15 mL/g oTS bzw. ca. 118 m<sup>3</sup>/t FM. Im Vergleich liegt das Methanbildungspotenzial einer typischen Maissilage bezogen auf Frischmasse in einem ähnlichen Bereich mit ca. 110 m<sup>3</sup>/t FM.
- In Langzeitgärversuchen zeigte sich, dass Insektenfraß aufgrund der zum Teil hohen Proteingehaltes besser als Co-Substrat mit stickstoffärmeren Substraten eingesetzt werden sollte, mit dem Ziel das Risiko einer Stickstoffinhibierung des Biogasprozesses zu vermeiden.

- Futterreste der Insektenzucht fallen bisher noch im geringen Umfang an. Dennoch bietet die Nutzung des Reststoffs als Biogassubstrat eine Möglichkeit der Bioenergieerzeugung in Form von Strom und Wärme und stellt außerdem einen einfachen technischen Ansatz zur Reststoffhygienisierung dar.

## 3.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Kostenplanung wurde weitestgehend eingehalten. Die Kostendetails sind den zahlenmäßigen Nachweisen der einzelnen Partner des Projektkonsortiums zu entnehmen.

## 3.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Durchführung der vorhabenbezogenen Arbeiten durch das DBFZ und Hermetia ermöglichten umfangreiche und sehr aufwendige Versuche im Labor- und Pilotmaßstab zur Bestimmung der Eignung unterschiedlicher Futterstoffe für die Hermetia-Larvenzucht und zur Untersuchung der Reststoffe der Insektenzucht als Biogassubstrat. Die Auswertung und Evaluation der Messergebnisse und die daraus abgeleitete statistische Auswertung hat sich als überaus aufwendig dargestellt. Die Arbeiten entsprachen der im Projektantrag detailliert dargelegten Planung und die im Arbeitsplan formulierten Aufgaben wurden bearbeitet. Diese hätten trotz wissenschaftlichem und wirtschaftlichem Eigeninteresse nicht vollständig aus Eigenmitteln des Projektkonsortiums finanziert werden können. Nur durch die zusätzliche, zugewendete finanzielle Unterstützung durch das BMBF und dessen Projektträger PtJ konnte die Durchführung des Vorhabens sichergestellt werden.

## 3.4 Darstellung des voraussichtlichen Nutzens

### 3.4.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

Im Rahmen des Vorhabens wurden keine Schutzrechte angemeldet.

### 3.4.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Im Rahmen des Vorhabens wurde die Eignung einer Vielzahl von Einsatzstoffen für die Hermetiazucht untersucht und praxistaugliche Lösungen zur Prozessoptimierung des Herstellungsverfahrens erarbeitet. Auf Basis der Versuchsergebnisse sollten die substratseitigen Produktionskosten für die getesteten Futterstoffe besser eingeschätzt werden können. Eine Überführung der Forschungsergebnisse in die Praxis wird erleichtert, da ausgewählte Futterstoffe bereits im Pilotmaßstab getestet wurden.

Im Projektverlauf sind neue Anwendungsmöglichkeiten für Insektenprodukte und in der Herstellung anfallenden Koppelprodukte ermittelt worden. Die Verwertung der anfallenden Insektenfette würde die Wettbewerbsfähigkeit der Insektenzucht deutlich steigern. Die Reststoffnutzung als Biogassubstrat wurde in Labormaßstab untersucht. Die Ergebnisse deuten auf eine generelle Eignung der Reststoffs als Rohstoff für die Biogaserzeugung.

Die Ergebnisse lassen eine Abschätzung über den Wert der gewonnenen Produkte zu. Die Kosten des Verfahrens, insbesondere die Kosten der Ausgangsmaterialien sind durch die Projektarbeit transparent

geworden. Diese Informationen sind Grundlage für die wirtschaftlichen Berechnungen bei Folgeprojekten, insbesondere bei der Hochskalierung von Anlagen. Die Verfahren zur Wertsteigerung von Reststoffen können vermarktet und ganze Prozesse z. B. Abfallbehandlungs- oder Insektenzuchtanlagen, an geeigneten Standorten mit signifikantem Anfall von bereits untersuchten Substraten errichtet werden.

