

Abschlussbericht

Projekt: EVELIN – Eiweiß Legehennen

Leadpartner: Institut Querfeld Group GbR
Alençonner Str. 30
49610 Quakenbrück
05431 – 926 3613
info@querfeldgroup.de
www.querfeldgroup.de

Quakenbrück, 15.01.2021

Das EIP-Projekt wird aus Mitteln der EU und des Landes Niedersachsen gefördert.



Inhalt

1	Ausgangssituation und Bedarf.....	3
2	Projektziel und konkrete Aufgabenstellung	4
3	Mitglieder der OG.....	4
3.1	DIL Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V.....	4
3.2	DIL Technologie GmbH	4
3.3	Institut Querfeld Group GbR	5
3.4	Landwirtschaftlicher Betrieb Julius gr. Macke	5
4	Projektlaufzeit	5
5	Budget	6
6	Ablauf des Vorhabens	6
7	Zusammenfassung der Ergebnisse	6
1	Verwendung der Zuwendung.....	6
1.1	Gegenüberstellung der Planung und der tatsächlich durchgeführten Teilschritte.....	6
1.2	Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen.....	8
2	Ergebnisse der OG in Bezug auf	8
2.1	Gestaltung der Zusammenarbeit.....	8
2.2	Mehrwert des Formates einer OG für die Durchführung des Projektes.....	8
2.3	Weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des Projektes.....	8
3	Ergebnisse des Innovationsprojektes.....	9
3.1	Zielerreichung.....	9
3.1.1	Etablierung der Larvenmast (<i>Hermetia illucens</i>) (DIL Technologie GmbH/DIL e.V.)	9
3.1.2	Qualitätskontrolle des Basisfutters zur Larvenmast (DIL e.V.).....	10
3.1.3	Untersuchung der chemischen Bestandteile der BSFL (DIL e.V.).....	12
3.1.4	Untersuchung des Einflusses der Fütterung von BSFL an Legehennen auf die Eiqualität (DIL e.V.)	14
3.1.5	Untersuchung des Einflusses der Fütterung mit BSFL auf die physikalischen Eigenschaften des Eis für potenzielle Eiproduktentwicklungen (DIL e.V.).....	20
3.1.6	Entwicklung eines Prototypens für die automatisierte Fütterung von BSFL (DIL e.V.)	21
3.1.7	Nachhaltigkeitsbetrachtung der BSFL-Produktion in kleinem Maßstab mit nachgelagerter Fütterung an Legehennen zur Eiproduktion (DIL e.V.).....	22
4	Larvenfütterung an Legehennen	23
4.1	Versuchsaufbau	23
4.2	Dokumentation während des Versuchsdurchganges	26
4.2.1	Legeleistung.....	26
4.2.2	Tierbonitur.....	28
4.2.3	Tiergewichtsanalyse	31

4.2.4	Verluste	35
4.2.5	Futtermittelverbrauch.....	36
5	Öffentlichkeitsarbeit.....	37
6	Schlussfolgerungen.....	39
6.1	Literaturverzeichnis.....	40

A) Kurzdarstellung

1 Ausgangssituation und Bedarf

Bei allen Agrarsystemen der Zukunft stellen eine effiziente Nutzung natürlicher, nachwachsender Rohstoffe und das Schließen von Stoff- bzw. Energiekreisläufen Schlüsselemente dar. Ein ineffizienter Ressourcenumgang und große Müllmengen, die entlang der Versorgungskette entstehen, sind wesentliche Ursachen des nicht nachhaltigen Charakters bestehender agri-food Versorgungsketten. Jährlich werden allein durch die 28 EU Staaten 100 Mio. Tonnen Nahrungsmittel verschwendet (FUSIONS 2016). Die größten Anteile stellen Gemüse und Obst dar. In Anbetracht des anhaltenden Wachstums der Weltbevölkerung, der Verknappung nutzbarer Agrarflächen und des Klimawandels kann der Einsatz von Larven der schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) u.a. in der Fütterung von Legehennen zu einer erschöpfenden Verwendung der Nebenströme beitragen. Dabei wird ein Teil des herkömmlichen Futtermittels durch Insektenlarven ersetzt. Während der Geflügelhaltung erfasst der Tierhalter regelmäßig Tierwohlmerkmale wie Gefiederbeurteilung, Fressverhalten, Mortalität etc. Außerdem werden die Legeleistung sowie Merkmale der Eiqualität und der Nährstoffzusammensetzung der Eier ermittelt, um die Auswirkungen der veränderten Fütterung bzw. Ernährung der Legehennen zu untersuchen. Neben der Optimierung des Anteils an Insektenlarven in der Futterrezeptur bedarf es einer geeigneten Zufuhr der lebenden Larven in den Stall und einer geeigneten Applikation der Insekten. Hierfür sind Modifikationen an den Fütterungsanlagen notwendig. Entsprechend der neuen Anforderungen wird ein innovatives Fütterungssystem entwickelt und konstruiert.

Nur der regelmäßige Austausch neuer Erkenntnisse zwischen allen beteiligten Projektpartnern sowie ein intensiver Erfahrungsaustausch mit dem tierhaltenden Landwirt gewährleistet einen erfolgreichen Abschluss des Projektes. Der Haupt-Fokus dürfte beim Landwirt liegen, der mit seinen Beobachtungen, Erfahrungen und Rückmeldungen wesentliche Informationen für einen umfangreichen Einsatz im Legehennenbereich liefert.

Mit dem Thema Insekten beschäftigen sich seit geraumer Zeit diverse Institutionen, wobei immer nur Teilaspekte betrachtet werden. Notwendig ist jedoch eine ganzheitliche Betrachtung der Supply Chain, um eine effiziente und ressourcenschonende Versorgung mit Insektenlarven zu ermöglichen. Hierzu sind einerseits Partner aus verschiedenen Bereichen und Handlungsfeldern und andererseits praktische Fütterungsversuche notwendig.

2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Das EIP Projekt EVELIN – Eiweißversorgung von Legehennen in Niedersachsen trägt allen Nachhaltigkeitsdimensionen Rechnung und umgreift eine gesamtheitliche Bewertung der Nachhaltigkeit. Die Ergebnisse der Studie ermöglichen, dass standortgerechte Lösungen für Neuerungen in der Wertschöpfungskette realisiert, Importe pflanzlicher Proteine somit verringert und Umwelteinflüsse minimiert werden können. Dieses ermöglicht die Entwicklung neuer Handlungsfelder und stärkt in der Folge kleine und mittelständische landwirtschaftliche Betriebe. Zusätzlich ermöglicht die innovative Verwertung der Nebenstromprodukte einen ethisch verantwortungsvollen Umgang bei der Geflügelhaltung. Außerdem realisieren die neuen Wertschöpfungsketten ein ressourceneffizientes Stoffstrommanagement. Durch den Einsatz von Insektenlarven wird eine positive Auswirkung auf das Verhalten der Legehennen erwartet u.a. mit weniger Kannibalismus. Dazu sollten sich die Leistungsdaten inkl. der Eiqualität eher verbessern. Darüber hinaus wirkt sich die neue Wertschöpfungskette auch auf maschinenbauliche Veränderungen bei der Ausrüstung von Geflügelställen aus. Für die Bewertung der neuartigen Wertsicherung wird die Nachhaltigkeit unter Einbeziehung von ökonomischen, ökologischen und sozialen Faktoren mit den existierenden Wertschöpfungsketten verglichen.

3 Mitglieder der OG

3.1 DIL Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V.

Prof.-von-Klitzing-Str. 7, 49610 Quakenbrück

Das Deutsche Institut für Lebensmitteltechnik ist als gemeinnütziger Verein mit derzeit mehr als 170 Mitgliedern im Jahr 1983 im Herzen der Veredelungswirtschaft im westlichen Niedersachsen gegründet worden. Mit seinen mehr als 180 Mitarbeitern bearbeitet es an Forschungsthemen aus der gesamten Bandbreite des Food Systems und ist damit maßgeblich am Innovationsprozess und Technologietransfer beteiligt. Das DIL weist außerdem eine gute Expertise in der Futtermitteltechnik auf und wird in dem Projekt die Konzeptionierung und den Bau der automatisierten Larvenfütterung übernehmen.

Projektaufgaben:

- Versuchsdurchführung auf wissenschaftlicher Basis
- Konstruktion eines Prototypens zur automatisierten Fütterung von Larven

3.2 DIL Technologie GmbH

Prof.-von-Klitzing-Str. 7, 49610 Quakenbrück

Die DIL Technologie GmbH ist eine 100 % Tochter des DIL Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e. V. Sie übernimmt in dem Projekt die Larvenmast und die damit verbundenen Aufgaben um standardisierte Larven herzustellen.

Projektaufgaben:

- Herstellung standardisierter Larven
- Monitoring und wissenschaftliche Untersuchung der Larven

3.3 Institut Querfeld Group GbR

Alenconer Str. 30, 49610 Quakenbrück

Das Institut Querfeld Group ist 2017 gegründet worden und befasst sich mit der Vielfalt an strategischen Herausforderungen im ländlichen Raum und bietet erforderliche Impulse und Prozesse an. Mit seinem Kompetenzprofil seiner Mitarbeiter aus langjähriger Unternehmenserfahrung und Politik auf Landes- und Bundesebene bietet es den Kunden ein einmaliges Netzwerk und hochwertige Vorträge und Seminare. Es begleitet darüber hinaus seine Kunden in der erfolgreichen Umsetzung von Innovationsprojektwissen.

Projektaufgaben:

- Koordinierung, Terminierung und Betreuung des Projektes
- Kontakt zu Organisationen, Verbänden und Politik
- Vorträge und Präsentationen

3.4 Landwirtschaftlicher Betrieb Julius gr. Macke

Elstener Str. 16, 49632 Addrup

Der landwirtschaftliche Betrieb gr. Macke ist seit dem 19. Jahrhundert in Familienhand. Neben der Bewirtschaftung von Ackerland betreibt der Hof eine ökologische Legehennenhaltung. Im Jahr 2017 ist der Hof von Julius gr. Macke übernommen worden. Sein Ziel ist es, durch innovative Produktionskonzepte einen Mehrwert zu schaffen, um den Bestand des Hofes zu sichern und anderen ein Beispiel zu sein.

Projektaufgaben:

- Durchführung der Fütterungsversuche inkl. Monitoring (Huhn und Ei)
- Dokumentation und Auswertung der erfassten Parameter
- Besucherpräsentation
- Recherche Vertriebswege

4 Projektlaufzeit

Beginn: März, 2019 (Monat, Jahr) Ende: Februar, 2022 (Monat, Jahr)

(Bewilligung ab Anfang 2019 möglich;
letzte mögliche Auszahlung 15.08.2022)

5 Budget

Bewilligte Mittel in Höhe von 362.090,02€

6 Ablauf des Vorhabens

- Siehe Anhang

7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das EIP Projekt EVELIN hat sich sowohl mit der Produktion von Larven als auch mit der Verfütterung von Larven an Legehennen beschäftigt. Für die Produktion von Larven konnte gezeigt werden, dass sich eine stabile Larvenmast mit Larven in gleichbleibender Qualität lässt. Die Nachhaltigkeit einer Larvenmasthanlage lässt sich durch die Nutzung erneuerbarer Energien und Reststoffen als Futtermittel deutlich verbessern. Ebenso hat die volle Ausnutzung der Kapazität einer Larvenmasthanlage einen großen Einfluss. Die Verfütterung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Eiqualität. Die Mortalität hat sich im Vergleich zum Stall ohne Larvenfütterung verbessert und das Federkleid wies bei den Herden mit Larvenfütterung weniger Verletzungen auf. Die Verfütterung von 4,5kg Larvenfrischmasse je Stall mit 300 Hennen war möglich. Die Entwicklung eines Fütterungsautomaten wurde durchgeführt. Hier sind noch Verbesserungen nötig, um die Zeitersparnis zu erhöhen und die Kosten für den Fütterungsautomaten zu senken.

The EIP Project EVELIN dealt with the production of larvae as well as feeding larvae to laying hens. In conclusion, the project showed that a stable larvae production system with a consistent larvae quality can be set up. The sustainability of that system can be improved by using green energy and waste streams as a feed source. Also, using the full capacity of that system will improve the overall sustainability. Feeding larvae to laying hens did not influence the egg quality significantly. Mortality was decreased, compared to the stable without larvae as additional feed. Furthermore, the plumage of the layers showed less injuries. Feeding 4,5 kg of living larvae to 300 hens was possible. The construction and testing of an automated larvae-feeding system was conducted. That system needs further improvement in order to increase time savings and lower its costs.

B) Eingehende Darstellung

1 Verwendung der Zuwendung

1.1 Gegenüberstellung der Planung und der tatsächlich durchgeführten Teilschritte

Institut Querfeld Group

Aufgaben laut Geschäftsplan	Tatsächlich ausgeführt
Koordinierung, Terminierung, Betreuung des Projektes	Erfüllt wie beschrieben
Kontakt zu Organisationen und Verbänden	Erfüllt wie beschrieben.
Vorträge und Präsentationen	Erfüllt wie beschrieben.

DIL e.V.

Aufgaben laut Geschäftsplan	Tatsächlich ausgeführt
Monatliche Weender Analyse der Larven	Erfüllt wie beschrieben.
Quartalsweise Weender Analyse des Basisfutters	Erfüllt wie beschrieben.
Forschung mit Larven (Standardisierung; Analyseparameter)	Erfüllt wie beschrieben.
Eianalysen	Erfüllt wie beschrieben.
Übermittlung der Daten an Institut Querfeld	Erfüllt wie beschrieben.
Nachhaltigkeitsbetrachtung des Gesamtsystems	Erfüllt wie beschrieben.
Eiproduktentwicklung	Erfüllt wie beschrieben.
Konzeptionierung und Proof of Principle für automatisierte Larvenfütterung im Legehennenstall	Erfüllt wie beschrieben.
Herstellung und Optimierung Prototyp für automatisierte Larvenfütterung im Legehennenstall	Erfüllt wie beschrieben.

DIL Technologie GmbH

Aus organisatorischen Gründen wurden die Aufgaben und die Fördergelder ab AZA Nr. 3 auf DIL e.V. übertragen. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden alle Aufgaben wie geplant durchgeführt. Auch die vom DIL e.V. übernommenen Aufgaben werden in dieser Auflistung dargestellt.

Aufgaben laut Geschäftsplan	Tatsächlich ausgeführt
Futtermix für Larven Herstellen und Fütterung und QM der Larven	Wie beschrieben durchgeführt
Bereitstellung standardisierter Larven, gleiches Alter, gleiche Fütterung	Wie beschrieben durchgeführt
Ermittlung von Qualitätskriterien von Larven für die Legehennenfütterung	Wie beschrieben durchgeführt
Forschung mit Larven (Standardisierung; Analyseparameter)	Wie beschrieben durchgeführt
Übermittlung der Daten an Institut Querfeld	Wie beschrieben durchgeführt

Landwirtschaftlicher Betrieb Julius gr. Macke

Abweichend vom Halbjahresplan konnten die ersten Tiere im September eingestallt werden, da die Mobilställe verspätet geliefert wurden. Daher hat sich der Start der Larvenfütterung verzögert.

Aufgaben laut Geschäftsplan	Tatsächlich ausgeführt
Errichten der Einzäunung	Wurde errichtet
Tägliche Stallarbeiten (Tierkontrolle, Larvenfütterung, Dokumentation,...)	Wie beschrieben durchgeführt
Wöchentliche Arbeiten (Abmisten, Basisfutter nachfüllen)	Wie beschrieben durchgeführt
Monatliche Aufgaben (Federkleidbonitur, Tiergewichte)	Wie beschrieben durchgeführt

1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen

Mit 37.104,83€ stellt die anteilige Förderung der Anschaffung von drei Mobilställen eine große finanzielle Position dar. Die geförderten Ausgaben für Personal belaufen sich inklusive des fünften Auszahlungsantrages auf 174.006,05€ und stellen damit den Großteil der geförderten Ausgaben dar.

2 Ergebnisse der OG in Bezug auf

2.1 Gestaltung der Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit wurde in der Kick-Off Veranstaltung besprochen. Auf Basis des Kooperationsvertrages wurden Regeln der Zusammenarbeit besprochen. Diese betrafen vor allem die Rückmeldung an den Koordinator bei Abweichungen von der geplanten Durchführung von Projekten oder Abweichungen vom geplanten Kostenrahmen.

Um sicherzustellen, dass alle OG Mitglieder über die Fortschritte der OG in Kenntnis gesetzt werden können, wurde regelmäßig OG Sitzungen in Präsenz durchgeführt. Die Sitzungen haben die OG in die Lage versetzt, gemeinsam den Fortschritt des Projektes beurteilen zu können und gegebenenfalls gemeinsam an Lösungen zu arbeiten. Die OG Mitglieder sahen sich weniger als Einzelkämpfer in ihren Arbeitspaketen, sondern mehr als Teil eines Teams, das an der Lösung einer Forschungsfrage arbeitet.

