

Abschlussbericht EIP-Projekt Larvenzucht

DaFNE-Projekt 101373 Insektenlarven

Konservierbarkeit von Larven der Soldatenfliege (*Hermetia illucens* L.) durch
Vergärung und deren Potential in der Broilermast



Abschlussbericht EIP-Projekt Larvenzucht

DaFNE-Projekt 101373 Insektenlarven

Konservierbarkeit von Larven der Soldatenfliege (*Hermetia illucens* L.) durch
Vergärung und deren Potential in der Broilermast

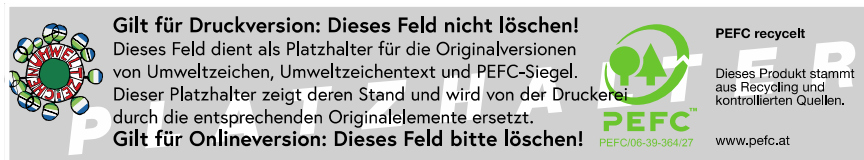
Irdning-Donnersbachtal, 2020

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:
HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft
Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal
raumberg-gumpenstein.at

Autorinnen und Autoren - Arbeitspaket 34.2.2 Larvenkonservierung:
Ing. Reinhard Resch und MSc. Kristina Kube
Autorinnen und Autoren - Arbeitspaket 34.2.3 Broilermast und Emissionsmessung
Michael Kropsch und Ing. Eduard Zentner

Gesamtumsetzung: Ing. Reinhard Resch
Fotonachweis: Ing. Reinhard Resch, Michael Kropsch



Irdning-Donnersbachtal, 2020. Stand: 14. Dezember 2020

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundeskanzleramtes und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtssprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an reinhard.resch@raumberg-gumpenstein.at.

Inhalt

Einleitung.....	6
Material und Methoden	8
Arbeitspaket 34.2.2 Larvenkonservierung	8
Versuchskonzeption.....	8
SSF-Larven für Silierversuche	10
Behandlungen und Additive	10
Ansatz der Silierversuche	12
Lagerung der silierten Varianten	15
Probeziehung.....	15
Laboranalysen.....	15
Organoleptische und sonstige Untersuchungen	17
Statistische Datenauswertung	18
Arbeitspaket 34.2.3 Broilermast und Emissionsmessung	18
Versuchsstallungen	19
Versuchstiere	20
Lüftung	20
Lichtprogramm	20
Fütterungsmanagement	20
Messtechnik.....	21
Eckdaten der Versuchsdurchgänge	22
Ergebnisse und Diskussion.....	24
Arbeitspaket 34.2.2 Larvenkonservierung	24
Gärparameter.....	24
TM-Gehalt.....	24
Gärsaftanfall	26
Verderbgeruch	27
pH-Wert	29
Gärungsprodukte	32

Nährstoffgehalte.....	34
Aminosäuren.....	36
Biogene Amine.....	39
Mikrobiologie	40
Haltbarkeitstest – aerobe Stabilität.....	41
Arbeitspaket 34.2.3 Broilermast und Emissionsmessung	42
DGLa1 – Larve I	42
Temperatur und Luftfeuchte – DGLa1	42
Ammoniak – DGLa1	43
Olfaktometrie – DGLa1	44
DGLa2 – Larve II	46
Temperatur und Luftfeuchte – DGLa2	46
Ammoniak – DGLa2	47
Olfaktometrie – DGLa2	48
Leistungsdaten – DGLa2	48
DGLa3 – Larve III	49
Temperatur und Luftfeuchte – DGLa3	49
Ammoniak – DGLa3	50
Leistungsdaten – DGLa3	51
Auswertung der Versuche DGLa1 bis DGLa3 – Larve I bis III	52
Temperatur und Luftfeuchte.....	52
Ammoniak	53
Olfaktometrie	54
Leistungsdaten	54
Diskussion der Ergebnisse aus Broilermast und Emissionsmessung	55
Zusammenfassung.....	57
Arbeitspaket 34.2.2 Larvenkonservierung	57
Arbeitspaket 34.2.3 Broilermast und Emissionsmessung	58
Summary.....	58

Work package 34.2.2 Larvae conservation	58
Work package 34.2.3 Broiler fattening and emission measurement.....	59
Tabellenverzeichnis.....	61
Abbildungsverzeichnis	64
Literatur	66
Arbeitspaket 34.2.3 Broilermast und Emissionsmessung	67
Abkürzungen.....	69
Anhang	70
A1 Emissionsmessungen Fa. Ecofly.....	70
A1.1 Emissionsmessung Ammoniak.....	70
A2 CO ₂ -Emissionen Mastgeflügel.....	74
A3 Futtermittelanalysen Mastgeflügel	75
A4 Kotanalysen Mastgeflügel	77
A5 Bilddokumentation	78

Einleitung

Die Nachfrage nach Proteinquellen tierischen Ursprungs wird aufgrund der kombinierten Auswirkungen der wachsenden menschlichen Bevölkerung und des steigenden Lebensstandards in den Entwicklungsländern steigen (FAO 2009). Die Ressourcenknappheit hat in den letzten Jahren die Preise für tierische Rohstoffe erhöht, die 60-70% der Produktionskosten tierischer Produktionssysteme ausmachen und zu einem Wettbewerb zwischen menschlicher Nahrung und Tierfutter führen. Zum Beispiel ist die Verwendung von Zutaten wie Fischmehl, Fischöl, Sojaschrot und Getreide auf dem Vormarsch, sowohl in Nahrungs- als auch in Futtermitteln (Van Huis 2013). Insekten sind proteinreich (Bosch et al. 2014) und haben hohe Futtermittelumwandlungs-Effizienz und Wachstumsraten (Van Huis 2013), wodurch sie qualitativ hochwertige und potenziell profitable Futtermittel für Nutztiere darstellen (Veldkamp et al. 2012). Insekten produzieren nach Oonincx et al. (2016) weniger Treibhausgase, wodurch sie in ihren Umweltwirkungen besser abschneiden als Tiere.

Die Schwarze Soldatenfliege (SSF; *Hermetia illucens* L.; Diptera: Stratiomyidae) wurde auf ihre Fähigkeit hin untersucht, organische Abfälle in hochwertiges Protein umzuwandeln und als Futtermittel für eine Vielzahl von Tieren zu verwenden. Der Nährwert der SSF-Larven wird ebenso diskutiert wie die Wirkung biotischer und abiotischer Faktoren auf die Körperzusammensetzung und Leistung der Larven (Barragan-Fonseca et al. 2017). Nach Makkar et al. (2014) verfügen SSF-Larven über hohe Proteingehalte (von 37 bis 63% i.d.TM) und andere für die Tierernährung wichtige Makro- und Mikronährstoffe. Studien zur Aufnahme von SSF-Larven in Futtermitteln für Geflügel legen nahe, dass es herkömmliche Futtermittel nur teilweise ersetzen könnte, da ein hoher oder vollständiger Ersatz zu einer verminderten Leistung führt (Arango Gutiérrez 2005; Cullere et al. 2016). Dies ist auf Faktoren wie den hohen Fettgehalt (von 7 bis 39% TS), Asche (von 9 bis 28% TS) und die Folgen der Verarbeitung zurückzuführen. Daher sind weitere Studien zur Nährstoffzusammensetzung, Verdaulichkeit und Verfügbarkeit für die Zielarten sowie zu verbesserten Methoden zur Verarbeitung von Larven erforderlich.

Unter der Leitung des Umweltforschungsinstituts von Global 2000 fand in den Jahren 2018 bis 2021, im Rahmen des EIP-Projekts „Larvenzucht“ zur Futtermittelherstellung, eine intensive Auseinandersetzung mit dem Thema SSF-Larven als alternative Eiweißquelle im Austausch gegen Sojaprotein für die Nutztierhaltung, statt. Neben der Bioforschung Austria, der Fa. Ecofly, der Universität für Bodenkultur (TTE) und der Bundesanstalt für Wasserwirtschaft hat die HBLFA Raumberg-Gumpenstein zwei Arbeitspakete dieses Projektes überantwortet bekommen. Das Referat für Futterkonservierung und Futterbewertung widmete sich der Frage

der Larvenkonservierung (Arbeitspaket 34.2.2) und das Department für Tier, Technik & Umwelt setzte sich mit den emissionstechnischen- und biologischen Auswirkungen von Larvenprotein in der Geflügelmast auseinander (Arbeitspaket 34.2.3). Ergänzend erfolgte die Messung klimarelevanter Gase im Rahmen der SSF-Larvenproduktion bei der Fa. Ecofly (ebenfalls Projekt-Arbeitspaket 34.2.3). Das entsprechende DaFNE Projekt mit dem Akronym „Insektenlarven“ trägt die Nr. 101373/1.

Im Vorfeld eines angedachten Einsatzes von Insektenprotein in der österreichischen Praxis benötigt die tierische Produktion (Fisch, Geflügel, Schweine) gesicherte Erkenntnisse über die Auswirkungen der eingesetzten Komponenten. In den vorliegenden Versuchsreihen wurden Einflüsse der Konservierung von SSF-Larven (Silierung, Trocknung) auf qualitative Aspekte des Futtermittels und die Teilsubstitution von Sojaprotein durch Larvenmehl, auf die Mastleistung (tägliche Zunahme, Mastendgewicht, Futterverwertung), auf die Freisetzung von Schadgasen (Ammoniak und Kohlendioxid) sowie auf die Geruchsfreisetzung in der Geflügelmast untersucht. Die Ergebnisse der Messung von Ammoniak, Kohlendioxid, Methan und Lachgas, im Rahmen der Larvenproduktion bei der Fa. Ecofly, werden in Anhang A1 dargelegt.

Geflügel, gemästet mit larvenproteinhaltigen Futtermitteln, darf nicht in den Verkehr, zum menschlichen Verzehr, gelangen. Gemäß der amtlichen Mitteilung des Bundesamtes für Ernährungssicherheit vom 05.03.2018 sind die aus dem Fütterungsversuch gewonnen Lebensmittel zu entsorgen. Die Keulung des Geflügels erfolgte jeweils unmittelbar nach Beendigung der drei Mastdurchgänge durch die Steirische Tierkörperverwertungsgesellschaft.

Material und Methoden

Arbeitspaket 34.2.2 Larvenkonservierung

Versuchskonzeption

Die Haltbarmachung von abgetöteten, nicht entfetteten Larven der Soldatenfliege (*Hermetia illuscens* L.) durch Fermentation (Gärung) war Gegenstand dieses Projektteils. Dazu war es einerseits notwendig die Eigenschaften des Substrates hinsichtlich Vergärung zu bewerten und andererseits die Gärung von unbehandelten frischen Larven im Vergleich zu Behandlungen mit unterschiedlichen Additiven bzw. der Larventrocknung zu testen.