Das Verfahren der Substratkonversion mit Insektenlarven als Baustein einer Kreislaufwirtschaft wird sich als ein wichtiger Bestandteil der Bioökonomie in naher Zukunft etablieren. Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten sind positiv zu bewerten, da mittels eines natürlichen Verfahrens mit keiner bis einer sehr geringen Umwelteinwirkung nachgefragte Produkte hergestellt werden. Weltweit entstehen gerade eine Vielzahl von großen Anlagen mit dem entsprechenden Ausstoß. Es ist nur eine Frage der Zeit, bis am Markt große Mengen verfügbar sein werden. Das Projekt ist ein weiterer Schritt in die richtige Richtung.

#### 3.4.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Die im Projekt CIP durchgeführten Versuche lassen auf gute wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten der Verwertung schließen. DBFZ und Hermetia werden die eigenen Forschungsergebnisse über das Projektende hinaus in Fachzeitschriften und auf Tagungen präsentieren. Zur Erhöhung der internationalen Sichtbarkeit der Forschungsergebnisse wird die Veröffentlichung mindestens eines kostenfrei verfügbaren begutachteten Artikels in englischer Sprache in einem renommierten Fachjournal angestrebt. Zusammen mit umfassenden Informationen auf der DBFZ-Homepage können so Chancen genutzt werden, weitere Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft für die Bearbeitung neuer I+F+E-Projekte zu gewinnen. Zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses wurden am DBFZ im Rahmen des Projekts Themenstellungen für Praktika, Bachelor- bzw. Masterarbeiten ausgeschrieben. Es erfolgte die Erarbeitung und Einreichung des BioLube-Antrags beim BMBF. In dem Projekt soll die Entwicklung biobasierter und biologisch abbaubarer Schmierstoffe auf Basis von Insektenfett weiterverfolgt werden. Mit der Projektbearbeitung wurde im Mai 2021 begonnen. Versuchsergebnisse die in AP 2, 3 und 5 gewonnen wurden, lieferten wertvolle Informationen, die bereits für die Optimierung des Hermetia Pilotanlagenbetriebs genutzt werden konnten.

#### 3.4.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Hermetia Baruth GmbH wird die im Rahmen des Projektes gewonnenen Erkenntnisse im Rahmen von Akquise und Consultingmaßnahmen weiter verwerten. Im Herstellungsverfahren werden gewonnene Erkenntnisse aus den Fütterungsversuchen im AP 2 und 3 direkt in der Praxis angewandt. Auf Basis der durchgeführten Biogaspotentialtests werden Futterreste aus dem Pilotanlagenbetrieb mittlerweile als Biogassubstrat veräußert.

Auf Basis der im Vorhaben CIP gewonnenen Erkenntnisse und der durchgeführten Messungen haben die Projektpartner Hermetia Baruth GmbH und DBFZ einen gemeinsamen sowie erfolgreich evaluierten und geförderten Projektantrag im Rahmen eines Förderauftrages<sup>1</sup> des Bundesministeriums für Bildung und Forschung eingereicht. Das Gesamtziel des Forschungsvorhabens „BioLube – Entwicklung biobasierter und biologisch abbaubarer Hochleistungsschmierstoffe auf Basis von Insektenfett für die industrielle Anwendung“ besteht in der Entwicklung eines Raffinationsverfahrens für Insektenfett mit dem Ziel der

---

<sup>1</sup> BMBF Fördermaßnahme KMU-innovativ: Bioökonomie  
Link: <https://www.ptj.de/projektfoerderung/biooekonomie/kmu-innovativ-biooekonomie>

Gewinnung biologisch abbaubarer Spezienschmierstoffe. Darüber hinaus soll die Futterstoffdatenbank aus dem CIP Projekt sukzessive erweitert werden, was die praktische Untersuchung weiterer Einsatzstoffe für die Hermetiazucht beinhaltet.