2.2 Mehrwert des Formates einer OG für die Durchführung des Projektes

Jedes OG Mitglied konnte sein Knowhow einbringen. Vom gemeinsamen Arbeiten konnten alle OG Mitglieder profitieren. DIL konnte sein Wissen um Forschung und Analytik einbringen, der Landwirtschaftliche Betrieb ergänzte dieses um fachliche und praktische Ideen und Vorgehensweisen, und das Institut Querfeld konnte seine Prozessstrukturen und Netzwerke einbringen. Neben dem gemeinsamen Arbeiten am Projekt konnte so jedes OG Mitglied auch neue Denkweisen, Ideen und Herangehensweisen erfahren und erlernen.

2.3 Weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des Projektes

Die OG Mitglieder arbeiten weiter an der Herstellung von Larven sowie an der Verfütterung an Nutztiere. Im Bereich der Larvenproduktion geht das Wissen um die Produktionsprozesse auf den Landwirt über, der weiterhin eine Larvenproduktion auf seinem landwirtschaftlichen Betrieb erhalten will. Im Bereich der Fütterungsautomatik wird weiterhin an einer vereinfachten Version des Fütterungsautomaten geforscht. Zudem wird das Einsatzspektrum von Larven in Futtermitteln erforscht. Durch die relativ hohen Kosten der Larven ist ein breiter Einsatz in allen Futtermitteln aktuell nicht denkbar. Daher könnten die Larven als Futterzusatz in bestimmten Situationen eingesetzt werden. Bei Schweinen könnte dies das sogenannte Schwanzbeißen sein, im Legehennen Bereich könnten Larven bei Aufstallungspflicht durch die Geflügelgrippe dazu beitragen, das Stresslevel der Hennen zu senken.

3 Ergebnisse des Innovationsprojektes

3.1 Zielerreichung

3.1.1 Etablierung der Larvenmast (*Hermetia illucens*) (DIL Technologie GmbH/DIL e.V.)

Ziel war es im Zuge des Projektes eine Larvenmast der Schwarzen Soldatenfliege (Black Soldier Fly, BSF) aufzubauen, die in einem Kreislaufsystem funktioniert. Dies ist den Projektpartnern gelungen, sodass die gemästeten Larven der Schwarzen Soldatenfliege (BSFL) nach Verpuppung in die Reproduktion eingebracht werden können, schlüpfen, sich erfolgreich verpaaren und so den nächsten Lebenszyklus einleiten. Insbesondere die Reproduktion der BSF stellte sich als ein sensibles System dar, das von vielen (Umwelt)Faktoren abhängig ist. Die produzierte Menge der Fliegeneier stellt hier den „Bottleneck“ dar, da sich hieraus im weiteren Mastverlauf die Menge der BSFL ergibt. Dies stellte die Projektpartner im Laufe des Projekts vor eine Herausforderung, da die geplanten BSFL-Mengen zur Fütterung der Legehennen (teilweise bis zu 12 kg pro Tag) aufgrund geringer BSF-Reproduktion teilweise nicht vollständig produziert werden konnten. Aus diesem Grund mussten zeitweise BSFL von externen Zulieferern zugekauft werden, die an die Legehennen verfüttert wurden um die Durchführung des Projekts zu gewährleisten.

Für die Bereitstellung standardisierter BSFL war es essenziell, dass diese bzgl. ihres Wachstumszyklus unter standardisierten Bedingungen in jeder Charge gleichbehandelt werden. Dies schließt abiotische Faktoren, wie die Mast bei gleichen klimatischen Bedingungen, als auch biotische Faktoren wie die Fütterung ein. Die BSFL wurden standardmäßig mit einem Basisfutter (Tabelle 1) gefüttert. Nach dem Schlupf (Tag 1) sowie an Tag 10 (± 1 Tag) wurden die BSFL mit einer standardisierten Menge des Basisfutters gefüttert. An Tag 18 (± 2 Tage) wurden die BSFL geerntet. Bis zum Erntetag beginnend an Tag 13 wurde täglich das Gewicht pro BSFL bestimmt. Hierzu wurden je Charge 20 Einzeltiere gepickt, gewogen und das Durchschnittsgewicht errechnet. Aus den Werten zur Gewichtsbestimmung wurden Wachstumskurven generiert (Abbildung 1). Die Fütterung mit Basisfutter lässt das Gewicht der BSFL im Laufe der Mastperiode kontinuierlich steigen: von $0,04 \pm 0,01$ g an Tag 13 auf $0,16 \pm 0,02$ g an Tag 19. Das Basisfutter lässt sich somit von den BSFL verwerten und führt zur Gewichtszunahme.

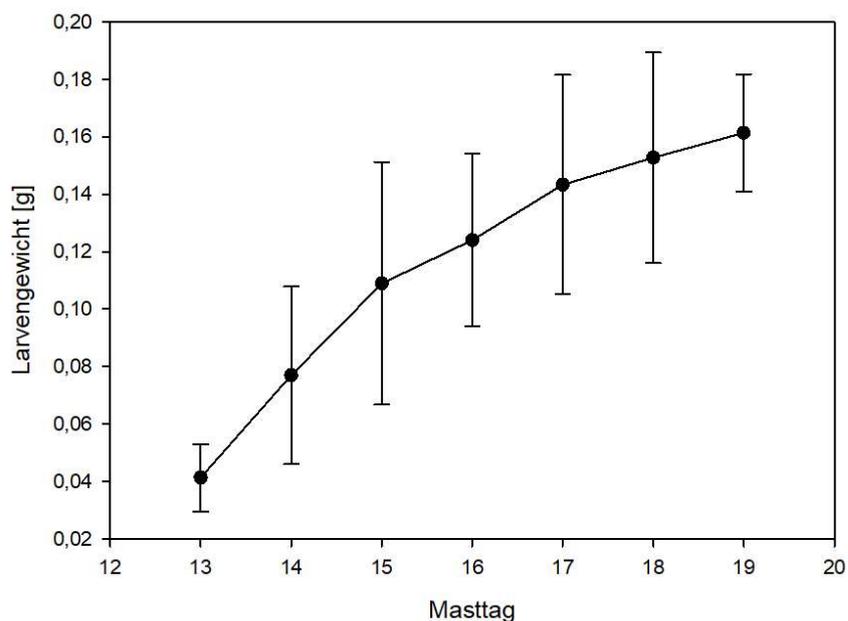


Abbildung 1: Wachstumskurve der BSFL von Masttag 13 bis Masttag 19 bei Fütterung mit Basisfutter; Probenanzahl $n=13$; Werte wurden je Charge/Probe und Masttag mit dem Durchschnittsgewicht von $n=20$ BSFL generiert.

Im Laufe des Projekts wurde die Futtermenge zur Fütterung der BSFL angepasst um den Verbrauch/die Verwertung des Futters zu verbessern und so die Effizienz der Fütterung zu steigern. Zur Darstellung der Futtermittelnutzung wurde die Feed Conversion Ratio (FCR) berechnet. Die Futtermittelnutzung beschreibt die Menge des Futters, welches ein Tier für das Wachstum benötigt und somit die von Nutztieren in der Mast erreichte Gewichtszunahme pro Futtergewicht. Auf diese Weise kann die Effizienz der Umwandlung von Futter zu Körpergewicht dargestellt werden. Die FCR wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\text{FCR} = \frac{(\text{Futter, gesamt} - \text{Futterreste})}{\text{BSFL-Biomasse}}$$

Es ist bekannt, dass bei Nutztieren, die in relativ kurzer Zeit eine hohe Gewichtszunahme aufweisen, wie die Larve der Schwarzen Soldatenfliege, die FCR niedrig ist. Je niedriger die FCR, desto besser ist die Futtermittelnutzung bzw. Fütterungseffizienz. Im hier vorliegenden Projekt konnte eine relativ niedrige FCR von durchschnittlich 2,6 mit geringer Standardabweichung ($\pm 0,84$) erreicht werden (Abbildung 2). Dies zeigt, dass die Projektpartner eine effiziente, standardisierte BSFL-Mast entwickeln konnten.

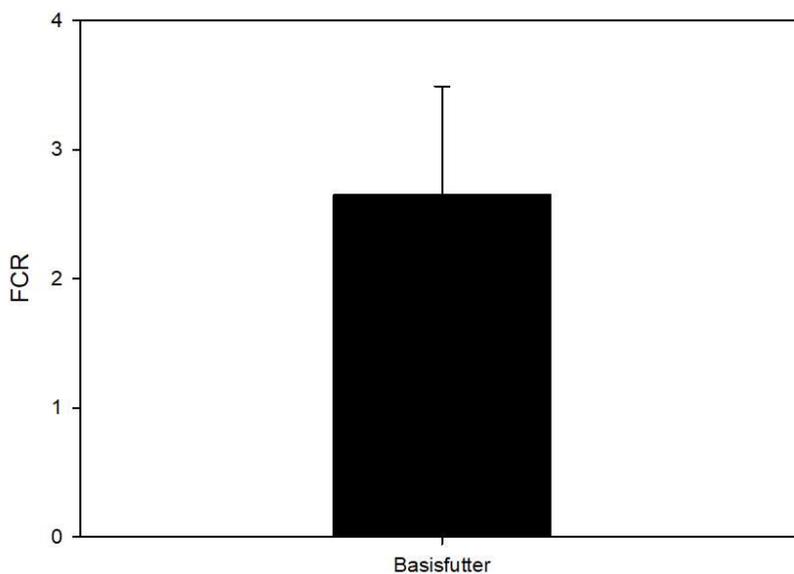


Abbildung 2: Darstellung der FCR der mit Basisfutter gefütterten BSFL; Probenanzahl n=37.

3.1.2 Qualitätskontrolle des Basisfutters zur Larvenmast (DIL e.V.)

Im Zuge der Etablierung einer BSFL-Mast wurde ein Basisfutter für die Larven entwickelt, das ein Wachstum der BSFL gewährleistet und den Fütterungsbedingungen der BSFL entspricht. Dieses besteht hauptsächlich aus Geflügelfutter und Wasser, sodass dieses eine gut verdauliche Konsistenz für die BSFL aufweist (Tabelle 1). Das Basisfutter wurde quartalsweise auf dessen Nährstoffe (Weender

Analyse) (Abbildung 3) und die umsetzbare Energie untersucht (Abbildung 4). Dies diente zur internen Qualitätskontrolle der Mast.

Aufgrund der sehr geringen Standardabweichung der einzelnen Werte lässt sich erkennen, dass die Nährstoffgehalte des Basisfutters sowie die umsetzbare Energie konstant war und sich die Qualität des Basisfutters demnach im Verlauf des Projekts aufrechterhalten ließ (Abbildung 3 und Abbildung 4).

Tabelle 1: Zusammensetzung des Basisfutters zur Fütterung der BSFL.

	Basisfutter
Geflügelfutter	39%
Wasser	59%
Sonnenblumenöl	2%

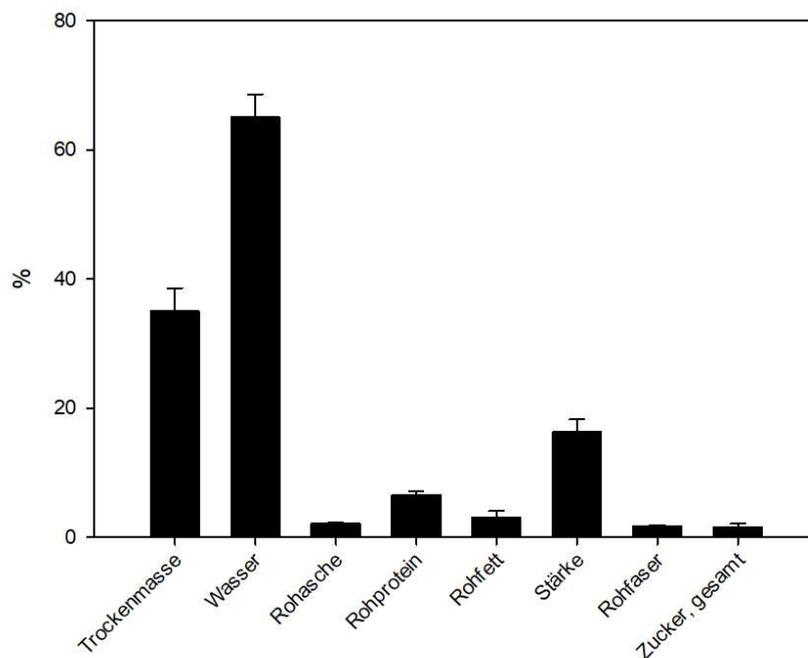


Abbildung 3: Weender Analyse des Basisfutters der BSFL zur Qualitätskontrolle. Probenanzahl: n=8.

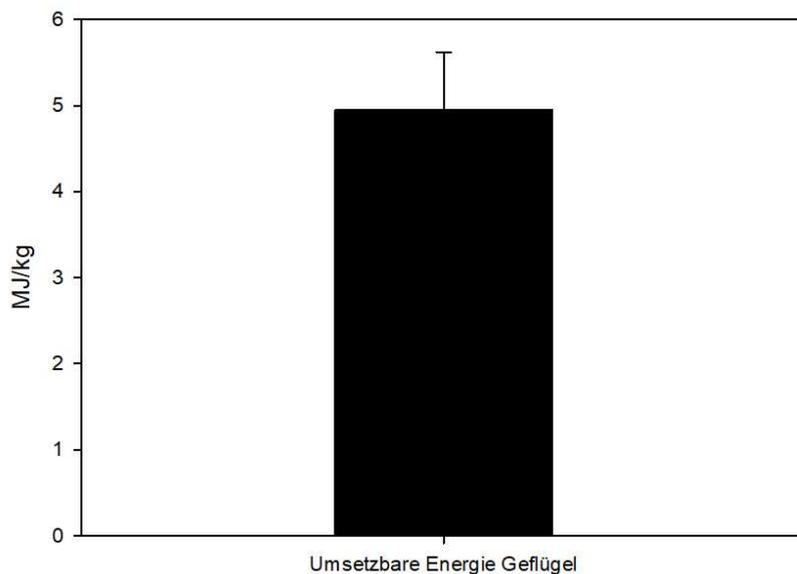


Abbildung 4: Analyse des Gehalts umsetzbarer Energie, bezogen auf Geflügel, des Basisfutters der BSFL zur Qualitätskontrolle. Probenanzahl: n=8.

Im Laufe des Projekts wurden zudem Nebenströme in die Rezeptur des Basisfutters eingesetzt und getestet (z.B. Kartoffelpülpe). Jedoch zeigte sich hier eine deutlich geringere Verwertung des Futters durch die BSFL und führte teilweise zu starker Verkeimung des Futters. Um eine zunehmende mikrobiologische Belastung in der Larvenmast zu verhindern, wurde von der Verwendung von Nebenströmen zunächst abgesehen. Zudem stellte sich die konkrete Einmischung der Nebenstromkomponenten in den vorteilhaften Konzentrationen als arbeitsintensiv dar. Aus diesem Grund sollte diese Thematik separat in Folgeprojekten betrachtet werden.

3.1.3 Untersuchung der chemischen Bestandteile der BSFL (DIL e.V.)

Um einen Einblick zu gewinnen ob BSFL ein mögliches Futtermittel für die Legehennenaufzucht darstellen kann wurden monatlich chemische Untersuchungen der Bestandteile der BSFL durchgeführt. Hier ist vor allem der Rohproteingehalt zu berücksichtigen, da BSFL als Proteinquelle gelten (Spranghers et al., 2017). Die Untersuchungen dienten ebenso der regelmäßigen Qualitätskontrolle der BSFL, um Veränderungen in ihrer Zusammensetzung und etwaige Gründe hierfür zu erkennen. Die Parameter (Weender Analyse) konnten teilweise mit denen des Legehennenfutters, basierend auf der Rezeptur des Herstellers, verglichen werden, welches in dem hier vorliegenden Projekt konventionell an die Legehennen verfüttert wurde (Tabelle 2). Die Analysen zeigten, dass sich die Trockensubstanz der BSFL zum größten Teil aus Rohprotein und Rohfett zusammensetzt. Der Anteil liegt hier deutlich höher als der Anteil von Rohprotein und -fett im herkömmlichen Legehennenfutter. Dies bestätigt die BSFL als Proteinquelle und die Gehalte sind vergleichbar zu Analysen aus der Literatur (Makkar et al., 2014, Spranghers et al., 2017). Im Vergleich zum eingesetzten Legehennenfutter weisen BSFL einen geringeren Gehalt Rohasche, Rohfaser und umsetzbarer Energie auf. Da konventionell verfügbares Futter bereits so zusammengestellt wird, dass alle Nährstoffanforderungen für Legehennen abgedeckt sind, lässt sich hieraus schließen, dass herkömmliches Futter wohl durch BSFL substituiert werden kann um eine zusätzliche Proteinquelle zu bieten, dieses jedoch nicht komplett durch BSFL ersetzt werden sollte. Andere Bestandteile, wie Vitamine, Aminosäuren und Mineralien, wurden in den BSFL nicht untersucht.