Der Versuchsaufbau wurde in 3 Stufen unterteilt. Mit der ersten Stufe wurden in einem Screeningverfahren insgesamt 34 verschiedene Varianten in 3-facher Wiederholung getestet (Tabelle 1).

Tabelle 1: Versuchsdesign Silierversuch S-68-1 (Screening)

			Aufwandmenge je 1000 kg Frischmasse				
Gruppe	Zusatz	Prüfvariante (T)	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5
0	kein Zusatz	100 % lose Larven					
1	Substrat	Gerste geschrotet (G)	5 % G	10 % G	20 % G	40 % G	80 % G
1	Substrat	Melasse (M) verdünnt	50 kg M + 15 kg Wasser				
2	Milchsäurebakterien (MSB)	Bonsilage Forte (flüssig)	2 g				
2	Milchsäurebakterien (MSB)	Silasil Extra	10 kg				
3	Milchsäurebakterien (MSB) + Enzyme	N Dyn Ferm Liquid	2 g				
4	Tannine	Mimosa (Roeper)	3%				
4	Tannine	Quebracho (Roeper)	3%				
4	Tannine	Quebracho (Dille)	3%				
5	chem. Konservierungsstoffe	Natriumnitrit	0,30%	3%			
5	chem. Konservierungsstoffe	Ameisensäure (85 %)	0,25%	1,25%			
6	Trocknung	Lufttrocknung	20-25°C				
6	Trocknung	Ofentrocknung	50-55°C				
K1	Kombination Gruppe 1 + 2	Gerste (G) + Bonsilage Forte	5 % G + 2 g MSB	20 % G + 2 g MSB	80 % G + 2 g MSB		
K1	Kombination Gruppe 1 + 2	Gerste (G) + Silasil Extra	5 % G + 10 kg MSB	20 % G + 10 kg MSB	80 % G + 10 kg MSB		
K1	Kombination Gruppe 1 + 3	Gerste (G) + N Dyn Ferm liquid C	5 % G + 2 g MSB	20 % G + 2 g MSB	80 % G + 2 g MSB		
K2	Kombination Gruppe 1 + 2	Melasse + Bonsilage Forte	50 kg + 15 kg Wasser + 2 g MSB				
K2	Kombination Gruppe 1 + 2	Melasse + Silasil Extra	50 kg M + 15 kg Wasser + 10 kg MSB				
K2	Kombination Gruppe 1 + 3	Melasse + N Dyn Ferm liquid C	50 kg M + 15 kg Wasser + 2 g MSB				
K3	Kombination Gruppe 1 + 2 + 4	Melasse + Bonsilage Forte + Quebracho	50 kg M + 15 kg Wasser + 2 g MSB + 3 kg Quebracho				
K3	Kombination Gruppe 1 + 2 + 4	Melasse + Silasil Extra + Quebracho	50 kg M + 15 kg Wasser + 10 kg MSB + 3 kg Quebracho				
K3	Kombination Gruppe 1 + 3 + 4	Melasse + N Dyn Ferm liquid C + Quebracho	50 kg M + 15 kg Wasser + 2 g MSB + 3 kg Quebracho				

Bei Auswahl von Additiven wurden die wesentlichen Aspekte der Silierbarkeit des Larvensubstrates, nämlich die Gehalte an Trockenmasse, Rohprotein (XP), Rohfett (XL) und wasserlöslicher Kohlenhydrate (XZ), berücksichtigt. Aufgrund eines TM-Gehaltes kleiner 300 g/kg FM, XP-Gehaltes größer 400 g/kg TM, XL-Gehaltes größer 200 g/kg TM und

Zuckergehaltes kleiner 10 g/kg TM wurde das Larvensubstrat als sehr schwer silierbar eingestuft. Im Screening wurden insgesamt 6 verschiedene Wirkungsrichtungen (Gruppen 1 bis 6) verfolgt und der unbehandelten Kontrolle (Gruppe 0) gegenübergestellt (Tabelle 1). Darüber hinaus wurden auch noch Kombinationen von Gruppen (K1, K2 und K3) getestet.

Tabelle 2: Versuchsdesign Silierversuch S-68-2 (vertieftes Screening)

Block	Gruppe	Zusatz	Prüfvariante (T)	Aufwandmenge je 1000 kg FM	
				T 1	T 2
lose ganze Larven im Vakuumbeutel	0	kein Zusatz	100 % lose Larven		
	1	Substrat	Gerste geschrotet (G)	40 % G	60 % G
	K4	Kombination Gruppe 1 + 5	Gerste (G) + Natriumnitrit	20 % G + 0,3 %	40 % G + 0,3 %
	K4	Kombination Gruppe 1 + 5	Gerste (G) + Ameisensäure (85 %)	40 % G + 0,25 %	
	K4	Kombination Gruppe 1 + 2	Gerste (G) + Silasil Extra	40 % G + 10 kg MSB	
lose ganze Larven im Einweckglas	0	kein Zusatz	100 % lose Larven		
	1	Substrat	Gerste geschrotet (G)	40 % G	60 % G
	K4	Kombination Gruppe 1 + 5	Gerste (G) + Natriumnitrit	20 % G + 0,3 %	40 % G + 0,3 %
	K4	Kombination Gruppe 1 + 5	Gerste (G) + Ameisensäure (85 %)	40 % G + 0,25 %	
	K4	Kombination Gruppe 1 + 2	Gerste (G) + Silasil Extra	40 % G + 10 kg MSB	
zerkleinerte Larven im Vakuumbeutel	0	kein Zusatz	100 % lose Larven		
	1	Substrat	Gerste geschrotet (G)	40 % G	60 % G
	K4	Kombination Gruppe 1 + 5	Gerste (G) + Natriumnitrit	20 % G + 0,3 %	40 % G + 0,3 %
	K4	Kombination Gruppe 1 + 5	Gerste (G) + Ameisensäure (85 %)	40 % G + 0,25 %	
	K4	Kombination Gruppe 1 + 2	Gerste (G) + Silasil Extra	40 % G + 10 kg MSB	

*Kombination: Gruppe 1 = Substrat, Gruppe 2 = Milchsäurebakterien, Gruppe 5 = chemische Konservierungsstoffe

Die Kontrolle sowie die 6 erfolgreichsten Behandlungen wurden in einem zweiten Screening-Versuch unter höherem Analysenaufwand (Weender, Gärqualität, Sensorik) untersucht. Zusätzlich wurde der Faktor „Block“ eingefügt. Hierbei wurden die SSF-Larven entweder lose im Vakuumbeutel (Block 1), lose im Einweckglas (Block 2) oder zerkleinert im Vakuumbeutel (Block 3) siliert.

Tabelle 3: Versuchsdesign Silierversuch S-68-3 (Exaktversuch)

Gruppe	Zusatz	Prüfvariante (T)	Aufwandmenge je 1000 kg FM	
			T 1	
0	kein Zusatz	100 % lose Larven		
1	Substrat	Gerste geschrotet (G)	40 % G	
K1	Kombination Gruppe 1 + 2	Gerste (G) + Silasil Extra	40 % G + 10 kg MSB	
K4	Kombination Gruppe 1 + 5	Gerste (G) + Natriumnitrit	40 % G + 0,3 %	
6	Trocknung	100 % lose Larven		

*Kombination: Gruppe 1 = Substrat, Gruppe 2 = Milchsäurebakterien, Gruppe 5 = chemische Konservierungsstoffe

Im dritten Silierversuch wurden insgesamt 5 Prüfvarianten in 3-facher Wiederholung mit losen ganzen Larven im Vakuumbeutel angelegt (Tabelle 3). Neben den Nährstoffen, Gärqualität und Sensorik wurden zusätzlich Mikrobiologie, biogene Amine und Aminosäuren untersucht. Das Versuchsdesign erlaubte bei diesem Ansatz eine varianzanalytische Auswertung sämtlicher Parameter.

SSF-Larven für Silierversuche

Im Screening wurden ganze getötete, nicht entfettete Larven verwendet. Die Tötung erfolgte beim Hersteller Ecofly (Auinger 2020) durch kurze Erhitzung und anschließende Tiefkühlung. Aufgrund der Siebung haftete nur ein minimaler Anteil an Restsubstrat an den Larven. Für den ersten Silierversuch sendete Herr Weinberger (Ecofly) am 17.10.2018 insgesamt 15 kg tiefgekühlte Larven, aufgeteilt in drei Beutel á 5 kg, in einer Styroporbox nach R-G. Für die Ansätze 2 und 3 wurden die Larven am 29.11.2018 in zwei Styroporboxen á 15 kg tiefgekühlte Larven geliefert. Die Larven wurden in R-G in einem Tiefkühlraum bei -20°C für die weitere Verarbeitung aufbewahrt. Zwei Tage vor dem Ansatz eines Silierversuches wurden die Larven in einen Kühlraum zum langsamen Auftauen bei +4°C überstellt.

Behandlungen und Additive

Gruppe 1 – Substrate

Aufgrund der sehr ungünstigen Siliereignung der Larven wurden zwei leicht fermentierbare zucker- bzw. stärkehaltige Substrate gewählt, um die Milchsäuregärung durch deren Zusatz zu fördern. Die grob geschrotete Gerste stammt vom Mühlenbetrieb Köllnreither OHG (Chargen-Nr. G19/L28/18) und war in einem 30 kg Papiersackgebinde abgesackt. Bei Gerstenschrot war das Flüssigkeitsbindungsvermögen ein wichtiger Aspekt bei der SSF-Larvenkonservierung, daher wurde die Dosierung im ersten Screening-Versuch von 5 bis 80 % variiert. Die handelsübliche dickflüssige Melasse aus Zuckerrüben wurde aus einem kubischen Tankbehälter (etwa 1.000 Liter Inhalt) in einen 5-Liter Kanister gefüllt. Für die Versuchsansätze wurde eine praxisübliche Dosierung von 50 kg Melasse auf 1.000 kg Frischmasse (FM) gewählt. Aufgrund der hohen Viskosität der Melasse wurde diese mit Wasser verdünnt, um eine Sprühdosierung zu ermöglichen. Verdünnungsberechnung: der Menge von 50 kg Melasse wurden 15 kg Wasser zugesetzt. Beide Substrate wurden vom Landmarkt Aigen im Ennstal bezogen und in R-G sachgemäß trocken und dunkel gelagert. Die drei Ansätze wurden mit dem gleichen Ausgangsmaterial versetzt.