Mit dem Vorhaben sollen wichtige Ziele in der angewandten Forschung für eine wirtschaftliche Nutzung der Insektenfette erzielt werden. Das betrifft insbesondere Folgendes:

- Im Projekt soll die Fragestellung untersucht werden, ob mit einer gezielten Substartauswahl Einfluss auf die Insektenfettzusammensetzung und somit auf die Eignung als Rohfett für die Bioschmierstoffgewinnung genommen werden kann.
- Ableitung eines kostengünstigen Raffinationsverfahrens auf Basis praktischer Versuche im Pilotmaßstab
- Entwicklung von Bioschmierstoffprodukten mit besonderer Eignung für Spezialanwendungen im industriellen Anwendungsbereich

Zur Umsetzung dieser Vorhabenziele werden umfangreiche Futterstofftests und Produktanalysen notwendig sein. Die Durchführung und Auswertung dieser Untersuchungen wird in einem erheblichen Maße von den in CIP gewonnenen Erfahrungen und Ergebnissen profitieren. Auch die Ausstattung und weiteres notwendiges Equipment konnte aus dem CIP-Vorhaben heraus identifiziert werden. Auch das einfache Verfahren zur Futterstoffbewertung mittels Laborfütterungsversuchen wird in diesem Vorhaben auf Basis der Untersuchungen in CIP weiterentwickelt werden.

### 3.5 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Folgende Veröffentlichungen des Vorhabens CIP wurden durch das Projektkonsortium oder durch Drittautoren bereits publiziert:

#### 1. Projektvorstellung Rundfunk, Fernsehen und Internet:

- Henning Dicks „Biogas-Gärreste als Insektenfutter“ f3 Magazin; <https://f3.de/farm/biogas-garreste-als-insektenfutter-442.html> 29.08.19
- Ralf Julke „Kann man mit Insektenbiomasse Futtermittel und Erdölprodukte in der Industrie ersetzen?“ Leipziger Internet Zeitung; 18.08.2019
- Paul Trainer „Vorhaben des DBFZ erarbeitet Wertschöpfungskette auf Basis von Insektenbiomasse“ Pressemitteilung DBFZ; 13.09.2019
- Agra Europe (AgE) Forschungsprojekt: „Futtermittel aus Insekten“ Top Agrar online; 22.08.2019
- P.E. „Insekten - zu schade für Futter?“ Transkript Magazin; 19.08.2019
- Laura Schneider „Insektenprotein – Larven im Futtertrog?“ Land&Forst; 29.04.2021
- Projekthomepage: [www.dbfz.de/cip](http://www.dbfz.de/cip)
- Projektvorstellungen Videos:
- <https://www.mdr.de/wissen/mensch-alltag/insekten-als-tierfutter-100.html>
- <https://biooekonomie.de/video/fliegende-proteinquellen-auf-der-insektenfarm>

## 2. Vorträge:

- Liebetrau, J.; Wedwitschka, H. (2018); „How to combine insect farming with a biogas process?“ Circular economy in the food system, Jyväskylä, Finnland, 8. März 2018
- Wedwitschka, H. (2020). „Kleine Tiere, großes Potenzial – Insektenbiomasse als zukünftige Quelle für hochwertige Proteine und Fette für Futtermittel und Industrieanwendungen“ DBFZ Jahrestagung Leipzig, 16. -17. September 2020
- Shumo, M.; Katz, H. (2020): „Einfluss der Temperatur auf ausgewählte lebensgeschichtliche Merkmale der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*), die in zwei gängigen städtischen Bioabfallströmen aufgezogen wurde“ Insect to feed the world, Quebec/Kanada, 23. - 26. November 2020
- Katz, H. (2020): „Einblicke in die IPIFF-Aktivitäten und das politische Umfeld der EU für den Insektensektor“ Insect to feed the world, Quebec/Kanada, 23. - 26. November 2020
- Katz, H. (2020): „Unleashing the Circularity Potential of the European Insect Sector through Research and Innovation“ IPIFF – International Platform of Insects for Food and Feed 3. Brüssel, Belgien, Dezember 2020
- Wedwitschka, H.; Fu, C.; Stinner, W. (2021). “No success of biotech products without recycling strategy” 9th International Bioeconomy Conference, Science Campus Halle, (Virtual Conference), 9th and 10th June 2021,
- Wedwitschka, H.; Fu, C.; Stinner, W. (2021). “Wettbewerbsfähige Insektenprodukte (CIP) – Insektenmehlproduktion als Add-On für Biogasanlagen“ 14. Biogas-Innovationskongress 2021 Osnabrück, (Virtuelle Konferenz), 23. - 24. Juni 2020