Tabelle 2: Bestandteile der BSFL aus der Produktion der DIL Insektenfarm und des Legehennenfutters im Vergleich; Probenanzahl n=8.

	BSFL	Legehennenfutter
Rohprotein [%]	39,6 ± 3,1	16,50
Rohfett [%]	36,7 ± 4,8	6,60
Rohasche [%]	3,8 ± 0,6	13,50
Rohfaser [%]	1,9 ± 0,6	5,20
Umsetzbare Energie [MJ ME]	7,2 ± 0,8	11,4

Zudem wurde der Fettanteil der BSFL auf die Fettsäurezusammensetzung untersucht sowie die Summe der gesättigten und ungesättigten Fettsäuren errechnet (Tabelle 3). Das untersuchte Fettsäuremuster verteilt sich auf 30 verschiedene Fettsäuren, welche gesättigte, einfach ungesättigte und mehrfach ungesättigte Fettsäuren beinhalten. Mehrere Fettsäuren (Buttersäure, Capronsäure, Caprylsäure, γ -Linolensäure, Nonadecansäure, Eicosensäure, Eicosadiensäure, Arachidonsäure, Eicosapentaensäure,

Uneicosansäure, Erucasäure, Docosapentaensäure, Docosahexaensäure, Lignocerinsäure und Tetracosensäure) lassen sich in den BSFL nicht nachweisen. Den größten Bestandteil der Fettsäuren macht Laurinsäure, Linolsäure und Ölsäure aus. Die ist vergleichbar zu Befunden aus der Literatur: Ein hoher Anteil Laurinsäure (C-12) (teilweise bis zu 60%) und Ölsäure (C-18:1) wurde in ähnlichen Studien ebenso zu großen Teilen im Insektenfett nachgewiesen (Spranghers et al., 2017; Spranghers et al., 2018; Ewald et al., 2020). Linolsäure (C-18:2) wurde in Untersuchungen, in denen BSFL mit Weizenkleie gefüttert wurden, als eine Fettsäure mit dem höchsten Anteil im Fettsäuremuster identifiziert (Gao et al., 2019). Aufsummiert besteht das Fett der BSFL in der hier vorliegenden Studie zum größten Teil aus gesättigten Fettsäuren (SFA) (Tabelle 3). Im Vergleich zu den Gehalten der ungesättigten Fettsäuren (MUFA und PUFA) ergibt sich ein Verhältnis von $\sim 1,5:1$ (SFA:UFA). Der höhere Anteil von gesättigten zu ungesättigten Fettsäuren wurde ebenso in vergleichbaren Untersuchungen dargestellt (Ramos-Bueno et al., 2016; Ewald et al., 2020, Tirtawijaya and Choi, 2022).

Tabelle 3: Fettsäurezusammensetzung der BSFL^A.

Fettsäure	Konzentration [g/100g]
Buttersäure (C-4) ¹	0,0±0,0
Capronsäure (C-6) ¹	0,0±0,0
Caprylsäure (C-8) ¹	0,0±0,0
Caprinsäure (C-10) ¹	0,9±0,1
Laurinsäure (C-12) ¹	38,2±2,9
Tridecansäure (C-13) ¹	0,0±0,0
Myristinsäure (C-14) ¹	6,7±0,8
Myristoleinsäure (C-14:1) ²	0,0±0,1
Pentadecansäure (C-15) ¹	0,0±0,0
Palmitinsäure (C-16) ¹	11,7±1,1
Palmitoleinsäure (C-16:1) ²	1,8±0,7
Heptadecansäure (C-17) ¹	0,0±0,1
Stearinsäure (C-18) ¹	2,1±0,4
Ölsäure (C-18:1) ²	13,5±1,4
Linolsäure (C-18:2) ³	24,1±1,7
γ -Linolensäure (C-18:3) ³	0,0±0,0
α -Linolensäure (C-18:3) ³	0,4±0,0
Nonadecansäure (C-19) ¹	0,0±0,0
Arachinsäure (C-20) ¹	0,1±0,1
Eicosensäure (C-20:1) ²	0,0±0,0
Eicosadiensäure (C-20:2) ³	0,0±0,0
Arachidonsäure (C-20:4) ³	0,0±0,0
Eicosapentaensäure (C-20:5) ³	0,0±0,0
Uneicosansäure (C-21) ¹	0,0±0,0
Behensäure (C-22) ¹	0,0±0,1
Erucasäure (C-22:1) ²	0,0±0,0
Docosapentaensäure (C-22:5) ³	0,0±0,0
Docosahexaensäure (C-22:6) ³	0,0±0,0
Lignocerinsäure (C-24) ¹	0,0±0,0
Tetracosensäure (C-24:1) ²	0,0±0,0
SFA ^B	7,7±1,5
MUFA ^B	2,0±0,7
PUFA ^B	3,1±0,6

^ADaten bestehen aus neun Replikaten von BSFL zum Masttag 18.

^BSFA: Summe gesättigte Fettsäuren, MUFA: einfach ungesättigte Fettsäuren, PUFA: mehrfach ungesättigte Fettsäuren.

¹gesättigte Fettsäuren, ²einfach ungesättigte Fettsäuren, ³mehrfach ungesättigte Fettsäuren.

3.1.4 Untersuchung des Einflusses der Fütterung von BSFL an Legehennen auf die Eiqualität (DIL e.V.)

3.1.4.1 Erster Legehennenlauf zum Vergleich verschiedener BSFL-Substitutionsmengen

Um herauszustellen ob eine Zufütterung von BSFL einen Einfluss auf die Eiqualität der Legehennen hat, wurden in einem ersten Legehennenlauf (Legehennenlauf 1) in zwei Fütterungsgruppen unterschiedliche definierte Mengen des Legehennenfutters täglich durch BSFL substituiert (7,5% bzw. 15%). Zur Festlegung der Substitutionsmengen wurde sich an vergleichbaren Veröffentlichungen orientiert (Ruhnke et al., 2018). Im Verlauf des Legehennenlaufs wurden Hühnereier in regelmäßigen Abständen (monatlich) auf verschiedene Parameter untersucht und mit einer Kontrollgruppe aus Legehennen, deren Futter nicht durch BSFL substituiert wurde, verglichen. Hierzu wurden die Legehennen in drei Gruppen unterteilt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Unterschiedliche Fütterungsgruppen in den verschiedenen Legehennenläufen.

	Substitutionsmenge des Futters durch BSFL [%]	
	Legehennenlauf 1	Legehennenlauf 2
Gruppe 1 (Kontrollgruppe)	0	0
Gruppe 2	7,5	7,5 (manuelle Zugabe)
Gruppe 3	15	7,5 (automatisierte Zugabe)

Es wurden monatlich von jeder Gruppe je 20 Eier (randomisiert; Größen: S, M, L) aus den jeweiligen Mobilställen gesammelt, gepoolt und als Proben für verschiedene Analysen auf physikalische und chemische Parameter genutzt. Das Poolen der Ei-Proben diente der Varianzreduzierung innerhalb der Untersuchungsgruppe. Als Untersuchungsparameter wurde ein breites Spektrum an chemischen Analysen auf verschiedene Bestandteile wie Nährwerte, Mineralien, Vitamine und auch Dioxine gewählt sowie physikalische Parameter wie der Farbwert und die Gewichte der Ei-Bestandteile gewählt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Auflistung der gemessenen physikalischen und chemischen Parameter im Gesamt-Ei im Legehennenlauf 1.

Physikalische P.	Nährwerte	Mineralien	Vitamine	Dioxine
Eigewicht	Wasser	Phosphor	Vitamin A	PCDD / PCDF
Gewicht Eischale	Trockenmasse	Natrium	Vitamin E	Dioxinähnliche PCB
Gewicht Eigelb	Asche	Kalium	Vitamin D3	Indikator-PCB
Farbwert Eigelb	Rohprotein	Eisen		
	Fett	Calcium		
	Fettsäuremuster			
	Aminosäuremuster			
	Cholesterin			

Zur Auswertung wurden die Untersuchungsergebnisse zwischen Gruppe 1 (Kontrolle), 2 und 3 (BSFL-Substitution) verglichen. Hierzu wurden die Ergebnisse zu Beginn (keine bzw. minimale BSFL-Fütterung) mit denen zum Ende (maximale BSFL-Fütterung) des Fütterungszeitraums analysiert und

die drei Fütterungsgruppen untereinander verglichen. Da im Legehennenlauf 1 die Parameter in Einfachbestimmung untersucht wurden, lassen sich von den einzelnen Untersuchungen keine Standardabweichungen bzw. Signifikanzen errechnen. Um Signifikanzen zu errechnen wurden somit die Ergebnisse jeweils der drei ersten und letzten Untersuchungszeiträume zusammengefasst, gemittelt sowie Standardabweichung und Signifikanzen berechnet. Signifikanzen wurden für die einzelnen Parameter zwischen den Fütterungsgruppen für je einen Untersuchungszeitraum mit One-way-ANOVA (Tukey-Test, paarweiser Vergleich) berechnet. Die jeweiligen Untersuchungszeiträume und die zugehörigen Fütterungswochen sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Darstellung der Lebendwoche der Legehennen bzw. Fütterungswochen in Bezug auf den Untersuchungszeitraum für Legehennenlauf 1 und 2.

	Einstellung	Untersuchungszeitraum Beginn	Untersuchungszeitraum Ende
Legehennenlauf 1			
Lebendwoche Hennen	17 LW	30-39 LW	50-59 LW
Fütterungswoche	1 W	14-23 W	34-43 W
Legehennenlauf 2			
Lebendwoche Hennen	17 LW	28 LW	63 LW
Fütterungswoche	1 W	12 W	47 W

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse für die einzelnen Parameter von Eiern des Legehennenlaufs 1 ergab im Vergleich der drei Fütterungsgruppen (Kontrolle, 7,5% bzw. 15% Substitution durch BSFL) keine signifikanten Unterschiede (Daten nicht gezeigt). Dies lässt die Interpretation zu, dass die Fütterung von BSFL in den angegebenen Konzentrationen keinen Einfluss auf die Eiqualität der Legehennen hat. Um auszuschließen, dass die Zusammenfassung der Untersuchungszeiträume zur Berechnung von Standardabweichung und Signifikanz, die Varianz der Werte erhöhte, sodass sich keine signifikanten Unterschiede errechnen ließen, wurden im Legehennenlauf 2 Dreifachbestimmungen für die einzelnen Untersuchungszeitpunkte und Parameter durchgeführt. So kann auf die Zusammenfassung von Untersuchungszeiträumen verzichtet werden. Zudem gab es die Vermutung, dass der Cholesterin- und Fettgehalt sowie die Konzentrationen der einzelnen Fettsäuren durch die Bestimmung im gesamten Ei verdünnt wurde, da Cholesterin und Fett hauptsächlich Bestandteil des Eigelbs, nicht weniger des Eiweiß sind. Daher wurden im Legehennenlauf 2 die Eier in Eigelb und Eiweiß getrennt und der Cholesterin- und Fettgehalt sowie das Fettsäuremuster nur im Eigelb untersucht (Tabelle 7). Im Zuge dessen wurde der Rohprotein-Gehalt im Eiweiß statt im gesamten Ei analysiert, da auch hier eine Verdünnung vermutet wurde. Als zusätzlicher Parameter wurde im Legehennenlauf 2 der Gehalt von Carotin im Eigelb untersucht, um einen eventuellen Unterschied der Farbgebung zwischen den Fütterungsgruppen aufzuzeigen (Tabelle 7). Zwar zeigte der Farbwert bei den Untersuchungen keinen signifikanten Unterschied in Eiern mit und ohne BSFL-Fütterung, allerdings könnte dies der subjektiven Untersuchungsweise geschuldet sein (Beurteilung durch Vergleich mit Farbkarten). Mit der Analyse des Carotingehalts könnte ein Unterschied objektiv nachgewiesen werden.

Werte bestimmter Parameter (Vitamine, Dioxine) zeigten im Verlauf des gesamten Untersuchungszeitraums bereits innerhalb der Gruppen eine hohe Varianz und somit auch bei der rechnerischen Zusammenfassung der Untersuchungszeiträume hohe Standardabweichungen (Daten nicht gezeigt). Dies lässt den Schluss zu, dass die Gehalte dieser chemischen Bestandteile auch innerhalb der Gruppen sehr variabel sind, sodass sich keine fundierte Aussage im Vergleich der Fütterungsgruppen treffen lässt. Diese wurden somit im Legehennenlauf 2 nicht mehr untersucht.

Kostspielige Analysen wie die Bestimmung der Aminosäure- und Mineralienkonzentrationen wurden im Legehennenlauf 2 ebenso nicht mehr untersucht.

3.1.4.2 Zweiter Legehennenlauf zum Vergleich manueller und automatisierter BSFL-Zugabe

Im zweiten Legehennenlauf (Legehennenlauf 2) wurde ebenso eine, bereits im Legehennenlauf 1 untersuchte, definierte Menge des Legehennenfutters durch BSFL substituiert (7,5%). Der Unterschied der Fütterungsgruppe 2 und 3 im Legehennenlauf 2 bestand in der Art der Zugabe der BSFL: die BSFL wurden entweder manuell (Gruppe 2) oder automatisiert mittels des im Projekt entwickelten Fütterungsautomaten (siehe 3.1.6) (Gruppe 3) den Legehennen gefüttert (Tabelle 4).

Auch im Legehennenlauf 2 wurden die Hühnereier in regelmäßigen Abständen auf verschiedene Parameter untersucht. Wie bereits weiter oben erwähnt wurden im Gegensatz zum Legehennenlauf 1 die Parameter Fett, Fettsäuremuster und Cholesterin sowie Carotine gezielt im Eigelb untersucht um höhere Konzentrationen und signifikante Unterschiede herauszustellen (Tabelle 7). Der Rohprotein-Gehalt wurde im Eiweiß untersucht. Zudem wurde eine Dreifachbestimmungen für die einzelnen Untersuchungszeitpunkte und Parameter durchgeführt um die Varianz der Werte von Eiern innerhalb der Fütterungsgruppen zu reduzieren und Signifikanzen berechnen zu können. Zur physikalischen Untersuchung der Eier der verschiedenen Gruppen wurden das gesamte Eigewicht, das Gewicht von Schale und Eigelb, der Farbwert des Eigelbs, der Yolk Index, die Haugh Unit sowie die Schalendicke und Bruchkraft der Ei-Schalen untersucht (Tabelle 7). Für diese Untersuchungen wurden jeweils 10 Eier verwendet.

Tabelle 7: Auflistung der gemessenen physikalischen und chemischen Parameter im Gesamt-Ei, Eigelb und Eiweiß im Legehennenlauf 2.

Ei (gesamt)		Eigelb	Eiweiß
Physikalische P.		Nährwerte	
Eigewicht	Wasser	Fett	Rohprotein
Gewicht Eischale	Trockenmasse	Fettsäuremuster	
Gewicht Eigelb	Asche	Cholesterin	
Farbwert Eigelb		Carotine	
Yolk Index			
Haugh Unit			
Bruchkraft Schalen			
Schalendicke			

Zur Darstellung und zum Vergleich der Ergebnisse wurden jeweils die Untersuchungsergebnisse zu Beginn (12 Wochen Fütterung) und zum Ende (47 Wochen Fütterung) des Fütterungszeitraums des Legehennenlaufs 2 aufgeführt und innerhalb dessen die Fütterungsgruppen verglichen (Tabelle 6). Die Werte in den Tabellen (Tabelle 8-Tabelle 10) zeigen Mittelwerte \pm Standardabweichung aus der Dreifachbestimmung für jeden Untersuchungszeitpunkt. Signifikanzen wurden für die einzelnen Parameter zwischen den Fütterungsgruppen für je einen Untersuchungszeitraum mit One-way-ANOVA (Tukey-Test, paarweiser Vergleich) berechnet.