Gruppe 2 – Milchsäurebakterien

Der Zusatz von MSB sollte deren Impfdichte erhöhen, um eine schnelle und kontrollierte Milchsäuregärung zu ermöglichen. Für diese Gruppe wurden 3 zugelassene Produkte ausgewählt, welche für die Larvenkonservierung eine positive Wirkung zeigen sollten. Das erste Produkt „Bonsilage Forte“ (Hersteller Fa. Schaumann) enthält homofermentative MSB und trägt das DLG-Gütezeichen in der Kategorie 1 b (Verbesserung der Vergärung von mittelschwer bis leicht silierbarem Futter im unteren Trockenmassebereich) sowie Kategorie 5 (Verhinderung der Vermehrung von Clostridien) - <http://www.guetezeichen.de/cgi->

[bin/gz_silier.cgi?sort=Firma](#). Es enthält die Lactobacillus-Stämme *L. acidilactici*, *L. paracasei* und *Lc. Lactis* in einer Dichte von mind. $1,25 \times 10^{11}$ KBE/g. Die Dosierung beträgt 2 g je 1.000 kg FM. Für die Applikation wurden 0,2 g Bonsilage Forte in 250 ml lauwarmem Wasser angesetzt. Das zweite Produkt „Silasil Extra“ (Hersteller Fa. Schaumann) ist ein streufähiges Additiv in einem 30 kg Sackgebinde. Es enthält Calciumformiat, Natriumbenzoat, Natriumchlorid und homofermentative MSB (*L. plantarum*, *Pediococcus pentosaceus*), wodurch eine kombinatorische chemische und biologische Wirkung ermöglicht wird. Die Dosierung wurde mit 10 kg je 1.000 kg FM festgesetzt.

Gruppe 3 – Milchsäurebakterien + Enzyme

Der Einsatz von Enzymen sollte schwerer verfügbare Kohlenhydratfraktionen spalten und damit den Anteil an fermentierbarem Substrat erhöhen. Das verwendete Produkt „N DYN ferm liquid C“ (Hersteller Trouw Nutrition Deutschland GmbH) enthält neben Saccharose als Trägerstoff eine Kombination aus homofermentativen MSB (*Pediococcus acidilactici* $> 7,5 \times 10^{10}$ KBE/g) und heterofermentativen MSB (*L. buchneri* $> 5,0 \times 10^{10}$ KBE/g) sowie Enzymen (Beta-Glucanase > 5.750 IU/g, Xylanase > 30.000 IU/g). Die Dosierung beträgt 2 g je 1.000 kg FM. Für die Applikation wurden 0,2 g N DYN ferm liquid C in 250 ml lauwarmem Wasser angesetzt.

Gruppe 4 – Tannine

Tannine sind Gerbstoffe, die zu den sekundären Pflanzeninhaltsstoffen gehören. Sie sind aufgrund ihrer Bindungsfähigkeit an Proteine in der Lage die Proteolyse zu reduzieren (Albrecht & Muck 1991). Bei Larvenkonservierung ist das Risiko eines erhöhten Proteinabbaus durch Fermentation hoch, daher könnte der Einsatz von Tanninen günstig für die Silage sein. Im Screening-Versuch wurden zwei Tannine, nämlich Mimosa (*Acacia dealbata*; Herkunft Roeper) und Quebracho (*Schinopsis balansae*; Herkunft Roeper bzw. Dille) eingesetzt. Die Dosierung wurde nach Erkenntnissen von Martens et al. (2019) mit 3 % TM festgelegt, d.h. für 1.000 kg FM wurden 30 kg fein gemahlenes Mehl von Mimosa bzw. Quebracho appliziert.

Gruppe 5 – Chemische Konservierungsstoffe

Für die Konservierung von Fleischprodukten wird vielfach Natriumnitrit, ein Salz der Salpetersäure, verwendet. Es verhindert die Vermehrung von schädlichen Mikroorganismen wie *Clostridium botulinum*. Es ist bis heute auch ein Bestandteil von chemischen Konservierungsmitteln für Grünlandfutter, mit positiver Wirkung gegenüber Clostridien. In den Larvenansätzen wurde Natriumnitrit mit einer Reinheit von $>99\%$ eingesetzt. Die Dosierung wurde einerseits nach Empfehlung mit 0,3 % gewählt und andererseits wurde im Screening eine Dosissteigerung auf 3 % angewendet.

Eine weitere Möglichkeit der chemischen Konservierung von Futtermitteln bietet der Einsatz von organischen Säuren wie der Ameisensäure. Durch eine spontane pH-Absenkung können schädliche MO ausgeschaltet werden. In der Praxis wird Ameisensäure mit 85%iger Konzentration in flüssiger Form angewendet. Die Dosierung für schwer vergärbare Substrate beträgt 2,5 Liter je 1.000 kg FM.

Gruppe 6 – Trocknung

Durch raschen Wasserentzug kann eine dauerhafte Lagerfähigkeit gewährleistet werden, sofern der Wassergehalt unter 14 % gehalten wird. Die SSF-Larventrocknung wurde im R-G Arbeitspaket als Vergleichsvariante gegenüber den silierten Larven gestellt. Im Screeningversuch wurden die losen Larven in einer Variante luftgetrocknet, d.h. die toten Larven wurden flächig bei Raumtemperatur aufgelegt und so lange liegen gelassen, bis der gewünschte TM-Gehalt erreicht wurde. Die zweite Trocknungsvariante wurde in einem Trockenschrank bei 50-55 °C und Verweildauer von etwa 2 Tagen durchgeführt. Diese Ofentrocknungsvariante war im Exaktversuch ebenfalls als Vergleichsvariante vertreten.

Gruppe K1, K2, K3 und K4 – Kombinationen von Gruppen

K1 bestand in einer Kombination von Gerstenschrot und Milchsäurebakterien, d.h. die Wirkung eines fermentierbaren Substrates und von MSB sollte eine kontrollierte Milchsäuregärung und eine Gärtaftbindung gewährleisten. Im Screeningversuch wurde die Gerstenschrotdosierung bei K1 zwischen 5 %, 20 % und 80 % variiert. K2 sollte ähnlich wie K1 funktionieren, allerdings wurde hier das Substrat durch verdünnte Melasse ausgetauscht. Sowohl für K1 als auch für K2 wurden die MSB-Produkte „Bonsilage Forte“, „Silasil Extra“ und „N DYN ferm liquid C“ verwendet. Kombination K3 bestand in einer Erweiterung von K2, indem hier auch noch das Tannin Quebracho (Herkunft Roeper) mit 3 % beigefügt wurde. Im Exaktversuch wurde die Kombination K4 angewendet. Diese bestand aus 40 % Gerstenschrot mit Natriumnitrit als chemische Konservierungskomponente.

Ansatz der Silierversuche

Für den Ansatz des ersten Silierversuches (Screening) mit Soldatenfliegenlarven wurden am 22.10.2018 in R-G sämtliche erforderlichen Arbeitsschritte (Einwaage, Exaktdosierung von flüssigen und pulvrigen Silierzusätzen usw.) am Larvenmaterial bzw. den Silierzusätzen besprochen und getestet. Von 13:00 bis 17:00 Uhr wurde ein Teil der geplanten Treatments mit den gekühlten Larven angelegt. Dazu wurden je nach Behandlung jeweils 100 g oder weniger getötete Larven in einer Kunststoffschüssel eingewogen (Waage: Ohaus Explorer; Typ E1B120; Teilung 0,1 g; Max. 2.100 g; Abb. 1 links). Die pulvrigen Silierzusätze wurden mit einer Analysenwaage eingewogen (Bizerba; Typ SL221M; Teilung 0,1 mg; Max. 200 g; Abb. 1 Mitte).

Flüssige Silierzusätze wurden in ein Becherglas gegeben und mit einer Flüssigkeitsdosierpumpe mit Zerstäuber dosiert (Abb. 1 rechts). Die Larven wurden mit dem jeweiligen Silierzusatz versetzt und durchgemischt. Die exakte Applikationsmenge bei den Silierzusätzen wurde auf 100 g Substrat berechnet.



Abbildung 1: Einwaage von Larven (links) und Tannin (Mitte) sowie Flüssigkeitsdosierpumpe mit Zerstäuber (rechts) für Silierversuch S-68

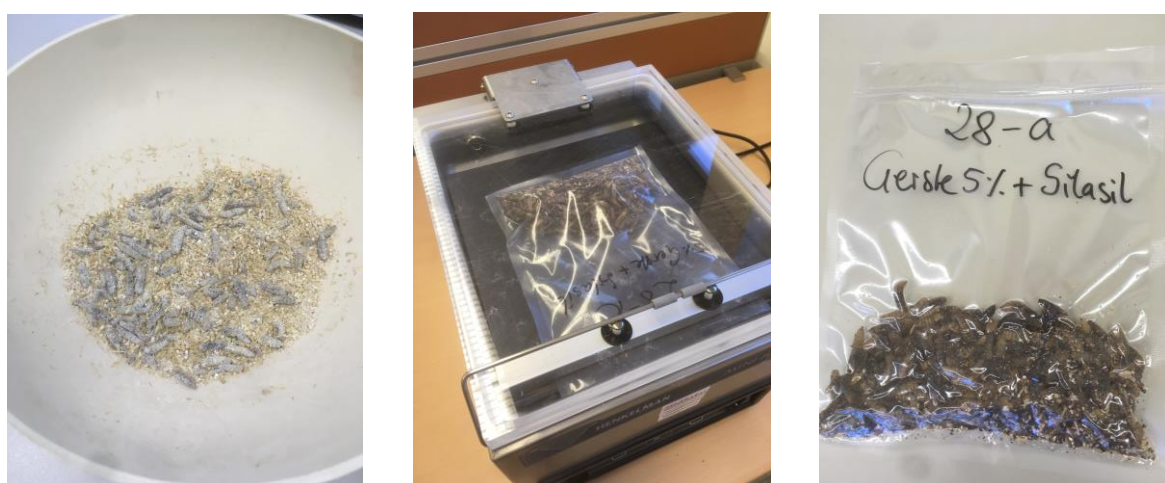


Abbildung 2: Gerstenzumischung (links), Vakuumierungstechnik (Mitte) und fertig verschweißter Vakuumbeutel

Bei den Varianten mit Gerstenschrot wurde der Larvenanteil von 95 g (T1) bis auf 20 g (T5) Einwaage variiert (Abb. 2 links). Anschließend wurden die behandelten Larven in einen Vakuumbeutel (200 × 250 mm; Typ SRB PA-PE 20/70) gegeben, vakuumiert und durch eine Schweißnaht luftdicht versiegelt (Vakuumiergerät: Henkelman Vacuum Systems, Typ Mini Jumbo; Abbildung 2 Mitte und rechts). Damit die Larven nicht an der Raumluft verderben, wurden sie bis zum Morgen des 23.10.2018 bei 4°C gekühlt. Die Fortsetzung des ersten

Ansatzes erfolgte am 23.10.2018 von 8:00 bis 11:30 Uhr. Erste Auffälligkeiten wie z.B. Klebrigkeit oder Klumpenbildung, welche sich durch die verschiedenen Additive ergaben, wurden dokumentiert. Neben den silierten Varianten wurden zwei Trocknungsvarianten angelegt: Lufttrocknung (20-25°C) und Ofentrocknung (50-55°C) mit jeweils 100 g Larven. Aufgrund einer Lieferverzögerung des Produkts „N DYN ferm liquid C“ konnte jene Varianten erst am 05.11.2018 von 10:00 bis 12:30 Uhr angesetzt werden. Sämtliche Vakuumbbeutel wurden exakt gewogen und anschließend in einem dunklen Raum gelagert. Insgesamt wurden 34 Varianten in 3-facher Wiederholung angelegt.