## 3. Poster:

- Wedwitschka, Harald; „Kleine Tiere, großes Potenzial – Insektenbiomasse als zukünftige Quelle für hochwertige Proteine und Fette für Futtermittel und Industrieanwendungen“ DBFZ Jahrestagung Leipzig, 16. - 17. September 2020
- Wedwitschka, Harald; „Feedstock suitability assessment for *Hermetia* rearing and waste treatment of insect farming residues by anaerobic digestion“. Insecta 2021 Magdeburg; 8. - 9. September 2021

## 4. Studentische Arbeiten:

Im Projektverlauf wurden vier studentische Abschlussarbeiten angefertigt, im Einzelnen zwei Masterarbeiten durch Herrn Qi Ding (HS Merseburg) und Frau Chen Fu (TU Dresden) und zwei Bachelorarbeiten durch Frau Yue Wang (HS Merseburg) und Herrn Richard Albert (TU Dresden).

## 5. Geplante Peer-Review Veröffentlichungen

Die in Tabelle 18 gelisteten Peer-Review-Veröffentlichungen befinden sich noch in der Planung und Realisierung.

Tabelle 18: Geplante Peer-Review-Veröffentlichungen mit Zeitplan und Verantwortlichkeiten

Inhalt der Publikation	Erstautor	Korrespondierender Autor	Erstentwurf	Einreichung	Geplantes Journal
Ergebnisse der Futterstofftests	H.Wedwitschka	H.Wedwitschka	4. Quartal 2021	Dezember 2021	Journal of Insects as Food and Feed
Ergebnisse der Biogaspotenzialtests mit Insektenfraß	H.Wedwitschka	H.Wedwitschka	4. Quartal 2021	Dezember 2021	Bioresource Technology

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Strukturplan.....	8
Abbildung 2:	Schematische Darstellungen des Hermetia-Produktionsverfahrens.....	12
Abbildung 3:	Wasserpflanzenproben aus dem Leipziger Raum .....	19
Abbildung 4:	Geräte für die Bestimmung des Einzelgewichtes der Larven.....	22
Abbildung 5:	Feed Conversion Ratio der untersuchten Substrate .....	25
Abbildung 6:	Umsatz organische Trockensubstanz .....	26
Abbildung 7:	Substratausbeute .....	27
Abbildung 8:	Larvenwachstum .....	28
Abbildung 9:	Massenzunahme bei der Fütterung mit unterschiedlichen Futterkonzentrationen .....	29
Abbildung 10:	Larvenentwicklung und Futteränderung.....	30
Abbildung 11:	Abhängigkeit Proteingehalt in Substrat und Larven .....	31
Abbildung 12:	Ergebnisse Versuchsserie 2.1.....	35
Abbildung 13:	Ergebnisse der Versuchsserie 2.2 .....	37
Abbildung 14:	Ergebnisse ausgewählter Fütterungsversuche der Hemetia Baruth GmbH .....	39
Abbildung 15:	Rohfett und gereinigte Fettprobe.....	40
Abbildung 16:	Fettsäurezusammensetzung von Hermetialarven .....	43
Abbildung 17:	Angestrebten Zielprodukte und erforderliche Veredelungsschritte.....	44
Abbildung 18:	Proteinzusammensetzung von Hermetialarven .....	46
Abbildung 19:	Thermostabilität DSC-Messung von 40%ige Hermetiaproteinsuspensionen .....	47
Abbildung 20:	Ergebnisse Dispergierbarkeit und Proteinlöslichkeit des Mehles .....	47
Abbildung 21:	Gepresste Pellets aus Insektenfraß.....	50
Abbildung 22:	Versuche zur Edelpilzzucht mit Insektenfutterrest als Kultursubstrat .....	51
Abbildung 23:	Prozessschema der integrierten Insektenmehlproduktion .....	52
Abbildung 24:	Fließschema der kombinierten Insektenzucht und Biogasproduktion.....	52
Abbildung 25:	Batch-Test mit AMPTS II-Gerät von Bioprocesscontrol [DBFZ].....	53
Abbildung 26:	Batch-Test Ergebnisse dargestellt als kumulative Methanbildung.....	54
Abbildung 27:	10-L-Rührkesselreaktoren im DBFZ-Labor [DBFZ] .....	55
Abbildung 28:	Spezifische Methanbildung im Versuchsverlauf, HRT und B <sub>R</sub> .....	56
Abbildung 29:	Fettsäure- zu Puffer- Verhältnis (FOS/TAC Wert), Ammonium-Konzentration.....	56
Abbildung 30:	Insektenproteinherzeugung und anschließende Biogaserzeugung.....	57
Abbildung 31:	Zusammenfassung der Gärtestergebnisse .....	59