Nach 12 Wochen Fütterung wiesen Eier der Kontrollgruppe (Gruppe 1) ein signifikant höheres Gewicht gegenüber Eiern aus Gruppen, dessen Futter zu 7,5% täglich durch BSFL substituiert wurde, auf. Hier ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ei-Gewichten von Gruppe 2 (manuelle Zugabe) und Gruppe 3 (automatisierte Zugabe) (Tabelle 8). Auch das Eigelb von Eiern aus der Kontrollgruppe weist ein signifikant höheres Gewicht im Vergleich zur Gruppe 2 auf. Interessanterweise ist dieser Unterschied nicht in Gruppe 3 zu sehen. Nach 47 Wochen Fütterung

waren die signifikanten Unterschiede der verschiedenen Gewichte zwischen den einzelnen Gruppen nicht mehr nachzuweisen. Eine Erklärung könnte sein, dass zu Beginn des Legehennenlaufs die Hennen durch die Substitution mit BSFL zunächst eine reduzierte Nährstoffzufuhr, in Form von eventuell fehlender Vitamine und Mineralstoffe, erfahren. Auch könnte es eine Phase der Gewöhnung an die Fütterung mit BSFL geben, in der die Hennen zunächst weniger Nahrung aufnehmen, da BSFL als Nahrung nicht angenommen/erkannt werden. Im Verlauf des Fütterungsversuchs wird dieser Effekt durch die Gewöhnung der Hennen an BSFL als Nahrungsquelle wieder reduziert. Eier von Legehennen, deren Futter mit BSFL substituiert wurden wiesen zudem eine signifikant dickere Schale auf (Tabelle 8). Jedoch resultierte dies nicht in einer abweichenden Bruchkraft, die angewendet werden muss um die Eier zu zerbrechen. Dies deutet darauf hin, dass eine Fütterung mit BSFL einen Einfluss auf die Schalendicke hat, jedoch nicht auf die Stabilität der Eier.

Tabelle 8: Effekt der BSFL-Fütterung auf physikalische Parameter in Legehennen-Eier^A der verschiedenen Fütterungsgruppen nach 12 bzw. 47 Wochen Fütterung mit/ohne BSFL.

Parameter		Fütterungsgruppe ^B		
		Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
12 Wochen				
Eigewicht	g	66,6±3,1 ^a	57,3±3,0 ^b	59,2±1,5 ^b
Gewicht Eischale	g	8,4±0,8	7,5±0,5	7,8±0,4
Gewicht Eigelb	g	14,7±1,1 ^a	13,1±1,3 ^b	14,0±0,8 ^{ab}
Farbwert Eigelb		13,9±0,6	14,4±0,7	13,9±0,6
Yolk Index		0,5±0,0	0,5±0,0	0,5±0,0
Haugh Unit		87,1±4,1	81,6±6,0	81,0±6,4
47 Wochen				
Eigewicht	g	69,0±2,2	68,7±1,9	68,7±2,5
Gewicht Eischale	g	7,5±0,0	8,4±0,6	8,4±0,6
Gewicht Eigelb	g	17,3±0,8	17,5±1,1	17,9±0,9
Farbwert Eigelb		13,6±0,5	13,3±0,5	13,3±0,5
Yolk Index		0,5±0,0	0,5±0,0	0,5±0,0
Haugh Unit		75,0±10,0	75,0±10,0	77,5±9,1
Bruchkraft Schalen ^C	N	47,6±6,1	47,5±6,3	41,4±5,7
Schalendicke ^C	mm	0,34±0,0 ^a	0,43±0,0 ^b	0,43±0,0 ^b

^ADaten bestehen aus 10 Eiern pro Parameter pro Fütterungsgruppe.

^BGruppe 1: Kontrolle; keine Futtersubstitution durch BSFL; Gruppe 2: 7,5% Substitution des täglichen Futters durch manuelle Fütterung von BSFL; Gruppe 3: 7,5% Substitution des täglichen Futters durch automatisierte Fütterung von BSFL

^CUntersuchungen wurden am Ende des Fütterungszeitraums (nach 47 Wochen Fütterung) durchgeführt

^{a-b}Mittelwerte einer Zeile mit unterschiedlichen Exponenten unterscheiden sich signifikant ($p < .05$)

Signifikante Unterschiede in den Ergebnissen aller untersuchten Nährwerte zwischen den verschiedenen Fütterungsgruppen zeigten sich weder zu Beginn des Legehennenlaufs nach 12 Wochen Fütterung noch zum Ende nach 47 Wochen Fütterung (Tabelle 9). Auch mit Untersuchung von Rohprotein- und Fettgehalten im Eiweiß bzw. Eigelb allein konnten somit keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen nachgewiesen werden. Aus den gemessenen Werten des Cholesteringehalts und den zugehörigen hohen Standardabweichungen lässt sich erkennen, dass dieser sehr variabel innerhalb der Fütterungsgruppen ausfällt, sodass sich auch hier kein signifikanter Unterschied darstellen lässt (Tabelle 9). Bezüglich des Carotine-Gehalts lässt sich nach 47 Wochen Fütterung eine Reduktion als Trend in Eiern von Legehennen, die mit BSFL gefüttert wurden, erkennen. Diese Werte sind jedoch aufgrund der hohen Abweichungen nicht signifikant. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Fütterung von BSFL, trotz ihres höheren Protein- und Fettgehalts (Tabelle 2), keinen Einfluss auf den Protein- und Fettgehalt oder anderer, hier untersuchten, Nährwerte im

Vergleich zur herkömmlichen Legehennenfütterung hat. Zudem weisen die Ergebnisse daraufhin, dass Legehennen die manuelle wie die automatisierte Fütterung der BSFL gleichermaßen angenommen haben, da sich keine signifikanten Unterschiede in den Konzentrationen der untersuchten Parametern ergeben.

Tabelle 9: Effekt der BSFL-Fütterung auf chemische Parameter der Legehennen-Eier^A verschiedenen Fütterungsgruppen nach 12 bzw. 47 Wochen Fütterung mit/ohne BSFL.

Parameter		Fütterungsbedingungen ^B		
		Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
12 Wochen				
Wasser	g/100g	134,9±0,3	135,2±0,2	135,2±0,3
Trockenmasse	g/100g	65,0±0,3	64,8±0,2	64,8±0,3
Asche	g/100g	2,5±0,1	2,5±0,0	2,8±0,0
Rohprotein ^C	g/100g	11,2±0,4	11,8±0,1	11,4±0,2
Fett ^D	g/100g	29,7±0,8	30,4±0,6	29,9±0,6
Cholesterin ^D	mg/100g	1177,3±59,7	1222,7±11,0	1158,3±12,9
Carotine ^D	mg/Trockenmasse	6,6±0,1	6,7±0,2	6,7±0,0
47 Wochen				
Wasser	g/100g	137,1±0,6	136,7±0,3	137,1±0,9
Trockenmasse	g/100g	62,9±0,6	63,3±0,3	62,9±0,9
Asche	g/100g	2,5±0,0	2,5±0,1	2,5±0,1
Rohprotein ^C	g/100g	10,4±0,3	10,2±0,2	10,2±0,7
Fett ^D	g/100g	30,0±0,3	30,2±0,2	30,0±0,2
Cholesterin ^D	mg/100g	1164,2±13,6	1190,4±27,0	1186,2±29,5
Carotine ^D	mg/Trockenmasse	8,4±1,4	8,2±1,4	7,7±0,5

^ADaten bestehen aus drei Replikaten pro Fütterungsbedingung mit n=10 Eiern pro Replikat.

^BGruppe 1: Kontrolle; keine Futtersubstitution durch BSFL; Gruppe 2: 7,5% Substitution des täglichen Futters durch manuelle Fütterung von BSFL; Gruppe 3: 7,5% Substitution des täglichen Futters durch automatisierte Fütterung von BSFL

^CUntersuchung im Eiweiß

^DUntersuchung im Eigelb

^{a-b}Mittelwerte einer Zeile mit unterschiedlichen Exponenten unterscheiden sich signifikant ($p < .05$)

Fettsäuren spielen in der Ernährung eine wichtige Rolle. Um Aufschluss darüber zu geben, ob die Fütterung von BSFL einen Einfluss auf die Zusammensetzung und Mengen der Fettsäuren in Legehennen-Eiern hat wurde das Fettsäuremuster im Eigelb untersucht sowie die Summe der gesättigten und ungesättigten Fettsäuren errechnet (Tabelle 10). Mehrere Fettsäuren (Buttersäure (C-4), Capronsäure (C-6), Caprylsäure (C-8), Caprinsäure (C-10), Tridecansäure (C-13), Nonadecansäure (C-19), Arachinsäure (C-20), Lignocerinsäure (C-24), Erucasäure (C-22:1), Tetracosensäure (C-24:1) und Eicosapentaensäure (C-20:5)) lassen sich in den Eiern keiner Fütterungsgruppe zu keinem Zeitpunkt nachweisen und wurden daher in Tabelle 10 nicht aufgeführt.

Das Fettsäuremuster im Eigelb von Eiern der verschiedenen Fütterungsgruppen zeigte nach 12 Wochen Fütterung mit bzw. ohne BSFL keine signifikanten Unterschiede zueinander (Tabelle 10). Nach 47 Wochen Fütterung wiesen Eier von Legehennen, deren Futter zu 7,5% mit BSFL substituiert wurden, im Vergleich zur Kontrollgruppe einen signifikant höheren Gehalt der gesättigten Myristinsäure auf. Hier unterschieden sich die Eier von Legehennen, die BSFL manuell oder automatisiert gefüttert bekamen bzgl. der Signifikanz nicht. Dieser Unterschied lässt sich auch in der Summe der SFA (gesättigte Fettsäuren) erkennen, die mit einem signifikant höheren Gehalt in Eiern der Gruppen 2 und 3 nachzuweisen sind. Ebenso ist der Gehalt der gesättigten Palmitinsäure im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant höher in der Gruppe 2, jedoch nicht in Gruppe 3. Interessanterweise ist auch

in den gefütterten BSFL eine hohe Konzentration der Fettsäuren Myristinsäure und Palmitinsäure nachzuweisen (Tabelle 3), was den Anstieg der Gehalte in den Eiern von Legehennen, deren Futter mit BSFL substituiert wurden, erklären kann. Auch die einfach ungesättigte Ölsäure lässt sich in relativ hohen Konzentrationen in den gefütterten BSFL nachweisen (Tabelle 3). In den Fütterungsgruppen 2 und 3 ist die Konzentration der Ölsäure jedoch signifikant reduziert gegenüber der Kontrollgruppe. Die Ergebnisse deuten daraufhin, dass das Fettsäurespektrum durch die Fütterung von BSFL (7,5% Substitution) nach längeren Fütterungsperioden verändert werden kann. Ein deutlicherer Unterschied lässt sich eventuell erkennen, wenn das Futter der Hennen in größeren Konzentrationen durch BSFL substituiert wird. Zudem geben die Versuche einen Hinweis darauf, dass das Spektrum in Hühnereiern basierend auf der Zusammensetzung des Rohfetts der BSFL variiert werden könnte.

Tabelle 10: Effekt der BSFL-Fütterung auf die Fettsäurezusammensetzung in Legehennen-Eiern^A.

Fettsäure		Fütterungsbedingungen ^B		
		Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
12 Wochen				
Laurinsäure (C-12)	g/100g Fett	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
Myristinsäure (C-14)	g/100g Fett	0,4±0,0	0,4±0,0	0,4±0,0
Pentadecansäure (C-15)	g/100g Fett	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
Palmitinsäure (C-16)	g/100g Fett	23,9±0,1	23,6±0,2	23,5±0,2
Heptadecansäure (C-17)	g/100g Fett	0,2±0,0	0,2±0,0	0,2±0,0
Stearinsäure (C-18)	g/100g Fett	8,2±0,1	8,1±0,1	8,1±0,1
Uneicosansäure (C-21)	g/100g Fett	0,1±0,2	0,1±0,3	0,0±0,0
Behensäure (C-22)	g/100g Fett	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
SFA	g/100g	9,8±0,2	9,9±0,2	9,7±0,2
Myristoleinsäure (C-14:1)	g/100g Fett	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
Palmitoleinsäure (C-16:1)	g/100g Fett	2,8±0,1	2,8±0,4	2,8±0,1
Ölsäure (C-18:1)	g/100g Fett	42,3±0,4	42,0±0,3	42,4±0,2
Eicosensäure (C-20:1)	g/100g Fett	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
MUFA	g/100g	13,4±0,3	13,7±0,3	13,6±0,2
Linolsäure (C-18:2)	g/100g Fett	17,8±0,5	18,3±0,3	18,2±0,2
γ-Linolensäure (C-18:3)	g/100g Fett	0,1±0,0	0,1±0,0	0,1±0,0
α-Linolensäure (C-18:3)	g/100g Fett	0,8±0,0	0,8±0,0	0,8±0,0
Eicosadiensäure (C-20:2)	g/100g Fett	0,2±0,0	0,2±0,0	0,2±0,0
Arachidonsäure (C-20:4)	g/100g Fett	1,9±0,0	2,1±0,0	2,0±0,0
Docosapentaensäure (C-22:5)	g/100g Fett	0,1±0,0	0,1±0,0	0,1±0,0
Docosahexaensäure (C-22:6)	g/100g Fett	0,8±0,0	0,9±0,0	0,8±0,0
PUFA	g/100g	6,5±0,3	6,8±0,2	6,7±0,2
47 Wochen				
Laurinsäure (C-12)	g/100g Fett	0,0±0,0	0,2±0,0	0,4±0,1
Myristinsäure (C-14)	g/100g Fett	0,4±0,0 ^a	1,4±0,3 ^b	1,7±0,4 ^b
Pentadecansäure (C-15)	g/100g Fett	0,1±0,0	0,1±0,0	0,1±0,0
Palmitinsäure (C-16)	g/100g Fett	24,3±0,2 ^a	25,1±0,5 ^b	24,8±0,2 ^a
Heptadecansäure (C-17)	g/100g Fett	0,2±0,0	0,2±0,0	0,2±0,0
Stearinsäure (C-18)	g/100g Fett	8,5±0,1	8,2±0,2	8,3±0,2
Uneicosansäure (C-21)	g/100g Fett	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
Behensäure (C-22)	g/100g Fett	0,1±0,0	0,1±0,0	0,1±0,0
SFA	g/100g	10,1±0,0 ^a	10,7±0,2 ^b	10,7±0,3 ^b
Myristoleinsäure (C-14:1)	g/100g Fett	0,1±0,0	0,3±0,1	0,3±0,1

Palmitoleinsäure (C-16:1)	g/100g Fett	2,9±0,1	3,1±0,3	3,3±0,3
Ölsäure (C-18:1)	g/100g Fett	41,6±0,2 ^a	39,2±0,2 ^b	39,2±1,0 ^b
Eicosensäure (C-20:1)	g/100g Fett	0,2±0,0	0,2±0,0	0,2±0,0
MUFA	g/100g	13,4±0,2	12,9±0,2	12,9±0,4
Linolsäure (C-18:2)	g/100g Fett	17,9±0,2	18,2±1,0	17,8±0,8
γ-Linolensäure (C-18:3)	g/100g Fett	0,8±0,0	0,7±0,1	0,7±0,0
α-Linolensäure (C-18:3)	g/100g Fett	0,1±0,0	0,1±0,0	0,1±0,0
Eicosadiensäure (C-20:2)	g/100g Fett	0,2±0,0	0,2±0,0	0,2±0,0
Arachidonsäure (C-20:4)	g/100g Fett	1,7±0,0	1,7±0,0	1,7±0,0
Docosapentaensäure (C-22:5)	g/100g Fett	0,1±0,0	0,1±0,0	0,1±0,0
Docosahexaensäure (C-22:6)	g/100g Fett	0,8±0,0	0,7±0,0	0,7±0,0
PUFA	g/100g	6,5±0,1	6,6±0,3	6,4±0,2

^aDaten bestehen aus drei Replikaten pro Fütterungsbedingung mit 10 Eiern pro Replikat.

^bGruppe 1: Kontrolle; keine Futtersubstitution durch BSFL; Gruppe 2: 7,5% Substitution des täglichen Futters durch manuelle Fütterung von BSFL; Gruppe 3: 7,5% Substitution des täglichen Futters durch automatisierte Fütterung von BSFL

^cSFA: Summe gesättigte Fettsäuren, MUFA: einfach ungesättigte Fettsäuren, PUFA: mehrfach ungesättigte Fettsäuren

^{a-b}Mittelwerte einer Zeile mit unterschiedlichen Exponenten unterscheiden sich signifikant ($p < .05$)

3.1.5 Untersuchung des Einflusses der Fütterung mit BSFL auf die physikalischen Eigenschaften des Eis für potenzielle Eiproduktentwicklungen (DIL e.V.)