Der zweite Ansatz wurde nach Auswertung des ersten Screeningversuches am 12.12.2018 durchgeführt. In diesem Ansatz wurden 7 Varianten in 3-facher Wiederholung angelegt, wobei hier der Effekt unterschiedlicher Silierverfahren (Vakuumbbeutel [Abb. 3 links] bzw. Einweckglas [Abb. 3 Mitte]) und der Larvenstruktur (ganze lose Larven bzw. zerkleinerte Larven [Abb. 3 rechts]) getestet wurden. Die Varianten im Vakuumbbeutel wurden auf die gleiche Art und Weise angesetzt wie jene im ersten Silierversuch. Für die Befüllung des Einweckglases (Inhalt 1 Liter) wurden genau mit 600 g gekühlten Larven durchgeführt. Die Befüllung erforderte eine gewisse Verdichtung, damit die Menge exakt mit dem Glasrand abschloss. Anschließend erfolgte die luftdichte Versiegelung mittels Deckel + Gummidichtung über den Drahtbügelverschluss (Abb 3. Mitte). Die Lagerung der Proben erfolgte im gleichen Raum wie im ersten Ansatz



Abbildung 3: Ansatz 2 mit losen Larven im Vakuumbbeutel (links), mit losen Larven im Einweckglas (Mitte) und mit zerkleinerten Larven im Vakuumbbeutel (rechts)

Im dritten Ansatz waren die unbehandelten Larven (Kontrolle) und die Variante Larventrocknung fix im Programm. Diese wurden drei favorisierten Behandlungsvarianten aus

den beiden Vorversuchen gegenübergestellt (Tabelle 3). Der Ansatz für die Siliervarianten erfolgte am 19.02.2019 im Vakuumbbeutel in jeweils 3 Wiederholungen. Aufgrund des umfangreichen Untersuchungsspektrums war es aus logistischen Gründen erforderlich mehrere Beutel je Variante anzulegen. Aufgrund dieser Vorgangsweise brauchten keine Proben geteilt werden. Die Beutel wurden gemäß Variante und Analysenzuordnung mittels Edding beschriftet.

Vakuumbbeutel je Variante: 3 × 100 g für Gärqualität (FML Rosenau); 3 × 200 g für Weender-Nährstoffanalyse (FML Rosenau); 3 × 100 g für Mikrobiologie (FML Rosenau); 3 × 200 g für Aminosäuren (AGES Wien), 5 × 100 g für Dynamik pH-Wert (R-G); 200 g für Haltbarkeitstest (R-G)

Lagerung der silierten Varianten

Die Varianten wurden unmittelbar nach dem Ansatz jeweils in R-G im Kellergeschoss des Pflanzenbaugebäudes in einem dunklen Raum gelagert. Die Lagerungszeit betrug im ersten Versuch 50 Tage (23.10. bis 12.12.2018), im zweiten Versuch 69 Tage (12.12.2018 bis 19.02.2019) und im dritten Versuch 83 Tage (19.02. bis 13.05.2019). Die Raumtemperatur betrug im ersten Versuch 17,0 bis 18,5°C, im zweiten Versuch 16,0 bis 17,0°C und im dritten Versuch 16,5 bis 18,0°C. Während der Lagerung konnte beobachtet werden, dass es teilweise zu Gasbildung in den Vakuumbbeuteln bzw. Einweckgläsern kam.

Probeziehung

Von jedem Ansatz wurde jeweils das gesamte Probenmaterial jeder Variante vor der Beprobung inklusive Vakuumbbeutel bzw. Einweckglas gewogen. Wenn sich Flüssigkeit in Form von Gärsaft im Vakuumbbeutel gebildet hat, wurde dieser nach Öffnung des Beutels unterhalb der Verschweißung vorsichtig in ein vorher tariertes Becherglas geleert und anschließend durch Wiegung mengenmäßig erfasst. Der Gärsaft wurde wieder vollständig in die Probe zurückgegeben. In R-G wurden für die pH-Messung ca. 5 g und für die TM-Bestimmung 25 g, also ein Teil der Gesamtprobe, benötigt. Proben, welche für externe Untersuchungen verschickt werden mussten, wurden nicht geöffnet, sondern original verschlossen und gekühlt in das jeweilige Labor per Expresspost versendet.

Laboranalysen

In den beiden Vorversuchen (Screening) wurden pH-Wert und der TM-Gehalt in R-G gemessen. Der pH-Wert wurde mit einem pH-Meter (Schott; Typ CG801; Elektrode WTW SenTix21; pH-Bereich 0-14) nach Kalibration mit Eichlösungen für pH 4 bzw. 7 erfasst. Dazu wurde die Probe von 5 g in ein Glasgefäß gegeben, mit destilliertem Wasser versetzt, geschüttelt und für eine Stunde stehen gelassen. Anschließend wurde die mit destilliertem Wasser gespülte Elektrode in das Medium getaucht und der Messwert abgelesen. Der TM-Gehalt wurde in R-G

gravimetrisch bestimmt. Dazu wurden 25 g Probe in eine runde Aluminiumschale (Roth-Nr. 5496.1; Tara 3,015 g; Inhalt 125 ml) eingewogen. Die Probe wurde anschließend im Trockenschrank bei 104°C bis zur Gewichtskonstanz etwa 24 h lang getrocknet. Nach Abkühlung im Exsikkator wurde die Rückwaage aufgezeichnet.

Die chemischen und mikrobiologischen Analysen wurden im FML Rosenau (LK Niederösterreich) durchgeführt. Die chemischen Analysen erfolgten mit nasschemischen Methoden nach VDLUFA (1976), die mikrobiologischen Untersuchungen nach VDLUFA (2007a).

Tabelle 4: Verwendete Analysemethoden im Futtermittellabor Rosenau (LK Niederösterreich) bei der Untersuchung der Silageproben vom Siliversuch S-68

Parameter	Analyseverfahren
Trockenmasse	Wiege-Trocknungsverfahren (Trocknung der Futterprobe erfolgt im Trockenschrank mit Vortrocknung bei 60 ° C und 3-stündige Haupttrocknung bei 105 ° C)
Rohprotein	Verbrennungsanalyse nach DUMAR
Rohfaser	Fibertec-System (Hydrolytisches Zweistufen-Auflösungsverfahren mit Schwefelsäure und Kalilauge)
Rohfett	Soxhletextraktion unter Verwendung von Diethylether als Extraktionsmittel
Rohasche	Verbrennung bei 550 °C und gravimetrische Bestimmung
pH	pH-Meter (Methrom)
Ammoniak (NH ₃)	NH ₃ -Elektrode
Gärsäuren	Gaschromatograph
Bakterien	Plattenausstrichverfahren (DEV- Nähragar, Bakteriennährboden nach Schmidt)

Schimmelpilze	Plattenausstrichverfahren (Sabourad Detrose Agar, Schimmelpilznährboden nach Schmidt)
Hefen	Plattenausstrichverfahren

Die Aminosäuren wurden im akkreditierten Labor der AGES Wien untersucht (Auftrag vom 16.05.2019; Auftragsnummer 19058191). Die Gehaltsbestimmung der Aminosäuren in Futtermitteln erfolgte mittels Aminosäurenanalysator gemäß Verordnung (EG) 152/2009/Anhang III.F. (Dok.Code: PV_4925). Die Gehaltsbestimmung von Tryptophan in Futtermitteln (und pflanzlichen Lebensmitteln) erfolgte mittels HPLC gemäß Verordnung (EG) 152/2009/Anhang III/G. vom 27.1.2009. Die Untersuchung der biogenen Amine wurde an der BOKU Wien am Institut TTE mittels Gaschromatographie durchgeführt.

Organoleptische und sonstige Untersuchungen

Vor der Öffnung der Probe wurde die Gasbildung nach einem einfachen Skalenschema bewertet. Gasbildung: 0- keine, 1- leichte, 2- deutliche, 3- starke Gasbildung. Im Screening- und im Exaktversuch wurde auch eine olfaktometrische Bewertung des Geruches unmittelbar nach der Siloöffnung durchgeführt. Die Bewertung erfolgte nach Skala. Geruch: 0- nicht vorhanden, 1- angenehm bzw. Eigengeruch, 2- leichter, 3- mäßiger, 4- starker, 5- sehr starker, >5- extrem starker Verderbgeruch. Beide Bewertungen wurden von jeweils zwei Personen durchgeführt, nämlich Reinhard Resch (R-G) und Kristina Kube (BOKU-TTE). Sowohl die Bewertung zur Gasbildung als auch jene zur Geruchsintensität wurden bei der Auswahl der Favoriten berücksichtigt.

Haltbarkeitstest

Ein separater Teil von 200 g Probenmaterial wurde für den Haltbarkeitstest in einen Kunststoffbehälter gepackt und bei Raumtemperatur 9 Tage lang unter Luftstress gelagert. In die einzelnen Futterbehälter wurden in der Futterkernzone Temperatursensoren eingebaut (Abb. 4 links), um die Veränderungen gegenüber der Raumtemperatur in einer zeitlichen Auflösung von 30 Minuten beobachten zu können. Die Messdaten wurden in einem Datenlogger (Mikromec Multisens) gespeichert (Abb. 4 rechts).



Abbildung 4: Haltbarkeitstest und Temperaturaufzeichnung mit Datenlogger Mikromec Multisens (Silierversuch S-68)

Statistische Datenauswertung

Die statistische Datenauswertung erfolgte mit der Software STATGRAFICS XVII und SPSS 25. Mit Hilfe einer Varianzanalyse (VA) wurden die Unterschiede der Varianten in den einzelnen Qualitätsparametern bewertet. Der multiple Mittelwertvergleich zwischen den Varianten wurde mit dem Testverfahren nach Tukey HSD durchgeführt. Differenzen (P-Wert < 0,05 signifikant; < 0,01 hoch signifikant) wurden in Form von Indizes dargestellt. In den Ergebnistabellen wurde der Mittelwert mit dem Zeichen „ $\bar{X}$ “ und die Standardabweichung mit dem Buchstaben „sd“ abgekürzt. Die statistische Auswertung des Effekts der Varianten wurden anhand eines GLM-Modells durchgeführt.