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vorhabenstruktur und Aufgabenfelder .....	9
Tabelle 2:	Meilensteinplanung und –erreichungsstand im Forschungsvorhaben CIP .....	10
Tabelle 3:	Übersicht der Futtermiteleigenschaften der getesteten Futterstoffe.....	20
Tabelle 4:	Ergebnisse Feed Conversion Ratio .....	24
Tabelle 5:	Vergleich unterschiedlicher Nutztierarten .....	25
Tabelle 6:	Ergebnisse oTS Umsatz .....	26
Tabelle 7:	Ergebnisse Ausbeute .....	27
Tabelle 8:	Ergebnisse Larven-Wachstum (SLW) .....	28
Tabelle 9:	Ergebnisübersicht der Futtermitteluntersuchen der Larven .....	31
Tabelle 10:	Ergebnisübersicht der Fütterungsversuche .....	33
Tabelle 11:	Substratzusammensetzung.....	34
Tabelle 12:	Substratmischungsverhältnis.....	34
Tabelle 13:	Eigenschaften der Substratmischung.....	34
Tabelle 14:	Ergebnisse Fettcharakterisierung.....	41
Tabelle 15:	Ergebnisse Fettsäureanalytik .....	42
Tabelle 16:	Messung der Technofunktionalität des Mehles.....	48
Tabelle 17:	Zusammenfassung Gärtestergebnisse.....	54
Tabelle 18:	Geplante Peer-Review-Veröffentlichungen mit Zeitplan und Verantwortlichkeiten.....	65

## 4 Literaturverzeichnis

- Beyhan de Jong; Gorjan Nikolik: No Longer Crawling: Insect Protein to Come of Age in the 2020s. In: *Rabo Bank Research* 2021. Online verfügbar unter [https://www.allaboutfeed.net/wp-content/uploads/2021/03/Rabobank\\_No-Longer-Crawling-Insect-Protein-to-Come-of-Age-in-the-2020s.pdf](https://www.allaboutfeed.net/wp-content/uploads/2021/03/Rabobank_No-Longer-Crawling-Insect-Protein-to-Come-of-Age-in-the-2020s.pdf).
- Cáceres, Carlos; Jessup, Andrew; Rendón, Pedro (2012): The FAO/IAEA spreadsheet for designing and operating insect mass-rearing facilities. Procedures manual. Rome, s.l.: FAO (FAO plant production and protection paper, 205). Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10815913>.
- Caruso, Domenico; Devic, Emilie; et. al (2013): Technical handbook of domestication and production of Diptera Black Soldier Fly(BSF) *Hermetia Illucens*, Stratiomyidae. Taman Kencana Bogor: IPB Press. Online verfügbar unter <https://ued-formation-aquaculture.cirad.fr/content/download/4328/32130/version/3/file/BLACK+SOLDIER+Technical+Handbook.pdf>.
- FAO (2018): The future The future of food and agriculture. Alternative pathways to 2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Online verfügbar unter ISBN 978-92-5-130989-6.
- FNR (Hg.) (2016): Leitfaden Biogas. Von der Gewinnung zur Nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe; Deutsches BiomasseForschungsZentrum; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft; Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik. 7. Auflage. Rostock: Druckerei Weidner (Bioenergie).
- 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 pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute – Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). In: *Aquaculture* 364-365, S. 345–352. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.08.041.
- Liebetrau, Jan; Pfeiffer, Diana; Thrän, Daniela (Hg.) (2015): Energetische Biomassennutzung. Messmethodensammlung Biogas. Methoden zur Bestimmung von analytischen und prozessbeschreibenden Parametern im Biogasbereich. Leipzig: Fischer Druck (07). Online verfügbar unter [https://www.energetische-biomassennutzung.de/fileadmin/media/4\\_AGs\\_Methoden/07\\_Messmethodensamm\\_Biogas\\_web.pdf](https://www.energetische-biomassennutzung.de/fileadmin/media/4_AGs_Methoden/07_Messmethodensamm_Biogas_web.pdf), zuletzt geprüft am 23.02.2020.
- Makkar, Harinder P.S.; Tran, Gilles; Heuzé, Valérie; Ankers, Philippe (2014): State-of-the-art on use of insects as animal feed. In: *Animal Feed Science and Technology* 197, S. 1–33. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008.
- Maurer, V.; Holinger, M.; Amsler, Z.; Früh, B.; Wohlfahrt, J.; Stamer, A.; Leiber, F. (2016): Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers. In: *Journal of Insects as Food and Feed* 2 (2), S. 83–90. DOI: 10.3920/JIFF2015.0071.