Zusätzlich zu den weiter oben aufgeführten chemischen und physikalischen Eigenschaften wurden bestimmte physikalische Parameter untersucht, die Aufschluss darüber geben könnten, ob sich Eier von Legehennen, die mit BSFL gefüttert wurden, zu herkömmlichen Eiern, bzgl. ihrer Eigenschaften für potenzielle Eiproduktentwicklungen, unterscheiden. Hieraus könnten Empfehlungen über zukünftige mögliche Eiproduktentwicklungen resultieren. Eiprodukte, die durch abweichende physikalische Eigenschaften des Eis beeinflusst werden könnten, sind z.B. die Herstellung von Baiser, Rührei oder Kuchen. Hierzu wurden die Schaumstabilität, die Gelbildung des Gesamt-Eis sowie die technologischen Eigenschaften eines aus dem Gesamt-Ei hergestellten Biskuitkuchens untersucht. Die Untersuchungen wurden von Eiern der verschiedenen Fütterungsgruppen zum Ende des Legehennenlaufs 2 (47 Wochen Fütterung) durchgeführt, da hier der größte messbare Effekt vermutet wurde.

Der Strukturzustand der Makromoleküle bestimmt die Fähigkeit, Gele auszubilden. Der Grad der inneren Strukturierung wurde rheologisch mit Hilfe des Oszillationstests in Abhängigkeit von der Temperatur bestimmt. Die hier untersuchten Parameter der Gelbildung des Gesamt-Eis von Legehennen lassen keine Rückschlüsse auf einen unmittelbaren und deutlichen Einfluss der Fütterung der Legehennen mit BSFL zu (Daten nicht gezeigt).

Zur Messung der Schaumstabilität wurde das Eiklar mittels Standardverfahren verschäumt und das Gesamtvolumen und das Schaumvolumen wurden innerhalb von 60 min bestimmt. Die Schaumstabilität wird anhand des Schaummantels am gesamten Probenvolumen bewertet. Je weniger sich der Schaumanteil während der Messung vermindert, umso größer ist die Schaumstabilität. Die Schaumstabilität von Eiern aus den unterschiedlichen Fütterungsgruppen ist vergleichbar und lässt keine signifikanten Unterschiede erkennen (Daten nicht gezeigt).

Zur Herstellung von Biskuitkuchen aus Eiern der verschiedenen Fütterungsgruppen wurde das Gesamt-Ei mit Saccharose aufschlagen, Stärke, Mehl und Salz untergehoben und 30 min bei 180°C gebacken. Die gebackenen Biskuitkuchen wurde basierend auf Krumendichte, Krumenfestigkeit und Sensorik beurteilt und untereinander verglichen. Das visuelle Erscheinungsbild der Kuchen ist in Abbildung 5 veranschaulicht.

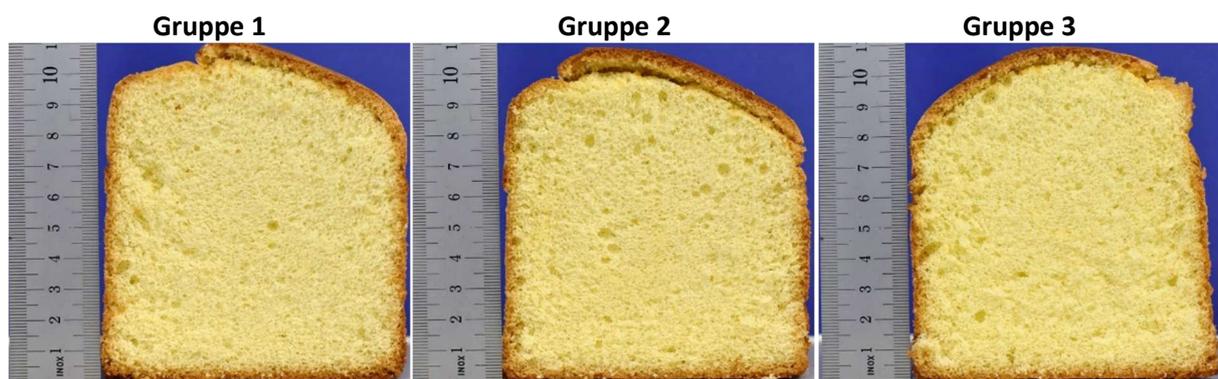


Abbildung 5: Biskuitkuchen gebacken aus dem Gesamt-Ei der unterschiedlichen Fütterungsgruppen; Gruppe 1: Kontrolle: keine Futtersubstitution durch BSFL; Gruppe 2: 7,5% Substitution des täglichen Futters durch manuelle Fütterung von BSFL; Gruppe 3: 7,5% Substitution des täglichen Futters durch automatisierte Fütterung von BSFL; Skalierung in cm.

Es ist keine Abhängigkeit der Krumendichte und Krumenfestigkeit der Biskuitkuchen von der Fütterung der Legehennen erkennbar. Beide Parameter waren für die verschiedenen Fütterungsgruppen vergleichbar. Auch sensorisch wurden keine Abweichungen der Biskuitkuchen von Eiern der Legehennen, die mit BSFL gefüttert wurden (ob manuell oder automatisiert), festgestellt.

Die Ergebnisse der physikalischen Untersuchungen deuten darauf hin, dass die langfristige Fütterung von BSFL keinen Einfluss auf die Eigenschaften des Hühnereis für potenzielle Eiproduktentwicklung hat und dementsprechend vergleichbar mit herkömmlichen Hühnereiern in Eiproduktentwicklungen eingesetzt werden können.

3.1.6 Entwicklung eines Prototypens für die automatisierte Fütterung von BSFL (DIL e.V.)

Im Laufe des Projektzeitraums wurde ein Fütterungsautomat entwickelt, der zur automatisierten Fütterung der BSFL dienen soll und im Mobilstall installiert wurde. Dieser Fütterungsautomat wurde im zweiten Legehennenlauf in der Fütterungsgruppe 3 eingesetzt um einen Vergleich zur manuellen Fütterung auf Eiqualität, aber auch Tierwohl und Verhalten der Tiere ziehen zu können (3.1.4).

Grundvoraussetzung für die effektive Fütterung von Legehennen mit lebenden BSFL ist die fütterungsspezifische Portionierung, sowie die Anpassung an die Fütterung mit Primärfutter (Legehennenfutter). Hierzu war die mechanische Einbindung eines Fütterungsautomaten in den Mobilstall, sowie die Integration der autonomen Portionierung in die Ablaufsteuerung der Primärfütterung notwendig.

Um dies umzusetzen wurden zunächst unterschiedliche Ansätze verfolgt und erprobt. Hierzu wurden verschiedene Mechanismen zur Portionierung in erste Funktionsmuster umgesetzt und hinsichtlich Portioniergüte oder Einfluss auf die BSFL untersucht, so dass verhindert werden konnte, dass die Verfahren die Larven beschädigen. Auf diese Weise konnte ebenso die Akzeptanz bei den Legehennen bewertet werden. Als Folge der Vorversuche wurde ein Kassettensystem konstruktiv finalisiert und anschließend mechanisch in einen Demonstrator umgesetzt. Hierbei ließen sich die BSFL in eine Kassette einbringen, welche in ein Rahmengestell eingelassen werden konnte. Das Rahmengestell wurde hierbei fest in den Mobilstall integriert. Nach Einbringung der gefüllten Kassette lässt sich diese über integrierte Motoren im Rahmengestell verfahren. Durch einen Auslass im Gestell, welcher direkt oberhalb der Futterkette der Primärfütterung positioniert ist, können so die BSFL aus der Kassette gefördert und in den Futterstrom eingebracht werden. Zur Ansteuerung der Kassettentriebe wurden relevante Signale aus der Steuerung des Mobilstalls identifiziert, diese elektrisch in eine separate

Systemsteuerung für die Kassette eingebracht und hierüber der Anlauf der Portionierung vorgenommen. Dieses Fütterungssystem wurde in der Folge in Versuchsläufen im Stall erprobt. Hierbei war ersichtlich, dass die Hennen die Fütterung mit den BSFL sehr gut annehmen.

In gleicher Weise konnte jedoch erkannt werden, dass die Form und Gestaltung der Kassette, sowie dessen Füllstände einen entscheidenden Einfluss auf die Portionierung der BSFL in die Futterkette hatte. Eine erste breite Kassettenform ermöglichte hierbei eine mengenmäßig passende Portionierung, dessen Austrag in die Futterkette jedoch nicht immer gleichmäßig war. Aus diesem Grund wurde das Kassettendesign in der Folge weiter optimiert. Versuchsreihen führten zur Auslegung eines Systems mit drei separat angetriebenen Kassetten, die jeweils zu Fütterungszeiträumen eine Teilmenge der BSFL in die Futterkette ausbringen können (Abbildung 6). Dies machte ebenso eine Erweiterung der Systemsteuerung erforderlich, die nun in einem separaten Schaltschrank integriert und im Mobilstall installiert wurde. Die Befüllung der separaten Kassetten kann nun zentral erfolgen, so dass die fertige Kassette zum Mobilstall transportiert und dort in das installierte Rahmengestell eingebracht werden kann. In gleicher Weise ist auch die Befüllung im Mobilstall möglich. Durch Aktivierung des Steuerungssystems mittels eines Freigabeschalters wartet die Fütterungsanlage auf den nächsten Fütterungszyklus, welcher durch die Futterkette ausgelöst wird. Anschließend portioniert eine der Kassetten dessen Larveninhalt in die Futterkette. Die Testreihen zeigten hierbei eine gleichmäßige Portionierung der BSFL in die Kette.



Abbildung 6: Bilder des Fütterungsautomaten.

A: Darstellung der Aufsicht des geschlossenen Fütterungsautomaten final installiert im Mobilstall; B: Darstellung des offenen Fütterungsautomaten mit den drei Kammern, welche mit BSFL befüllt werden können.

3.1.7 Nachhaltigkeitsbetrachtung der BSFL-Produktion in kleinem Maßstab mit nachgelagerter Fütterung an Legehennen zur Eiproduktion (DIL e.V.)

Die derzeitigen Lebens- und Futtermittelproduktionssysteme sind nicht nachhaltig, sowohl aufgrund der hohen Umweltauswirkungen ihrer Endprodukte als auch aufgrund der hohen Abfallerzeugung. Die intelligente Nutzung von Insektenproduktionssystemen kann zur Lösung dieser beiden Probleme beitragen. Insekten haben sich als gute Quelle für Nahrungseiweiß, aber auch für Lipide und andere wertvolle Inhaltsstoffe erwiesen, wodurch sie die Umwelt deutlich weniger belasten als beispielsweise Wiederkäuer. Andererseits können Insekten auf Materialien gezüchtet werden, die sonst

bewirtschaftetes Land keinen Bio-Status der Eiervermarktung zuließ. Die Ausstellung der Legehennen erfolgte am 24.09.2020.

Da die Tiere Zeit benötigen, um den neuen Stall kennenzulernen und gut in den Legestart zu kommen, wurde mit der Larvenfütterung verzögert, nämlich in LW 27, begonnen. Um die Legehennen an die Fütterung von Larven zu gewöhnen, wurde die Larvenmenge langsam gesteigert. Die Legehennen wurden in den Mobilställen eins und drei mit Larven gefüttert, Stall 2 diente als Nullstall, um eventuelle äußere Umwelteinflüsse auf die Versuchsergebnisse ausschließen zu können. Mobilstall Nr. 1 erhielt laut Fütterungsplan die doppelte Larvenmenge als Stall 3. (Siehe Abbildung 2 und 3).

Zu der verfütterten Larvenmenge sind folgenden Anmerkungen zu machen.

1. Anstatt die Larvenmenge wie geplant in kurzer Zeit auf 6 bzw. 12 kg ansteigen zu lassen, wurde beschlossen, zunächst niedrigere Werte anzustreben und zu schauen, wie die Legehennen mit diesen Mengen umgehen können. Die Zielwerte wurden daher halbiert.
2. In der Praxis konnte die Steigerung der Larvenmenge nicht so konstant erfolgen wie geplant. Grund hierfür sind zeitweise Produktionsausfälle in der Larvenproduktion. Um dieser Diskontinuität entgegenzuwirken, wurden Larven von anderen Herstellern zugekauft. Die Einbrüche der verfütterten Larvenmenge ist auch in Abbildung 8 in Woche 49 bzw. 51 sowie LW 53 zu sehen.
3. Die Larven werden zusätzlich zum standardisierten, zugekauften Legehennenfutter eines Mischfutterwerkes gefüttert. Dieses Futter bezeichnen wir als Basisfutter. Es wurde nicht an die zusätzliche Fütterung von mutmaßlich sehr proteinreichem Futter angepasst. Die Legehennen hatten die freie Wahl zwischen den Larven und dem Basisfutter.
4. Als die zur Verfügung stehende Larvenmenge durch Zukauf gesichert war, sollte eine Erhöhung der Larvenmenge stattfinden. Dazu wurden in Stall 1 in LW 59 bis zu zehn kg Larven zugefüttert. Da die Akzeptanz der Legehennen fiel und sich die Zeit, die zum Aufpicken aller Larven benötigt wurde, stark verlängerte, reduzierte der Landwirt nach Absprache mit DIL e.V. und DIL Technologie GmbH die verfütterte Larvenmenge auf 6 kg.

Stall 1 und 3 wurden in der Phase der Steigerung der Larvenmenge bis auf die jeweilige Zielmenge mit gleichen Larvenmengen gefüttert.

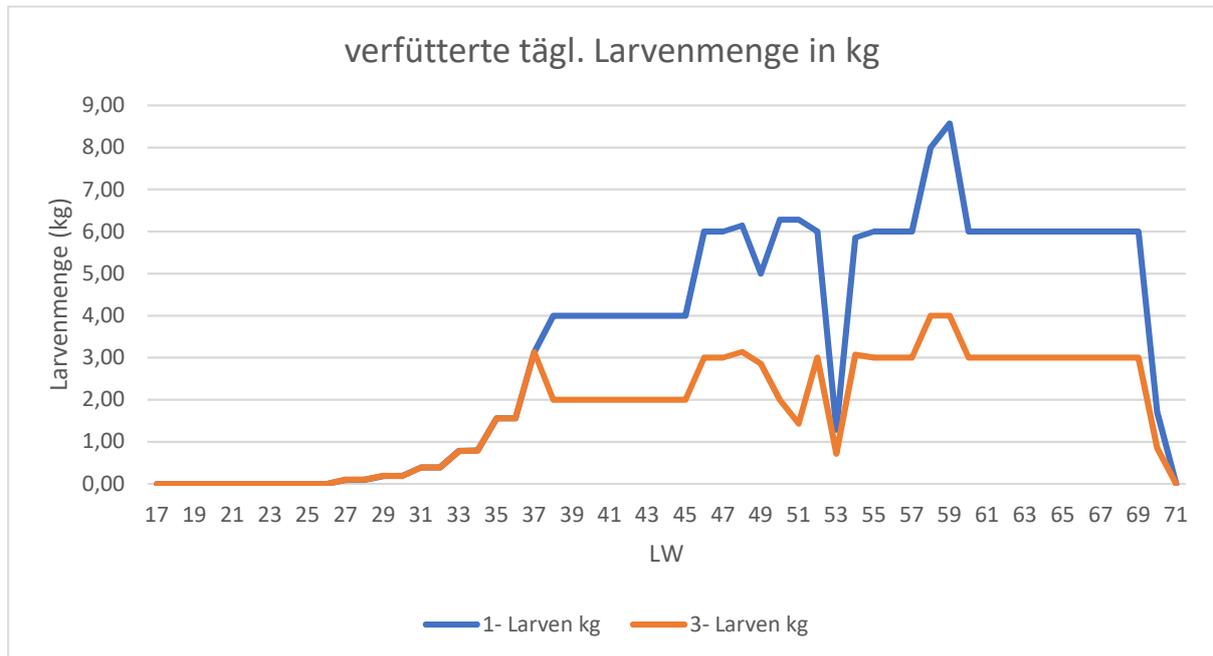


Abbildung 8 Darstellung der verfütterten Larvenmengen

Die Fütterung von Larven erfolgte dabei manuell und nur einmal am Tag. Mit einer Handschaufel wurden die Larven aus der Transportbox in die Futterkette gegeben. Dadurch konnte die Gefahr der Ausbreitung von Larven in die Umwelt vermindert werden.



Abbildung 9 Manuelle Larvenfütterung in den Mobilställen

Als Grund für das genannte Fütterungsregime (eine Fütterung am Morgen) kann der hohe Arbeitsaufwand angeführt werden. Würde man die Häufigkeit erhöhen, müssten nicht nur die Fütterungen häufiger erfolgen, sondern auch die Beschaffung der Larven sowie die Dokumentation. Die Erhöhung der Fütterungshäufigkeit soll in Phase drei des Projektes erprobt werden. In dieser Phase wird ein Fütterungsautomat verwendet werden.