Arbeitspaket 34.2.3 Broilermast und Emissionsmessung

Im Fokus der versuchsmäßigen Fragestellungen stehen die Auswirkungen des eingesetzten Substitutionsfuttermittels mit Larvenprotein (im Vergleich mit einem herkömmlichen Praxisfutter) auf das Stallklima (Lufttemperatur und Luftfeuchte), auf die Ammoniakemissionen und die Geruchsstoffkonzentration in der Abluft sowie auf die biologischen Parameter tägliche Zunahme, Mastendgewicht und Futterverwertung (Ausfälle miteinbezogen). Entsprechend der Wiegeperioden und der Tage der Geruchsanalysen erfolgt die Darlegung der Ammoniak- und Geruchsemissionen getrennt, in vier bis fünf Abschnitte je Mastdurchgang, sowie als Mittelwerte über die gesamte Mastdauer. Die Prüfungen wurden in drei Mastversuchen mit der Bezeichnung DGLa1, DGLa2 und DGLa3 mit Larvenprotein durchgeführt.

Versuchsstallungen

Der Mehrzweckversuchsstall der HBLFA Raumberg-Gumpenstein verfügt, neben Abteilen zur Haltung von Rindern, über zwei Stallungen für Versuche mit Mastgeflügel. In den gegenständlichen Versuchen wurden jeweils in einem Abteil Futtermittel mit einem gewissen Anteil an Larvenprotein (unter Teilsubstitution des Sojaweiß), im zweiten solche mit einer herkömmlichen, nährstoffäquivalenten Praxisrezeptur (Kontrollgruppe), an die Tiere verfüttert. Um eine Beeinflussung durch die Abteile auszuschließen wurden die Versuchs- und Kontrollgruppen nach jedem Mastdurchgang getauscht; in einem Durchgang beherbergte das Abteil OST die Versuchsgruppe, im nächsten das Abteil WEST. Die Stallabteile wurden jeweils – durch Einfügung einer unüberwindbaren Barriere – in zwei gleich große Buchten geteilt. Hinsichtlich der Parameter tägliche Zunahme, Mastendgewicht und Futterverwertung stehen somit pro Versuchsdurchgang (jeweils für den Versuch- und die Kontrolle) Daten aus zwei Gruppen (Buchten) zur Verfügung (Abb.5).

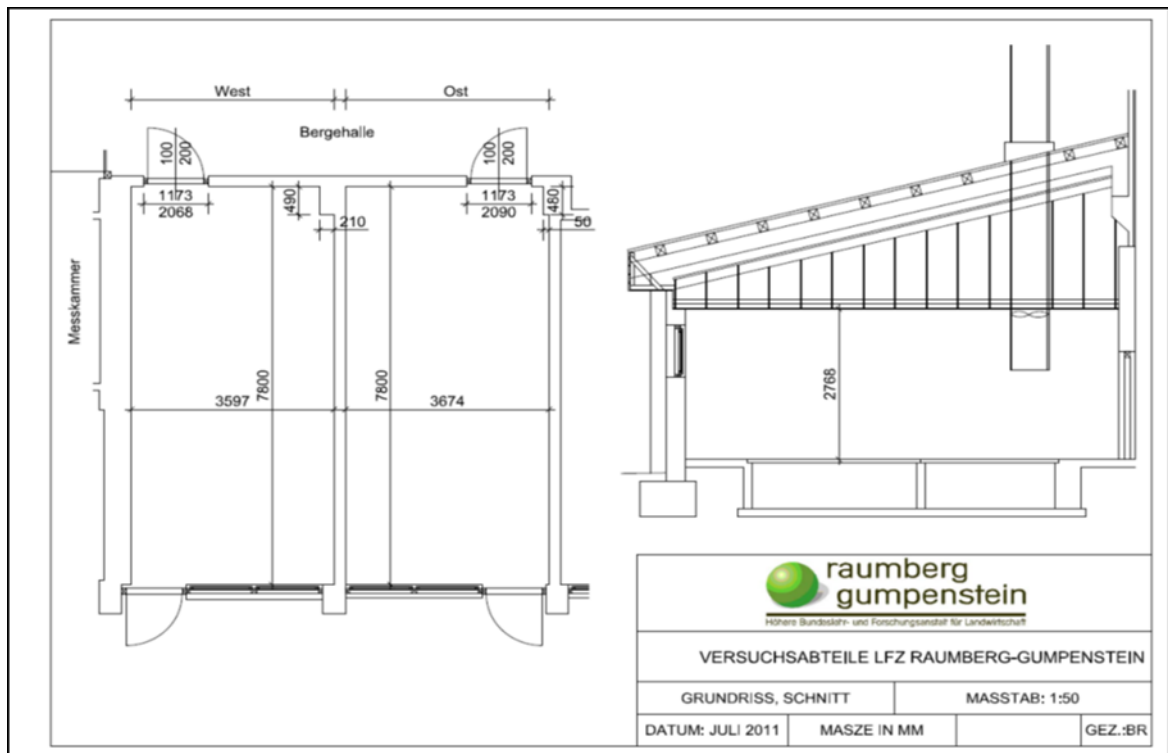


Abbildung 5: Plandarstellung, Geflügelstallungen an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

In Bezug auf die gasförmigen und olfaktorischen Emissionen erfolgt der Vergleich jeweils für das Versuchs- und das Kontrollabteil im Gesamten. In jedem Abteil können, gemäß AMA-Vorgaben, je 420 Mastküken gehalten werden; vor dem Einstellen der Tiere wurden die Versuchsabteile entsprechend desinfiziert und vorgewärmt. Entsprechend der Versuchsanordnung (Unterteilung jedes Abteils in zwei gleich große Bereiche) wurden je Bucht 210 Tiere eingestallt.

Versuchstiere

Die Mastküken wurden über den gesamten Versuchszeitraum von der Firma Geflügelzucht Schulz, in 8301 Laßnitzhöhe, bezogen. Die Tiere der Rasse Ross wurden unmittelbar nach dem Schlupf in der Brüterei einer Vakzination gegen Infektiöse Bronchitis (IB) unterzogen. Nach Beendigung der Mastdurchgänge wurden die Hühner durch das Betreuungspersonal aus dem Stall entnommen, gezählt und zur Keulung an die Steirische Tierkörperverwertungsgesellschaft übergeben.

In gegenständlichem Projekt handelt es sich um einen Fütterungsversuch mit einem Inhaltsstoff (Larveneiweiß), der, lt. europäischem Futtermittelrecht, in der Praxis nicht an Mastgeflügel verfüttert werden darf. Die gemästeten Hühner dürfen demnach nicht durch Schlachthöfe weiterverarbeitet werden und das Fleisch ist als genussuntauglich eingestuft. Mit Schreiben vom 29.01.2018 wurde dem österr. Bundesamt für Ernährungssicherheit (BAES) die Meldung zum geplanten Fütterungsversuch, gem. § 10 Futtermittelgesetz, kundgetan. Mit der amtlichen Mitteilung des BAES vom 05.03.2018 wurde der Fütterungsversuch mit Larveneiweiß genehmigt.

Lüftung

Über eine – in beiden Abteilen – verbaute Porendecke gelangt Frischluft über den Dachraum in den Tierbereich. Die Fortluft wird je über einen Abluftkamin aus den Abteilen abgesaugt, die Steuerung erfolgt elektronisch.

Lichtprogramm

Tierschutzrechtlich ist bei der Haltung von Geflügel (mit Ausnahme der Kükenaufzucht in den ersten 48 Stunden) eine ununterbrochene Dunkelphase von täglich mindestens sechs Stunden zu gewährleisten. In Abstimmung mit Geflügelexperten der Vet. Med. Universität Wien wird im Rahmen der Mastversuche ein praxisbewährtes Programm eingesetzt: Die Lichtphase umfasst dabei täglich den Zeitraum zwischen 04:00 – 22:00 Uhr und dem entsprechend, die Dunkelphase die Zeit von 22:00 - 04:00 Uhr. Dieses Lichtprogramm wird ganzjährig beibehalten.

Fütterungsmanagement

Trinkwasser und Futter stehen den Tieren während der gesamten Mastperiode ad libitum zur Verfügung. Die Futtermittel werden dabei entweder in Form von Pellets oder als Granulat über Automaten angeboten. Im gesamten Projektverlauf wurde ein dreiphasiges Versuchs-Fütterungsregime (Starter = 24,4 % Rohprotein, Mittelmast = 22,9 % Rohprotein und Endmast

= 21,2 % Rohprotein), mit Futterwechsel an den Masttagen 14 und 26, eingesetzt. Dies auch in den Kontrollgruppen – mit einem energieäquivalenten Futter ohne substituiertem Sojaprotein. Das Eiweiß aus den Larven der Schwarzen Soldatenfliege wurde in Form von Larvenmehl dem Versuchsfutter beigemischt – 75 % des Sojabohnenmehls wurden initial substituiert.

Da im ersten Mastdurchgang Probleme hinsichtlich der Futterverwertung und der Tiergesundheit auftraten, war die weitere Projektdurchführung unter einem geänderten Ansatz erforderlich. Es trat offen zu Tage, dass die ursprünglich hohe Soja-Austauschrate von 75 % im Versuchsfuttermittel die Tiere ernährungsphysiologisch überforderte. Aus diesem Grunde wurde für die nachfolgenden Mastdurchgänge zwei und drei das Fütterungsregime angepasst; durch Zukauf und 1:1 Beimischung eines dreiphasigen Praxis-Futtermittels wurde der Anteil des Larvenmehls im Versuchsfutter auf rd. 35 – 40 % gesenkt. Im Vergleich dazu ersetzten Cullere et al. (2016) nur 10 – 20 % des Sojaproteins durch Larvenprotein.

Messtechnik

Während der Versuchsdurchgänge wurden in beiden Abteilen jeweils die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit, der Ammoniak- und der Kohlendioxidgehalt kontinuierlich erfasst. Im Außenbereich (Hintergrund) erfolgte zusätzlich die Messung der Ammoniak- und Kohlendioxidgehalte. Die Wiegung der Tiere zur Erfassung der Mastleistung erfolgte manuell zu Beginn jedes Durchgangs am Tag der Einstellung und in der Folge durch automatische Messsysteme; in der Regel wurden die Gewichte um den 10., 17., 24. und 31. Masttag, sowie im Rahmen der Ausstallung, protokolliert. An den genannten Tagen erfolgte jeweils auch die Probenziehung (in den Abluftkaminen) zur geruchstechnischen Untersuchung am Olfaktometer. Nach Beendigung jedes Durchganges wurde je Abteil eine Mistprobe (Mischprobe, von mehreren unterschiedlichen Stellen) aus den Versuchs- und Kontrollbuchten, sowie eine Probe der eingesetzten Futtermittel, zur Analyse an das anstaltseigene Laboratorium, übermittelt. Die eingesetzte Messtechnik (siehe nachfolgende Auflistung), wird jährlich der erforderlichen Kalibration unterzogen.