Newton, G. L.; Booram, C. V.; Barker, R. W.; Hale, O. M. (1977): Dried *Hermetia Illucens* Larvae Meal as a Supplement for Swine. In: *Journal of Animal Science* 44 (3), S. 395–400. DOI: 10.2527/jas1977.443395x.

Ottoboni, Matteo; Spranghers, Thomas; Pinotti, Luciano; Baldi, Antonella; Jaeghere, Wesley de; Eeckhout, Mia (2017): Inclusion of *Hermetia Illucens* larvae or prepupae in an experimental extruded feed. Process optimisation and impact on in vitro digestibility. In: *Italian Journal of Animal Science* 17 (2), S. 418–427. DOI: 10.1080/1828051X.2017.1372698.

Sealey, Wendy M.; Gaylord, T. Gibson; Barrows, Frederic T.; Tomberlin, Jeffery K.; McGuire, Mark A.; Ross, Carolyn; St-Hilaire, Sophie (2011): Sensory Analysis of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, Fed Enriched Black Soldier Fly Prepupae, *Hermetia illucens*. In: *J World Aquaculture Soc* 42 (1), S. 34–45. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2010.00441.x.

Stamer, Andreas (2009): Alternative tiersche Proteine im Fischfutter. In: *Ökologie&Landbau*, S. 30–32. Online verfügbar unter [http://orgprints.org/21091/1/stamer-2009-fischfutter-oel-151\\_3-p30-32.pdf](http://orgprints.org/21091/1/stamer-2009-fischfutter-oel-151_3-p30-32.pdf), zuletzt geprüft am 06.08.2019.

Stamer, Andreas (2015): Insect proteins-a new source for animal feed. The use of insect larvae to recycle food waste in high-quality protein for livestock and aquaculture feeds is held back largely owing to regulatory hurdles. In: *EMBO reports* 16 (6), S. 676–680. DOI: 10.15252/embr.201540528.

UN (2019): WORLD POPULATION PROSPECTS 2019. [S.I.]: UNITED NATIONS. Online verfügbar unter [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf), zuletzt geprüft am 14.09.2021.

van Huis, Arnold (2013a): Edible insects. Future prospects for food and feed security. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO forestry paper, 171). Online verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=682076>.

van Huis, Arnold (2013b): Potential of insects as food and feed in assuring food security. In: *Annual review of entomology* 58, S. 563–583. DOI: 10.1146/annurev-ento-120811-153704.

van Huis, Arnold; Tomberlin, Jeffrey K. (Hg.) (2017): Insects as food and feed. From production to consumption. Wageningen: Wageningen Academic Publishers.

Wang, Yu-Shiang; Shelomi, Matan (2017): Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. In: *Foods (Basel, Switzerland)* 6 (10). DOI: 10.3390/foods6100091.

Zerbe, Stefan; Wiegler, Gerhard (2009): Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

**A 1** Anhang

**A 1.1** Erfolgskontrollbericht

**A 1.2** Berichtsblatt