Kritisch zu sehen ist die ungenaue Verteilung der Larvenmenge in der Futterkette, wenn manuell gefüttert wird. Das liegt zum einen daran, dass die Dosierung nur nach Augenmaß erfolgte, zum

anderen wurde die Restlaufzeit der Futterkette abgeschätzt. Zum Ende der Futterkettenlaufzeit waren entweder Larven in der Transportbox, oder diese war vorzeitig leer. Im ersten Fall wurden die restlichen Larven in der Futterkette verteilt, im zweiten Fall waren Teile der Futterkette ohne Larven. Die Legehennen konzentrierten sich dann auf die Stellen, an denen Larven zu finden waren. Dadurch kam es aus Sicht des Landwirtes zu unnötigem Stress bei den Hennen. Die automatische Fütterung sollte die Larven präziser über die gesamte Länge der Futterkette präzise verteilen können.

4.2 Dokumentation während des Versuchsdurchganges

4.2.1 Legeleistung

Bevor die Versuchsgruppen untereinander verglichen werden, sollte die Legeleistung der Tiere mit den Leistungsdaten des Zuchtbetriebes verglichen werden. So wird ersichtlich, dass die Legeleistung aller Versuchsgruppen unbefriedigend ist. Der Landwirt vermutet, dass die Mobilställe dazu beitragen, dass die Legeleistung auf niedrigem Niveau blieb. Genannt wurde hier die unbekannte Umgebung für die Legehennen, die autarke Energieversorgung durch Solaranlagen und damit verbundene Restriktionen bei Fütterungshäufigkeit oder Beleuchtung, sowie die geringe Temperatur in den Ställen in den Wintermonaten.

Die Literatur bestätigt diese Vermutung nicht. Einer Auswertung der LfL Bayern zufolge haben in den ausgewerteten Betrieben die konventionellen Legehennen in Mobilstallhaltung 299 Eier je Anfangshenne in einem vergleichbaren Zeitraum gelegt (LfL Bayern, 2012). Ein Datenblatt des Züchters gibt die Soll-Legeleistung in Stk. mit 307 Eiern im gleichen Zeitraum an (Novogen, 2016). Für den zweiten Legehennendurchgang werden Maßnahmen eingeleitet, um das Stressniveau der Tiere zu senken. Ziel ist die Erhöhung der allgemeinen Legeleistung.

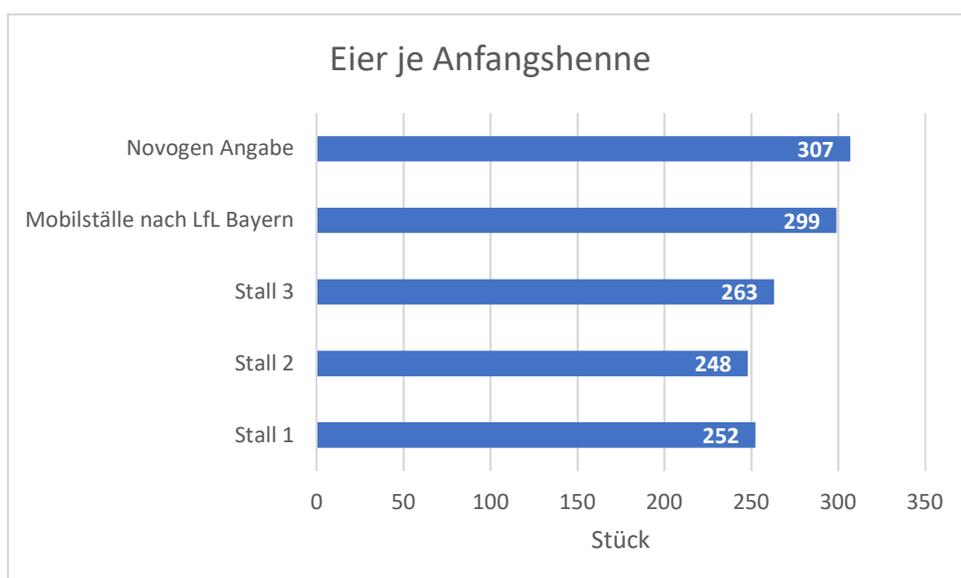


Abbildung 10 Legeleistungen Vergleich mit der Literatur (eigene Darstellung)

Bei der Betrachtung der Eier je Anfangshenne in Abbildung 11 fällt auf, dass Stall 3 vergleichsweise bessere Legeleistungen aufweist als die anderen Ställe, wobei in Stall 1 4 Eier mehr als Stall 2 gelegt wurden. Ein Vergleich der der Legeleistung in % im Verlauf der Produktionswochen wird in Abbildung 11 dargestellt. Zu sehen sind sehr ungleichmäßige Verlaufskurven. Gewünscht ist ein steiler Anstieg der Legeleistung zu Beginn des Legezeitraumes bis zu einem Maximum, auf das ein langsamer Abstieg bis zum Ende des Legezeitraumes folgt. Besonders in Stall 1 ist ab LW 25 ein sehr später und langsam ansteigender Verlauf der Legeleistung zu erkennen. Ab LW 46 haben sich der Verlauf der Legekurve normalisiert, die starken Ausschläge bleiben aus. Stall 1 kann ab diesem Zeitpunkt seine Legeleistung länger auf einem höheren Niveau halten.

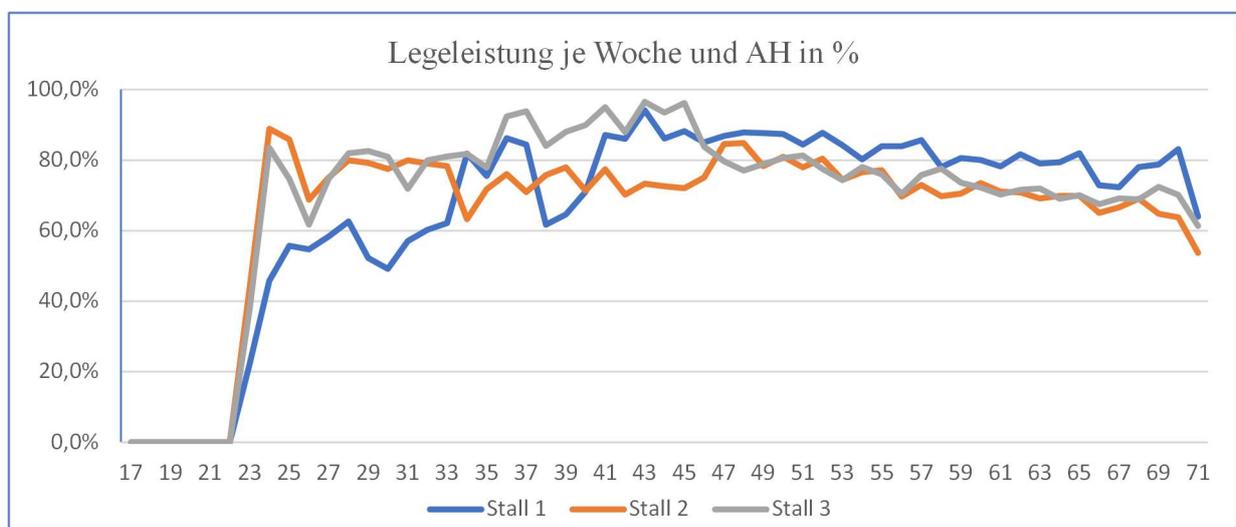


Abbildung 11 Vergleich der Legeleistungen über den Versuchszeitraum

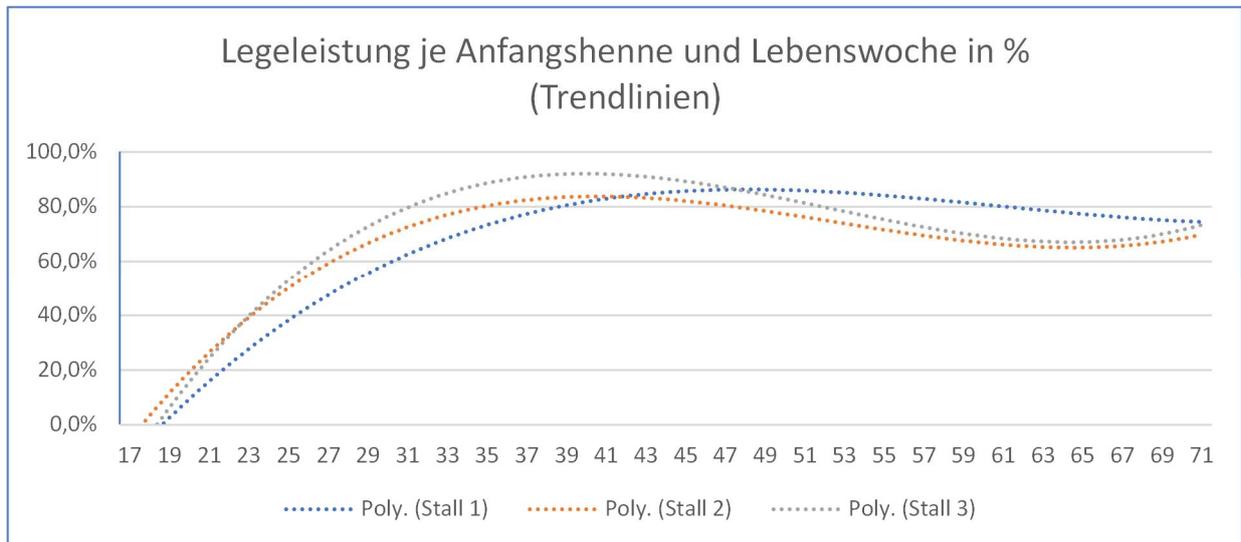


Abbildung 12 Vergleich der Legeleistungen über den Versuchszeitraum, als Trendlinien dargestellt.

Abbildung 13 stellt die verfütterte Larvenmenge der Legeleistung aus Stall 3 gegenüber. Auffällig ist hier, dass während der schnellen Steigerung der Larvenmenge in LW 36 bis LW 39 die Legeleistung stark abfällt (von 84,4% auf 61,7%). Es wird vermutet, dass der schnelle Anstieg der Larvenmenge von 1,5kg auf 4kg einen negativen Einfluss auf die Legeleistung hatte. Die Legehennen haben sich von diesem Anstieg erholt. Anders in Stall 3. Die Hennen haben die Erhöhung in LW 36 bis 39 gut verkräftet.

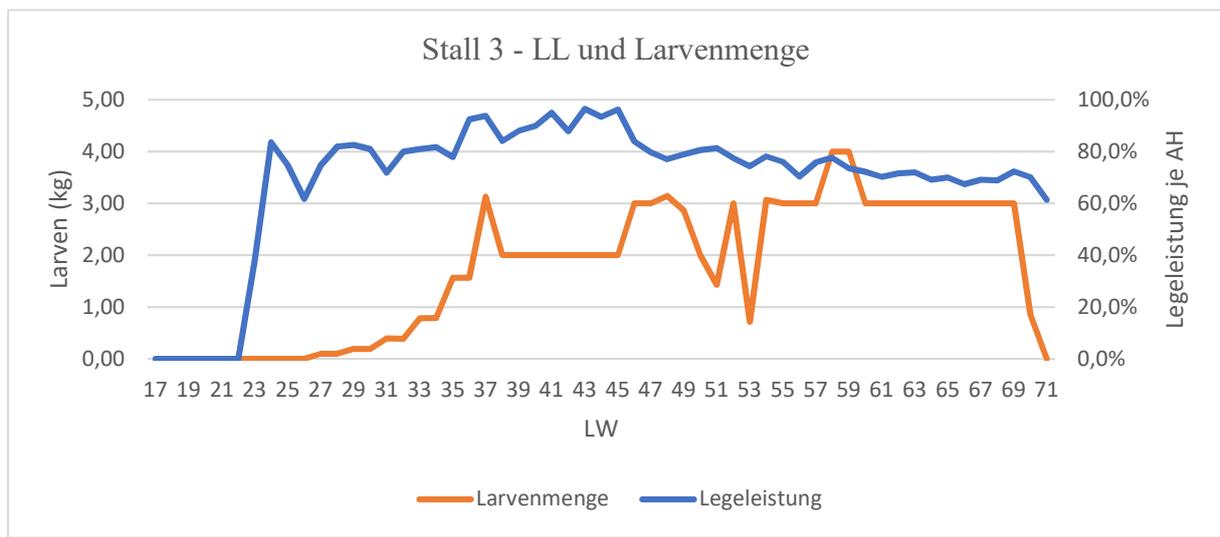


Abbildung 14 Stall 3 - Vergleich von Legeleistung und Larvenfütterung über den Versuchszeitraum

4.2.2 Tierbonitur

Zur Kontrolle der Tiergesundheit wird empfohlen, in regelmäßigen Abständen Tieren zu bonitieren. Sollten gesundheitliche Probleme, Kannibalismus usw. auftauchen, wird dies schneller erkannt. Für das Projekt wird eine monatliche Tierbonitur durchgeführt. Bei dieser werden jeweils 25 Tiere nach

dem Muster des MUD Tierschutz, MTool bonitiert. Einschränkend sei erwähnt, dass laut MTool mindestens 50 Tiere bonitiert werden sollten. Dies würde in den Mobilställen eine monatliche Bonitierung von 16% des Bestandes bedeuten. Über einen langen Zeitraum sollten auch mit 25 Tieren Unterschiede erkennbar werden, so sie bestehen.

Die Tiere wurden in den Ställen bonitiert, die Daten wurden dabei in eine Stallkarte eingetragen, wie sie in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu sehen ist. Dabei werden Noten von 0 (sehr gut) über 1 (mittel) bis 2 (schlecht) eingetragen. Je weniger Punkte ein Tier in der Zusammenfassung erhält, desto besser die Bonitierung. Am Computer wurden später die einzelnen Ergebnisse in eine Excel Datei eingetragen, die von MTool zur Verfügung gestellt wird. Die Auswertungen hiervon sind in zu finden. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Ergebnisse der einzelnen Bonituren in einer eigenen Excel Datei zusammengetragen und es wurde ein „Vitalitätsindex“ verliehen, der zwischen 0 und 100 liegen kann. Die Berechnung zur Ermittlung dieses Indexes ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** abgebildet.

Bei der ersten Tierbonitur sind die Werte insgesamt niedriger als bei der zweiten Bonitur. Das liegt daran, dass bei der ersten Bonitur keine Legetätigkeit festgestellt werden konnte, was den Wert stark sinken ließ, obwohl die restlichen Faktoren, wie Gefiederzustand oder Kammfarbe besser waren als bei der zweiten Bonitur. Abbildung 16 und Abbildung 15 fassen die Ergebnisse der Bonituren zusammen.

Zwischen den Ställen zeigen sich deutliche Unterschiede. Stall 1 und 3 können bei den Bonituren insgesamt höhere Werte erzielen. Zu Beginn der Legeperiode sind die Unterschiede zwischen allen drei Ställen nicht sonderlich groß, der Abstand von Stall 2 zu den anderen Ställen vergrößert sich jedoch im zeitlichen Verlauf. Ab Mai fällt Stall 2 dann stark zurück. Die Larvenfütterung, die ab LW 33 in den Ställen 1 und 3 startete, könnte dazu geführt haben, dass sich die Tiere weniger gegenseitig bepicken und verletzen, sondern stattdessen ausreichend Beschäftigung und evtl. auch benötigte Inhaltsstoffe zur Verfügung haben, sodass Verletzungen und der damit verbundene Stress minimiert werden konnten.