- Temperatur- und Feuchtemessung: testo-Saveris™ Funkfühler plus
- Messung der Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentrationen: INNOVA 1412 Multi Gas Monitoring Instrument, LumaSense Technologies
- Ermittlung der Geruchsstoffkonzentration: Olfaktometer TO 8, ecoma
- Ermittlung des Luftvolumenstroms: ZAsset (Software zur Steuerung von Ventilatoren der Fa. Ziehl-Abegg) und via Eichkurve, erstellt durch RLT-Messung der Abluftgeschwindigkeiten mittels testo 480

ad Messung der Geruchsstoffkonzentration

Die Olfaktometrie ist – wie auch die Schallpegelmessung – ein wirkungsbezogenes Messverfahren bei dem die (Reiz-)Wirkung eines dargebotenen Geruches auf ein normativ zusammengestelltes Probandenkollektiv ermittelt wird. Ziel ist es, die Stärke der Geruchsbelästigung (Geruchsstoffkonzentration), verursacht durch eine definierte Probenluft (hier: Luftproben aus den Abluftkaminen der Versuchs- und Kontrollabteile), festzustellen. Gebräuchlich ist die Angabe der Messergebnisse in Geruchseinheiten pro Kubikmeter (GE/m³). Um die empfundenen Unterschiede in der Geruchswahrnehmung im Rahmen der Probenanalyse besser darzustellen (das Geruchsempfinden ist dabei eine logarithmische Funktion der Geruchsstoffkonzentration), empfiehlt sich zusätzlich die Ausweisung als Geruchspegel dBod (Geruchsdezibel); das menschliche Riechorgan kann Geruchsstoffkonzentrationsunterschiede im Bereich von 3 dBod gerade noch unterscheiden. Die Durchführung der Olfaktometrie erfolgt gemäß ÖNORM EN 13725 (April 2006), VDI 3884 Blatt 1 (Februar 2015) sowie der VDI 3880 (Oktober 2011). In der Regel erfolgt die Untersuchung der Geruchsstoffkonzentrationen vier Mal im Verlauf eines Mastdurchganges; pro Untersuchungstag werden jeweils zwei Luftproben aus dem Versuchs- und Kontrollabteil (Abluftkamin) gezogen. Die dargelegten Daten stellen den Mittelwert aus den beiden gezogenen Proben dar.

Eckdaten der Versuchsdurchgänge

DGLa1 – Larve I

- Versuch: Abteil OST (36 Ausfälle)
- Kontrolle: Abteil WEST (11 Ausfälle)
- Versuchsbeginn & Ende: 03.06. – 09.07.2019
- Mastdauer: 36 Tage

DGLa2 – Larve II

- Versuch: Abteil WEST (5 Ausfälle)
- Kontrolle: Abteil OST (10 Ausfälle)
- Versuchsbeginn & Ende: 29.07. – 02.09.2019
- Mastdauer: 35 Tage

DGLa3 – Larve III

- Versuch: Abteil OST (17 Ausfälle)
- Kontrolle: Abteil WEST (12 Ausfälle)
- Versuchsbeginn & Ende: 16.09. – 21.10.2019
- Mastdauer: 35 Tage

Zur abschließenden Auswertung erfolgt die Betrachtung der – unter gleicher Testanstellung durchgeführten – Mastdurchgänge DGLa2 und DGLa3. DGLa1 wies, wie oben erläutert, rd. 75% an substituiertem Sojaprotein auf und führte, auf Grund des zu hohen Anteils an Larvenmehl, zu einem insgesamt negativen Versuchsergebnis. Ergänzend wurden die eingesetzten Futtermittel einer Weender-Analyse im dienststelleneigenen Labor unterzogen. In den – jeweils am Versuchsende – gezogenen Festmist-Sammelproben je Bucht und Abteil erfolgte die Bestimmung von Trockenmasse, Asche, Stickstoff, Ammonium-Stickstoff, pH-Wert sowie von Mengen- und Spurenelementen (Ca, Mg, K, P, Na, Fe, Mn, Cu, Zn).

Gemäß Geflügelhygieneverordnung 2007 müssen frühestens drei Wochen vor der Schlachtung Stiefeltupferproben aus den Buchten bzw. den Stallabteilen entnommen werden; die bakteriologische Untersuchung auf Salmonellen erfolgte an der akkreditierten Prüfstelle der Universitätsklinik für Geflügel und Fische, an der Veterinärmedizinischen Universität Wien.

Ergebnisse und Diskussion

Arbeitspaket 34.2.2 Larvenkonservierung

Die Bewertung der konservierten Proben sollte Aufschluss darüber geben inwieweit eine Silierung von Insektenlarven der Soldatenfliege möglich ist. Des Weiteren sollten die Differenzen der unbehandelten Kontrolle zu Behandlungsvarianten bzw. der Larventrocknung helfen den Konservierungserfolg zu quantifizieren, um ökonomische Vor- und Nachteile bewerten zu können. Im Arbeitspaket Konservierung wurden eine Reihe praxisrelevanter Parameter untersucht. Diese werden nachstehend dargestellt.

Gärparameter

TM-Gehalt

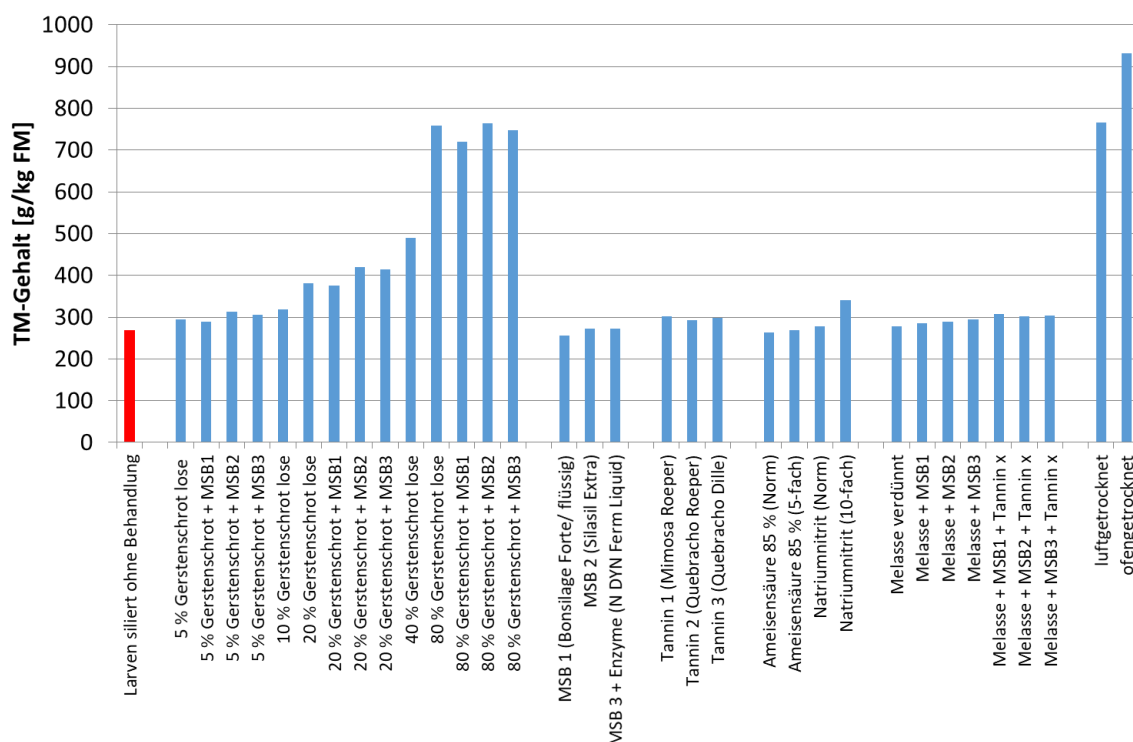


Abbildung 6: Durchschnittliche TM-Gehalte von Konserven der Soldatenfliegenlarven in Abhängigkeit von Verfahren und Additiven

Der TM-Gehalt von frischen SSF-Larven betrug in den Versuchen 274 g/kg FM. Nach Nguyen et al. (2015) bzw. Oonincx et al. (2015) lagen die TM-Gehalte frischer Larven zwischen 200 und 440 g/kg FM. Der TM-Gehalt ist nach Rachmawati et al. (2010) vom Nährsubstrat und dem Larvenstadium abhängig, ältere Larven haben höhere TM-Gehalte. Unbehandelte, silierte

Larven enthielten im Screeningversuch 1 durchschnittlich 270 g TM/kg FM. Die Zugabe von MSB aus Gruppe 2 und von Ameisensäure veränderte den TM-Gehalt nicht. Durch verdünnte Melasse kam es zu einer leichten TM-Erhöhung auf durchschnittlich 287 g/kg FM. Der Einsatz von 3 % Tanninen erhöhte den TM-Gehalt auf 297 g/kg FM und deren Kombination mit Melasse bewirkte eine TM-Anstieg auf 304 g/kg FM. Die gleiche anhebende Wirkung konnte mit 5 % Gerstenschrot erzielt werden (300 g TM/kg FM). Mit zunehmender Gerstenschrotzugabe stieg der TM-Gehalt bis auf 747 g/kg FM – bei 80 % Gerstenschrotanteil (Abb. 6). Über die Lufttrocknung bei 25°C wurden nach 14 Tagen 765 g TM/kg FM erzielt. Mittels Ofentrocknung bei 50°C konnte der TM-Gehalt nach 2 Tagen auf 931 g/kg FM angehoben werden. Die Zugabe von grobem Gerstenschrot zu Insektenlarven bewirkte eine lineare TM-Erhöhung, abhängig vom Gerstenanteil (Abb. 7). Beispielsweise könnte ein angestrebter TM-Gehalt von 350 g/kg FM mit einer Gerstenschrotzugabe von 14,5 % erreicht werden.