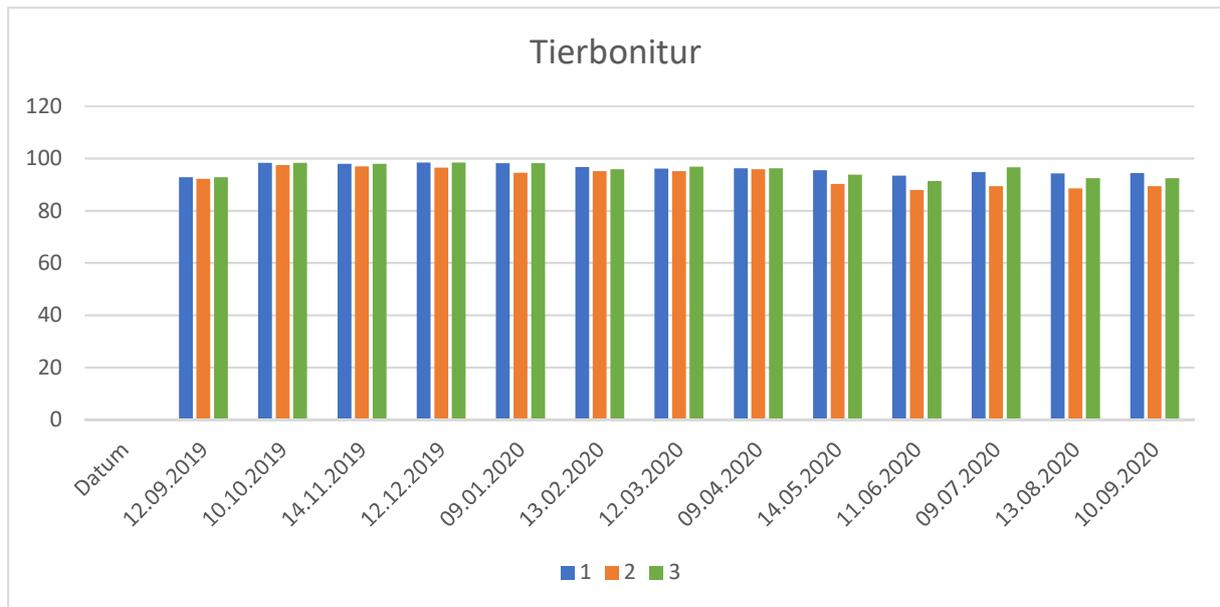


Abbildung 16 Grafische Darstellung der Tierbonitur aller Ställe im Verlauf der Projektphase

Datum	Stall 1	Stall 2	Stall 3
12.09.2019	92,8	92,2	92,8
10.10.2019	98,3	97,4	98,3
14.11.2019	97,9	97,0	97,9
12.12.2019	98,4	96,5	98,4
09.01.2020	98,2	94,6	98,2
13.02.2020	96,7	95,1	95,9
12.03.2020	96,1	95,1	96,9
09.04.2020	96,2	95,9	96,2
14.05.2020	95,5	90,3	93,8
11.06.2020	93,4	87,9	91,3
09.07.2020	94,8	89,4	96,6
13.08.2020	94,3	88,6	92,5
10.09.2020	94,4	89,4	92,4
Mittelwert:	95,9	93,0	95,5

Abbildung 15 Tabellarische Darstellung der Tierbonitur aller Ställe im Verlauf der Projektphase

4.2.3 Tiergewichtsanalyse

Zusammen mit der Federkleidbonitur wurden auch die Gewichte von 25 zufällig ausgewählten Legehennen pro Stall durchgeführt. Dabei orientierte sich der Landwirt an der Wiegemethode und Auswertungen aus der Managementhilfe für Legehennenaufzucht und -haltung (Keppler, Fetscher, Hilmes, & Knierim, 2017, S. 32ff).



Abbildung 17 Beispielbild der Wiegemethode

Die Autoren schlagen vor, für eine verlässliche Tiergewichtsmessung mindestens 50, besser 100 Tiere zu wiegen. Wir haben uns dazu entschlossen, aufgrund des kleinen Tierbestandes diesen Wert zu unterschreiten. Die Tiere wurden für die Wiegung mit einer speziellen, gummierten Zange fixiert und an den Flügeln hängend mit einer digitalen Waage gewogen. Die Werte wurden auf einen Zettel notiert und nach der Wiegung in ein Auswertungsprogramm eingegeben. Zur Auswertung wurde das Programm „MTool Gewichte Tool“ verwendet. Die Datenblätter der einzelnen Ställe sind angehängt. Anzumerken ist, dass durch einen Eingabefehler das Wiegeergebnis vom 10.09.2020 verfälscht wurde. Anstatt „1840g“ wurde der Wert „180g“ eingegeben. Die Eingabe wurde versehentlich abgespeichert und ließ sich nicht mehr nachträglich ändern. Daher sollte der letzte Datenpunkt aus Stall 2 nicht weiter beachtet werden. Nachfolgend wird auf die Analysen zum Mittelwert, der Sollgewichtserfüllung, dem Anteil untergewichtiger Tiere und der Uniformität der Herde eingegangen, wie von Keppler und Fetscher vorgesehen (Keppler, Fetscher, Hilmes, & Knierim, 2017, S. 32)

Die Bewertung der Tiergewichtsanalysen lässt darauf schließen, dass die Tiere aus Stall 1 und 3 insgesamt schwerer sind als die Tiere in Stall 2. Stall 1 und 3 liegen dabei leicht über dem Sollgewicht, was positiv zu bewerten ist. Dabei ist ihr Gewichtsverlauf konstanter als der von Stall 2. Die Uniformität von Stall 1 und 3 ist ebenfalls der aus Stall 2 überlegen, gerade bis zur Mitte der Legeperiode. Eine Erklärungsansatz kann sein, dass das erhöhte Futterangebot bei der Larvenfütterung dazu führt, dass auch rangniedrigere Tiere Futter aufnehmen können. Schwerere (dominante) Tiere hätten dadurch nicht das Bedürfnis, andere Tiere von „ihrem“ Futter zu vertreiben, da insgesamt viel vorhanden ist. Da die Larvenfütterung in dieser Phase jedoch nur ein Mal pro Tag erfolgte, steht den Hennen bei den drei weiteren Fütterungen (nur Basisfutter) nur die normale Futtermenge zur Verfügung. Spätestens zu diesen Fütterungen müsste es dann auch in Stall 1 und 2 mehr Stress und damit Kannibalismus und Federpicken geben, was in 1.4.3 jedoch widerlegt wurde.

Mittelwerte

Die Mittelwerte der Tiergewichte wurden gebildet, indem das Gesamtgewicht aller Tiere eines Stalles und Wiegetages durch die Anzahl der gewogenen Tiere geteilt wurde. Abbildung 18 veranschaulicht die Tiergewichtsentwicklungen. Das Sollgewicht bildet dabei die gewünschte Gewichtsentwicklung der Rasse „Novogen Brown“ ab. Die Gewichte steigen bei Legehennen zu Beginn stärker an, da sich die Tiere vom Jungtier zur adulten Henne entwickeln. Das Gewicht der adulten Henne soll langsam und kontinuierlich bis zur Ausstellung ansteigen.

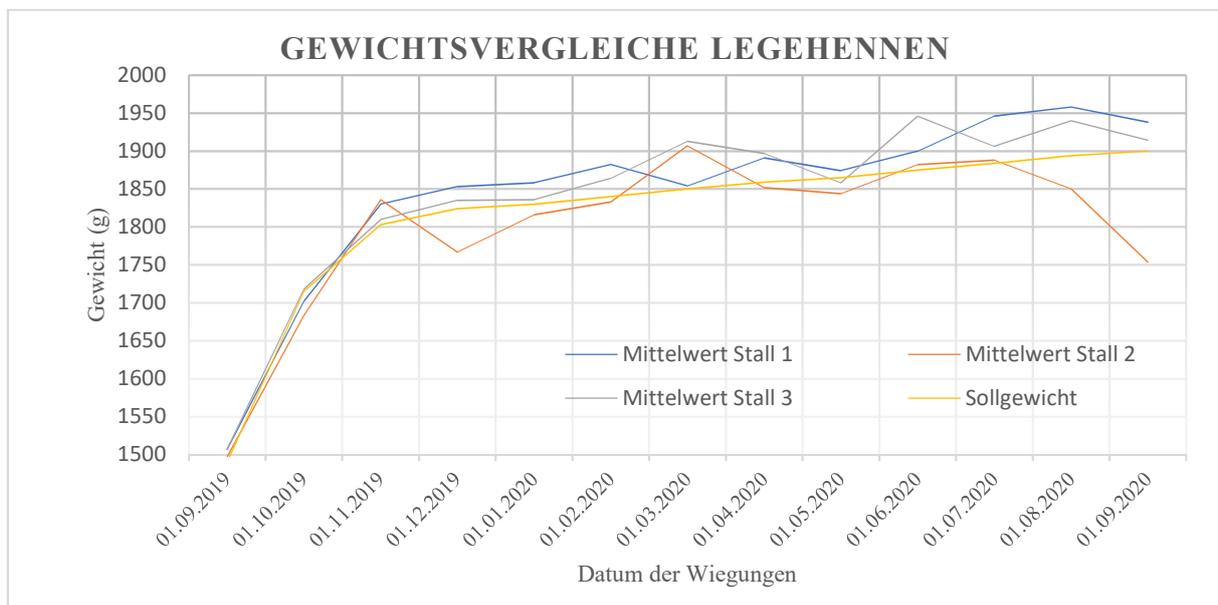


Abbildung 18 Vergleich der mittleren Gewichte im Verlauf der Projektphase

Die Tiere aus Mobilstall 1 und 3 liegen dauerhaft leicht oberhalb der Sollgewichtskurve. Ihre Gewichtsentwicklung ist dabei kontinuierlicher als die von Stall 2. Hier wurde bei der Wiegung im Dezember ein starker Gewichtsverlust verzeichnet. Der Gewichtsverlust wurde in LW 31 festgestellt, zwei Wochen später sank die Legeleistung stark ab (Abbildung 11). Ein Unterschied in der Tiergewichtsentwicklung zwischen Stall 1 und 3 lässt sich nicht feststellen.

Sollgewichtserfüllung

„Das Sollgewicht ist das Gewicht, das in der Managementanleitung des Zuchtunternehmens für die jeweilige Lebenswoche angegeben wird. Der Mittelwert sollte mindestens dem Sollgewicht entsprechen oder höchstens knapp darunter liegen. Wird der von den Zuchtfirmen angegebene Wert = 100% gesetzt, kann man die Sollgewichtserfüllung berechnen. Diese sollte mindestens bei

100%, besser darüber liegen. Liegt er unter 95%, ist dringender Handlungsbedarf gegeben.“

(Keppler, Fetscher, Hilmes, & Knierim, 2017, S. 32)

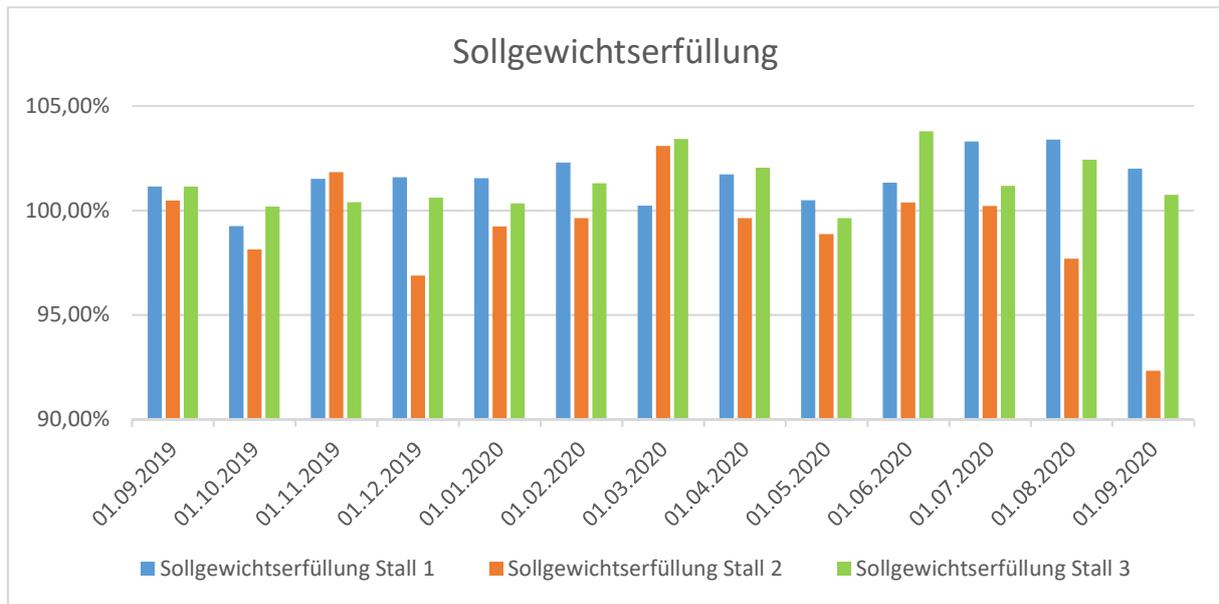


Abbildung 19 Sollgewichtserfüllung im Verlauf der Projektphase

Das Sollgewicht schwankt analog zum mittleren Tiergewicht, am stärksten bei Stall 2. Stall 1 liegt nie unter dem Sollgewicht, Stall 3 unterschreitet diesen nur einmal bei der Wiegung im Mai 2020, wenn auch nur geringfügig. Stall 2 unterschreitet diesen Wert regelmäßig.

Untergewichtige Tiere

Als untergewichtige Tiere werden diejenigen bezeichnet, die mehr als 10% leichter sind als das angegebene Sollgewicht. Bei untergewichtigen Hennen wird davon ausgegangen, dass diese von ihrer Körpersubstanz zehren, um Eier zu legen (Keppler, Fetscher, Hilmes, & Knierim, 2017).

Das Diagramm erfasst die Anzahl untergewichtiger Tiere je Wiegedatum. In Stall 2 sind am meisten Tiere von Untergewicht betroffen. Bildet man Mittelwerte aus den Häufigkeiten je Stall über den gesamten Beobachtungszeitraum (13 Wiegungen), sind in Stall 1 0,9% von Untergewicht betroffen, in Stall 2 6,5% und in Stall 3 1,8%.

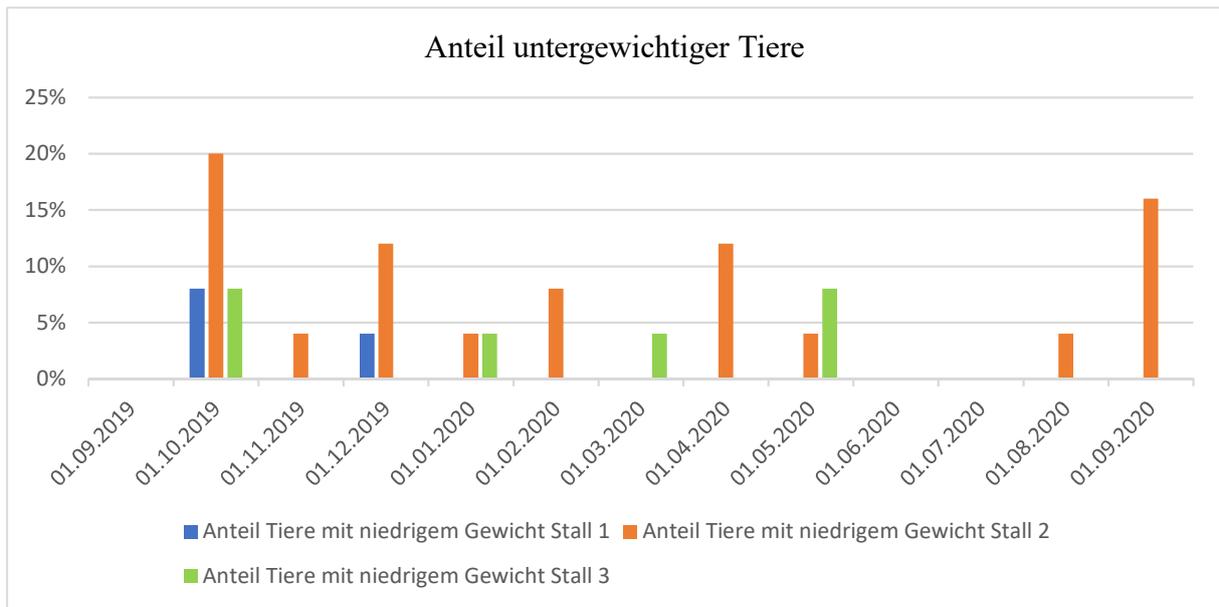


Abbildung 20 Anteil untergewichtiger Tiere (eigene Darstellung)

Uniformität

Uniformität beschreibt die Ausgeglichenheit der Herde, sowohl im Bezug auf äußere Merkmale (Gefieder, Kamm), als auch auf das Gewicht der Einzeltiere. Je ähnlicher sich die Tiere sind, desto mehr Stress entsteht im Stall durch das Verdrängen der leichteren (schwächeren) Tiere. Daher rät die Fachgruppe Legehennen des niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz dazu, sehr leichte Tiere aus dem Bestand zu nehmen, um Stress zu vermeiden. (Facharbeitsgruppe Legehennen des Tierschutzplans Niedersachsen, 2017, S. 19)

Die gewichtsmäßige Uniformität, die hier näher betrachtet wird, ist der Anteil der Legehennen an der Gesamtherde, der sich maximal +/- 10% um den Mittelwert der Stichprobe liegt. Es wird eine Uniformität von mindestens 80% angestrebt. (Keppler, Fetscher, Hilmes, & Knierim, 2017, S. 33)