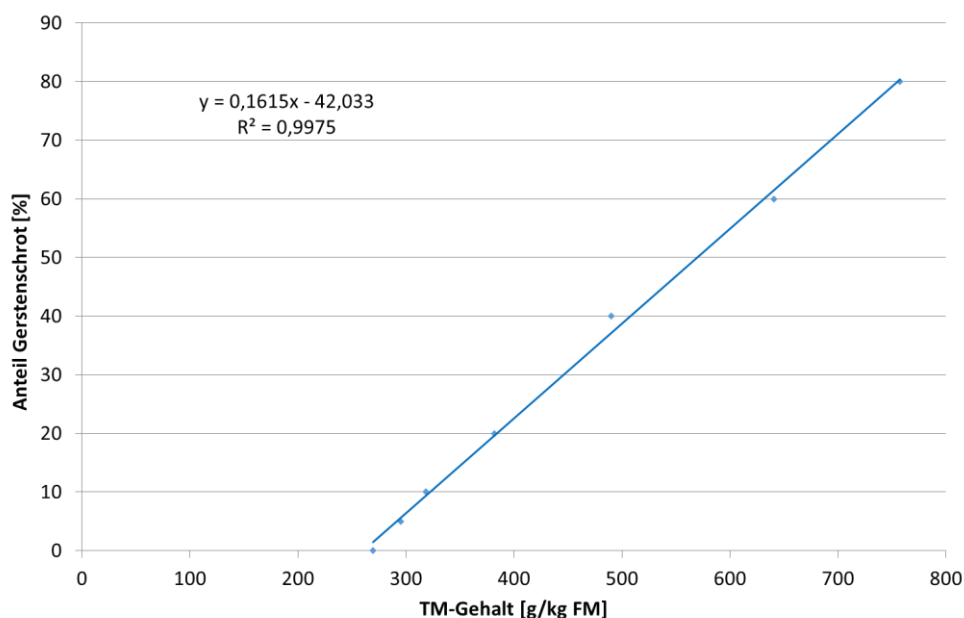


Abbildung 7: Einfluss der Zugabe von Gerstenschrot auf den TM-Gehalt von Silage aus Soldatenfliegenlarven

Im zweiten Screeningversuch konnte im TM-Gehalt kein signifikanter Effekt ($P = 0,757$) zwischen der Konservierung von losen und zerkleinerten Larven bzw. zwischen Vakuumbbeutel und Einweckglas festgestellt werden (Tab. 5). Die Behandlungsvarianten zeigten hoch signifikante Differenzen ($P < 0,01$), wobei diese in erster Linie im Zusammenhang mit dem Anteil an Gerstenschrot in Verbindung standen. Jene 4 Varianten mit 40 % Gerstenschrot wiesen gegenseitig keine gesicherten Unterschiede auf (Tab. 5). Im Exaktversuch konnten die TM-Differenzen zwischen der Kontrolle und den Varianten mit Silierzusätzen bzw. der Ofentrocknung bestätigt werden. Die Silierung der Kontrolle hatte gegenüber dem unsilierten Ausgangsmaterial keinen Einfluss auf den TM-Gehalt (Tab. 5). Zusammenfassend ist

festzuhalten, dass der TM-Gehalt alleine keine Aussage über den Konservierungserfolg der Silierung von Soldatenfliegenlarven zulässt. Die Lufttrocknung scheidet definitiv als Konservierungsvariante aus, weil hier der Trocknungsvorgang zu viel Zeit beansprucht, der Wassergehalt nicht unter 14 % gebracht werden konnte und dadurch ein Verderb nicht ausgeschlossen werden kann.

Tabelle 5: Mittlere TM-Gehalte von konservierten Soldatenfliegenlarven in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen

Trockenmasse [g/kg FM] Behandlung	Screening 1		Screening 2			Exaktversuch		
	n	$\bar{X}$	n	$\bar{X}$	sd	n	$\bar{X}$	sd
100 % Larven (Ausgangsmaterial)						3	273,7 ^a	9,3
100 % Larven (siliert)	1	269,5	7	289,6 ^a	7,0	3	270,4 ^a	6,1
Larven + 40 % Gerstenschrot	1	490,0	7	504,6 ^c	16,0	3	538,2 ^b	4,9
Larven + 60 % Gerstenschrot			7	639,1 ^d	15,1			
Larven + 20 % Gerstenschrot + Na-Nitrit			7	405,9 ^b	20,3			
Larven + 40 % Gerstenschrot + Na-Nitrit			7	511,4 ^c	16,6	3	534,9 ^b	14,7
Larven + 40 % Gerstenschrot + Ameisensäure			7	508,8 ^c	17,0			
Larven + 40 % Gerstenschrot + Silasil Extra			7	529,9 ^c	18,8	3	542,8 ^b	3,0
100 % Larven Ofentrocknung	1	930,9				3	942,7 ^c	16,3

Gärsaftanfall

Im Zusammenhang mit TM-Gehalt und Silierung ist die Produktion von Gärsaft ein unerwünschter Aspekt, der zu Massen- und Qualitätsverlusten führt (Gross & Riebe 1974). Im ersten Screeningversuch konnte das Ziel, keinen Gärsaft zu produzieren, von der Kontrolle und von insgesamt 18 Behandlungsvarianten nicht erreicht werden. Abgesehen von der Larventrocknung entstand ab 10 % Gerstenschrot-Zugabe mit Sicherheit kein Gärsaft (Abb.8). Die Beimengung von 5 % Gerstenschrot ließ keinen, die Kombination mit MSB 0,6 bis 5,1 % Gärsaft entstehen. Das Tannin Quebracho schaffte die Saftbindung während bei Zusatz von Mimosa noch 2,2 % Gärsaft anfielen. Gegenüber der unbehandelten Kontrolle (11,4 % Gärsaft) lagen die MSB-Varianten niedriger, aber mit 5,4 bis 9,2 % dennoch weit über dem Ziel. Die Anwendung von MSB + Enzyme führte tendenziell zu einer mittleren Erhöhung des Gärsaftanfalls von + 2,1 % gegenüber MSB (Bonsilage Forte). Auch die chemischen Konservierungsstoffe Ameisensäure und Natriumnitrit produzierten 1,5 % Gärsaft bei Normdosierung und deutlich mehr bei Überdosierung (Abb. 8). Der Zusatz von verdünnter Melasse und dessen Kombination mit MSB und/oder Tanninen ließ Gärsaftmengen von 7,0 bis 16,3 % der einsilierten Masse entstehen. Im zweiten Screeningversuch wurden bei der unbehandelten Kontrolle im Durchschnitt 13,4 % Gärsaft produziert und im Exaktversuch 10,1 % (Tab. 6). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die Anwendung von Silierzusätzen in 3 Fällen die Gärsaftproduktion der Kontrolle überschritten und in 15 Fällen reduziert wurde. Durch ausreichenden Anteil an saftbindendem Substrat wie Gerstenschrot oder durch Trocknung konnte die Gärsaftbildung vollständig unterbunden werden.

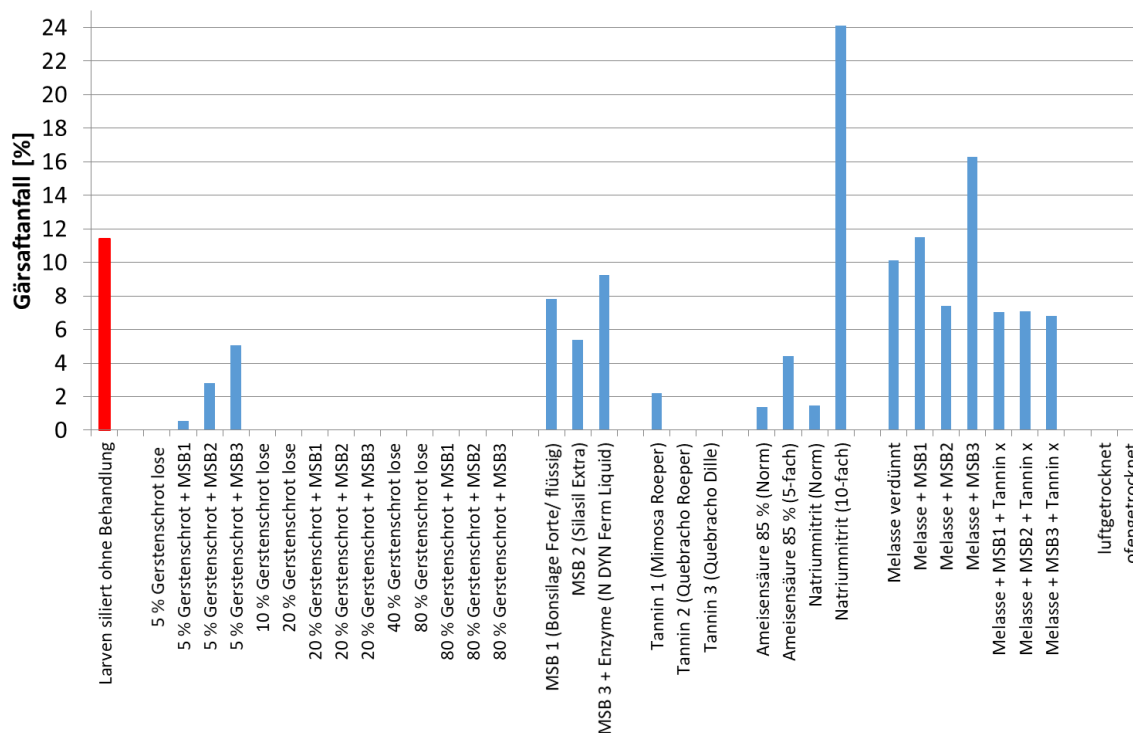


Abbildung 8: Gärsaftproduktion bei Larvenkonservierung in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen

Tabelle 6: Mittlere Gärsaftproduktion von konservierten Soldatenfliegenlarven in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen

Gärsaftproduktion [%]	Screening 1		Screening 2			Exaktversuch		
	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	sd	n	$\bar{x}$	sd
100 % Larven (Ausgangsmaterial)						3	-	-
100 % Larven (siliert)	1	11,4	7	13,4 ^b	0,8	3	10,1 ^b	0,9
Larven + 40 % Gerstenschrot	1	0	7	0 ^a	-	3	0 ^a	-
Larven + 60 % Gerstenschrot			7	0 ^a	-			
Larven + 20 % Gerstenschrot + Na-Nitrit			7	0 ^a	-			
Larven + 40 % Gerstenschrot + Na-Nitrit			7	0 ^a	-	3	0 ^a	-
Larven + 40 % Gerstenschrot + Ameisensäure			7	0 ^a	-			
Larven + 40 % Gerstenschrot + Silasil Extra			7	0 ^a	-	3	0 ^a	-
100 % Larven (Ofentrocknung)	1	0				3	0 ^a	-

Verderbgeruch

Die Konservierung von Futtermitteln durch Fermentation verändert den Geruch aufgrund der Entstehung von olfaktorisch aktiven Abbau-/Stoffwechselprodukten. Das verwendete SSF-Larven-Ausgangsmaterial für die Silierung wies einen deutlich leicht unangenehmen Eigengeruch nach Larvensubstrat auf. Dieser Geruch wurde in der Bewertung mit 1 klassifiziert. Gerüche nach Verderb der konservierten Larven wurden je nach Intensität mit höheren Ziffern eingestuft (Abb. 9).