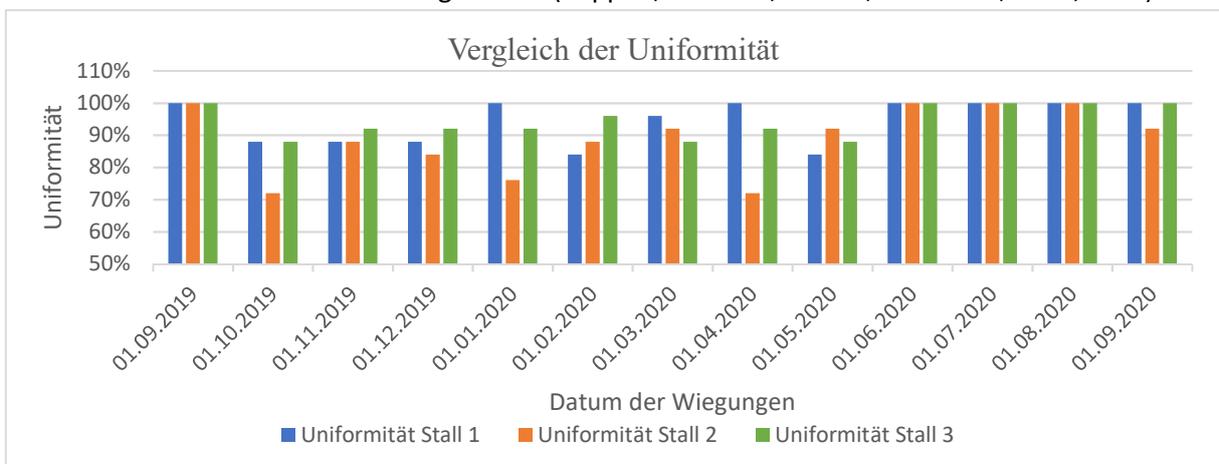


Abbildung 21 Vergleich der Uniformität (eigene Darstellung)

Bei der ersten Tierwiegung am 12.09.19 lag die Uniformität in allen Ställen bei 100%. Das spricht für eine gute Junghennenaufzucht. Dort wurde dafür gesorgt, dass sich alle Tiere gleichmäßig entwickeln, was für einen guten Start in die Legephase sorgen soll. In den darauffolgenden Monaten nimmt die Uniformität jedoch ab. Analog zur schwankenden Gewichtsentwicklung, ist auch die Uniformität in Stall 2 schlechter zu bewerten als in den anderen Ställen. Als Grund für die schlechte Uniformität kann das Mobilstallsystem angeführt werden. Es unterscheidet sich stark von den herkömmlichen Volierensystemen, für die die Junghennen aufgezogen wurden. Für die Tiere ist es stressig, sich an die neuen Begebenheiten anzupassen und zu lernen, wo es Futter und Wasser gibt, wo die Eier gelegt werden sollen etc. Sollte die Eingewöhnung einen negativen Effekt auf die Uniformität haben, so konnte er in den Ställen 1 und 3 scheinbar durch die Fütterung von Larven kompensiert werden.

4.2.4 Verluste

Im Verlauf der Legeperiode wurden die Verluste in Stallkarten vermerkt. Dabei wurde notiert, wann die Tiere in welchem Mobilstall verstorben sind, ob sie gemerzt wurden, und ob der Grund für den Verlust ein Beutegreifer war. Die prozentualen Verluste sind für die Freilandhaltung in Ordnung. Die LfL Bayern ermittelte in einer Erhebung bei ökologisch wirtschaftenden Legehennenbetrieben, die ebenfalls täglichen Auslauf ermöglichen, eine durchschnittliche Mortalität von 9,7% (LfL Bayern, 2012, S. 40).

Stall	1	2	3
Verluste gesamt	13	29	15
Mortalität gesamt	4,3%	9,7%	5,0%

Abbildung 22 Übersicht der Gesamtverluste (absolut und 5)

Hat die Fütterung von Larven einen negativen Einfluss auf die Tierverluste? In den Mobilställen, die mit Larven gefüttert wurden, war die Mortalität etwa halb so hoch wie in Stall 2, in dem die Mortalität 9,7% beträgt (Abbildung 22). Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Larven einen positiven Effekt auf die Tierverluste haben.

Vergleicht man die Tierverluste im Verlauf der Lebenswochen mit der Larvenfütterung, lässt sich keine direkte Verbindung von Larvenfütterung und Verlusten erkennen (Abbildung 23). Gerade bei Änderungen der Larvenmengen könnte dies der Fall sein, da ein Futterwechsel Stress für die Tiere bedeutet. Dies legt auch ein Bericht der Landwirtschaftskammer Niedersachsen nahe (Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2016).

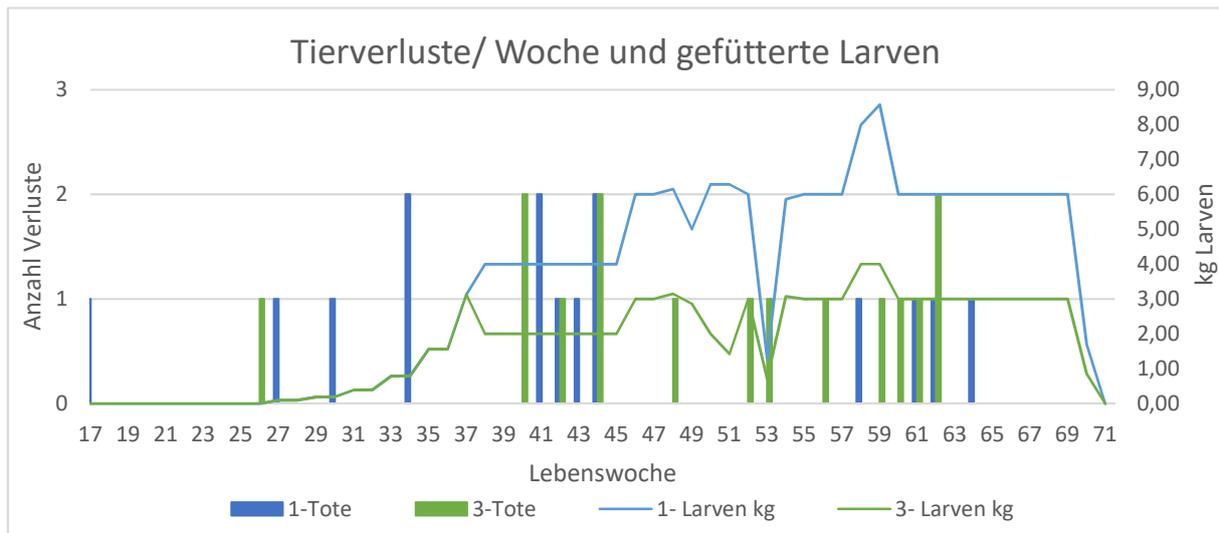


Abbildung 23 Gegenüberstellung der Tierverluste und der gefütterten Larvenmenge

Herauszuheben ist bei den Verlusten der hohe Anteil der Verluste, die auf Beutegreifer zurückzuführen sind. Während der Legeperiode wurden häufig Kadaver gefunden, die auf dem Rücken verkratzt und bis auf den Muskelmagen ausgenommen waren. Federn, die um den Fundort zu finden waren, lassen auf eine Auseinandersetzung schließen. Daher wurden alle Legehennen, die so im Auslauf gefunden wurden, als Beuteverluste gewertet.

Stall	1	2	3
Beuteverluste	5	12	5
Anteil Beuteverlust am Gesamtverlust	38%	41%	33%

Abbildung 24 Gegenüberstellung der Beuteverluste (absolut) und deren Anteil an den Gesamtverlusten der Ställe (prozentual)

Auffällig ist, dass die Beutegreifer mehr Tiere in Stall 2 gegriffen haben als in den beiden anderen Ställen zusammen (Abbildung 24). Über die Gründe können keine definitiven Aussagen getroffen werden. Anzumerken ist, dass Stall 1 am nächsten zu einer Straße liegt. Die Beutegreifer könnten sich hier am ehesten vom vorbeifahrenden Verkehr gestört fühlen. Stall 3 jedoch, von welchem ebenfalls weniger Tiere getötet wurden, ist am weitesten von dieser Straße entfernt.

4.2.5 Futtermittelverbrauch

Der Futtermittelverbrauch der Tiere wird in g je Tier und Tag angegeben. Er kann neben der Legeleistung und dem Wasserverbrauch als ein wichtiger Faktor für die Tiergesundheit angesehen werden. In festen Ställen wird der Futtermittelverbrauch durch eine elektrische Waage ermittelt. Da diese Möglichkeit

in den Mobilställen nicht besteht, wurde der wöchentliche Futterverbrauch bei der wöchentlichen Futterlieferung ermittelt. Der Verbrauch wird über das Volumen ermittelt. Dazu wurde zu Beginn die Dichte des Futters ermittelt. Bevor das neue Futter eingefüllt wird, wird das restliche Futter im Silo glattgestrichen, das Volumen ermittelt und daraus der Futterverbrauch ermittelt. Diese Methode ist nicht so genau wie die elektrische, tägliche Wiegung. Daher war eine tägliche Wiegung nicht möglich. In Abbildung 25 ist der Futterverbrauch dargestellt. Die schwankenden Werte bestätigen die ungenaue Ermittlung des Futterverbrauches. Lediglich in Stall 3 verläuft die Futteraufnahme sehr konstant zum Ende der Legeperiode. Für diese Konstanz gibt es aus Sicht des Landwirts keine schlüssige Erklärung.

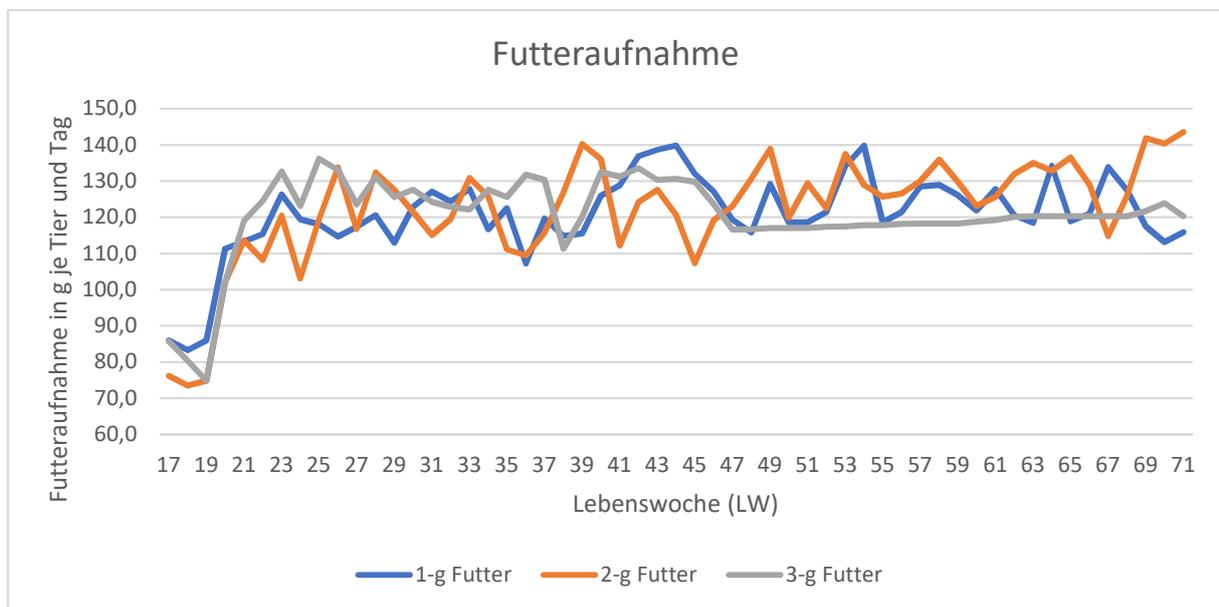


Abbildung 25 Vergleich der Futteraufnahme im Verlauf der Projektphase

5 Öffentlichkeitsarbeit

Die Publikation von Ergebnissen und die Öffentlichkeitsarbeit stellen eine wichtige Aufgabe im Rahmen von EIP Projekten dar da sie auch das Ziel haben, neue und innovative Prozesse und Produkte in die Wirtschaftswelt zu integrieren und um anderen Gruppen an Erkenntnisgewinnen teilhaben lassen zu können.

Während der Projektphase haben zahlreiche Gruppen und Einzelpersonen die Larvenproduktion und die Mobilställe besucht. Die Gründe hierfür waren unterschiedlich. Häufig ging es um den Informationsaustausch zwischen den OG Mitgliedern und Multiplikatoren aus Politik und NROs. Da über frühere Austausche bereits berichtet wurde, seien hier exemplarisch einige Aktivitäten im Rahmen der Öffentlichkeit angeführt.



Am 19.08.2020 besuchte Frau Düpont MdEP die Larvenproduktion und die Mobilställe um sich über das Projekt zu informieren. Dabei erhielten wir einen Eindruck von der europäischen Landwirtschaftspolitik und Möglichkeiten, unser Netzwerk rund um die Nutzung von Insekten als Proteinquelle zu stärken. Auch wenn nur Veranstaltungen stattfinden konnten sind wir der Meinung, die Ziele und bisherigen Ergebnisse gut

an politische MultiplikatorInnen weitergeben zu können. Oft ist ein Besuch vor Ort die beste Möglichkeit, um Ideen und Projekte weiterzuentwickeln und vom Projekt zu berichten.

6 Schlussfolgerungen

Die Analysen der Larven haben gezeigt, dass sie reich an Proteinen und Fetten sind. Aus diesem Grund können Larven für den Einsatz als Protein- und Energieträger in Futtermitteln geeignet sein. Dabei ist darauf zu achten, dass die Larven zum richtigen Zeitpunkt verfüttert werden. Schwarze

Larven, die kurz vor der Verpuppung stehen, starten bereits mit der Verstoffwechslung von Energie und Eiweiß, sie sind weniger gut für die Larvenfütterung geeignet.

Die LCA hat darüber hinaus sehr negative Umweltauswirkungen aufgedeckt, die vor allem durch den hohen Energieverbrauch, der Verwendung von prozessierten Futtermitteln und der geringen Auslastung in den Produktionsräumen resultiert. Hier steckt noch ein großes Verbesserungspotenzial. Für die Larvenproduktion sollten erneuerbare Energien gefunden und verwendet werden. Durch ihre konstante Wärme- und Energieproduktion wäre ein Anschluss an Biogasanlagen denkbar. Außerdem könnte die Verwendung von organischen Reststoffen wie Gärresten, separierter Gülle oder Hühnertrockenkot zu einer Verbesserung der Umweltbilanz führen, bei gleichzeitiger Verwertung von Energie, die ansonsten aufwendig in andere Regionen verbracht werden müsste.

Die Larven werden von den Hennen sehr gut aufgenommen. Die Tierbonituren belegen, dass die Hennen, die mit Larven gefüttert wurden, ein besseres Federkleid und weniger Verletzungen vorweisen. Dabei stößt die Larvenmenge jedoch an Grenzen und kann nicht unendlich ausgedehnt werden. Eine Verbesserungsmöglichkeit besteht in der Verwendung von Futtermitteln, die in ihrer Zusammensetzung an die hohen Eiweiß- und Fettgehalte der Larven angepasst sind. Erste Ergebnisse zeigen zudem, dass sich die Arbeitszeit in den Mobilställen durch die Larvenfütterung erhöht, die Automatisierung könnte hier Abhilfe schaffen. Teil der Auswertung von Phase 3 wird eine Wirtschaftlichkeitsberechnung beinhalten.

6.1 Literaturverzeichnis

Ewald, N., Vidakovic, A., Langeland, M., Kiessling, A., Sampels, S., & Lalander, C. (2020). Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*)—Possibilities and limitations for modification through diet. *Waste Management*, 102, 40-47.

Gao, Z., Wang, W., Lu, X., Zhu, F., Liu, W., Wang, X., & Lei, C. (2019). Bioconversion performance and life table of black soldier fly (*Hermetia illucens*) on fermented maize straw. *Journal of cleaner production*, 230, 974-980.

Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology*, 197, 1-33.

Ramos-Bueno, R. P., González-Fernández, M. J., Sánchez-Muros-Lozano, M. J., García-Barroso, F., & Guil-Guerrero, J. L. (2016). Fatty acid profiles and cholesterol content of seven insect species assessed by several extraction systems. *European Food Research and Technology*, 242(9), 1471-1477.

Ruhnke, I., Normant, C., Campbell, D. L., Iqbal, Z., Lee, C., Hinch, G. N., & Roberts, J. (2018). Impact of on-range choice feeding with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) on flock performance, egg quality, and range use of free-range laying hens. *Animal nutrition*, 4(4), 452-460.

Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Obyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., ... & De Smet, S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2594-2600.

Spranghers, T., Michiels, J., Vrancx, J., Obyn, A., Eeckhout, M., De Clercq, P., & De Smet, S. (2018). Gut antimicrobial effects and nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae for weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*, 235, 33-42.

Tirtawijaya, G., & Choi, J. S. (2022). Enrichment of polyunsaturated fatty acids in black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) fortified with squid liver oil. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(4), 387-398.