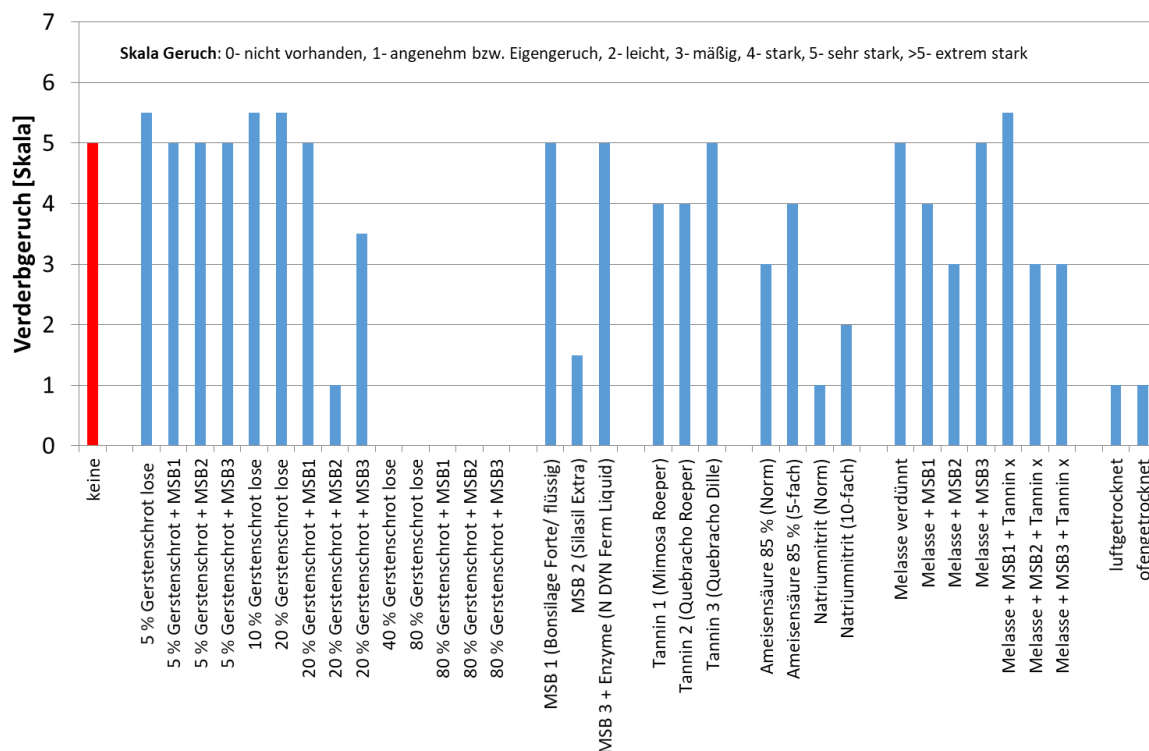


Abbildung 9: Geruchsbewertung bei Larvenkonservierung in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen

Tabelle 7: Mittlerer Verderbgeruch von konservierten Soldatenfliegenlarven in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen

Verderbgeruch [Skala]	Screening 1		Screening 2			Exaktversuch		
Behandlung	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	sd	n	$\bar{x}$	sd
100 % Larven (Ausgangsmaterial)	3	1,0				3	1,0 ^a	-
100 % Larven (siliert)	3	5,0	7	5,2 ^d	0,3	3	5,0 ^d	-
Larven + 40 % Gerstenschrot	3	0	7	1,8 ^{bc}	0,3	3	1,0 ^a	-
Larven + 60 % Gerstenschrot			7	0,8 ^a	0,3			
Larven + 20 % Gerstenschrot + Na-Nitrit			7	1,6 ^{bc}	0,4			
Larven + 40 % Gerstenschrot + Na-Nitrit			7	1,3 ^{ab}	0,3	3	2,0 ^c	-
Larven + 40 % Gerstenschrot + Ameisensäure			7	1,4 ^{abc}	0,8			
Larven + 40 % Gerstenschrot + Silasil Extra			7	2,0 ^c	0,0	3	2,0 ^c	-
100 % Larven (Ofentrocknung)	3	1,2				3	1,3 ^b	0,3

Skala Geruch: 0- nicht vorhanden, 1- angenehm bzw. Eigengeruch, 2- leicht, 3- mäßig, 4- stark, 5- sehr stark, >5- extrem stark

Im ersten Screeningversuch entstand bei der unbehandelten Kontrolle ein sehr starker Verderbgeruch (5), der etwas scharf und insbesondere nach zersetzten Eiweißverbindungen (Ammoniak, leicht schwefelig ähnlich H_2S) roch. In insgesamt 10 Zusatzvarianten war der Geruch gleich intensiv oder sogar noch unangenehmer (Abb. 9). Die Geruchswahrnehmung der Kontrolle und von Varianten mit mäßigen oder schlechteren Bewertungen ist derartig unangenehm, dass von einer Silierung auf diese Art unbedingt abgeraten werden muss! Eine

Geruchsklassifizierung unterhalb von mäßig (< 3) kann aus Sicht der Futterkonservierung als akzeptabler Konservierungserfolg eingestuft werden. Neben den zwei getrockneten Varianten konnten in Summe 10 Behandlungsvarianten dieses Erfordernis erreichen (Abb. 9). Die Zugabe von 40 % Gerstenschrot oder mehr bewirkte eine völlige Geruchsneutralisation, wodurch das Konservat einen mehligem Gerstengeruch aufwies (0). Der Zusatz von Silasil Extra und Natriumnitrit senkte den Verderbgeruch deutlich (< 3), während MSB, Tannine und Melasse wenig Wirkung zeigten (≥ 3). Die Geruchsbewertung war für die Selektion von Zusatzvarianten neben der Gärproduktbildung ausschlaggebend. Im 2. und 3. Versuchsansatz konnte der positive Effekt der Zugabe von 40 % Gerstenschrot sowie der Kombination von Gerstenschrot und wirksamer Produkte wie Na-Nitrit, Ameisensäure und Silasil Extra bestätigt werden (Tab.7). Die ofengetrockneten Larven behielten den Geruch des Ausgangsmaterials, allerdings war dieser konzentrierter wahrnehmbar und erinnerte deutlich an Fischfutter.

pH-Wert

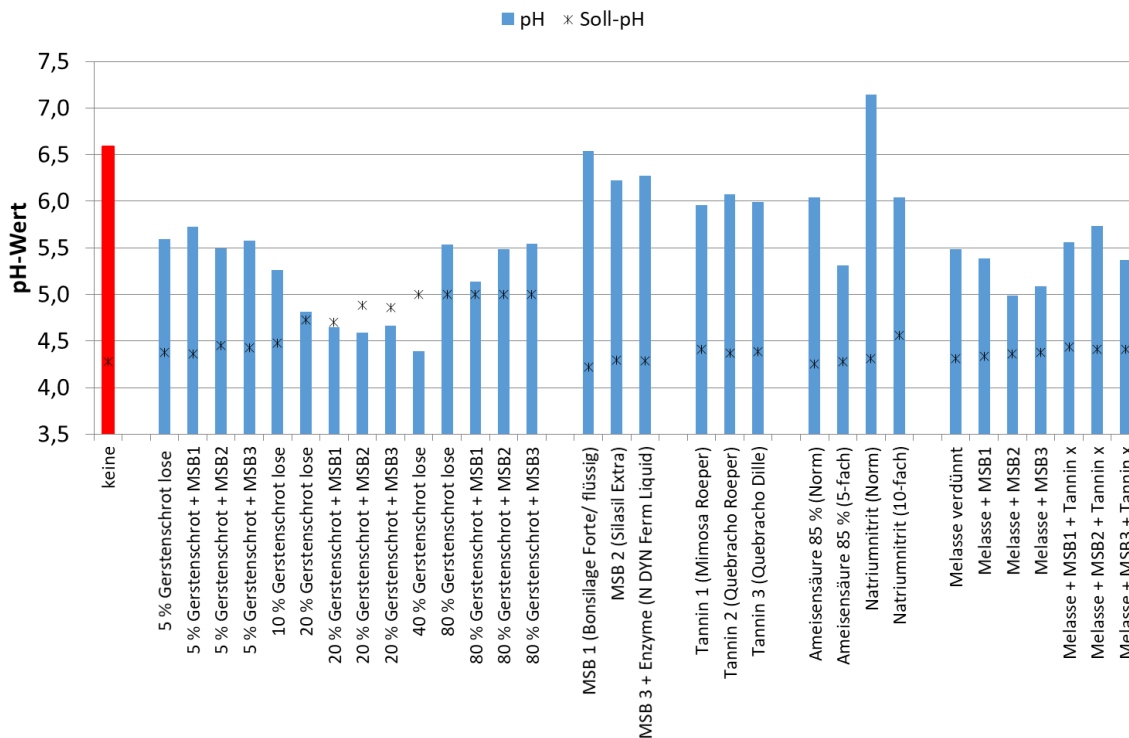


Abbildung 10: pH-Wert bei Larvenkonservierung in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen

Der Konservierungserfolg wird vom pH-Wert der Silage maßgeblich beeinflusst (DLG, 2012). Der pH-Wert des unsilierten Ausgangsmaterials lag bei Larven mit pH 7,92 deutlich im basischen Bereich. Futterpflanzen weisen hingegen einen leicht sauren pH von etwa 6,0 bis 6,3 auf. Durch den Silierprozess konnte der pH der unbehandelten Kontrolle nur geringfügig auf 6,1 bis 6,8 gesenkt werden (Tab. 8), d.h. der Soll-pH wurde bei weitem nicht erreicht (Abb. 10). Im Screeningversuch 1 und 2 konnte nachgewiesen werden, dass die Fermentation alleine

durch die Zugabe von Gerstenschrot positiv beeinflussbar war. Ab einer Zugabe von etwas mehr als 20 % Gerstenschrot erreichte der pH-Wert den anzustrebenden Soll-Wert (Abb. 10 und 11). Im Silierversuch konnte der pH-Wert mit 40 % Gerstenschrot am tiefsten, d.h. unter pH 4,5 abgesenkt werden. Ab 60 % Gerstenschrot steigt der osmotische Druck so stark an, dass eine Stabilität schon bei höherem pH-Niveau erreicht wurde.

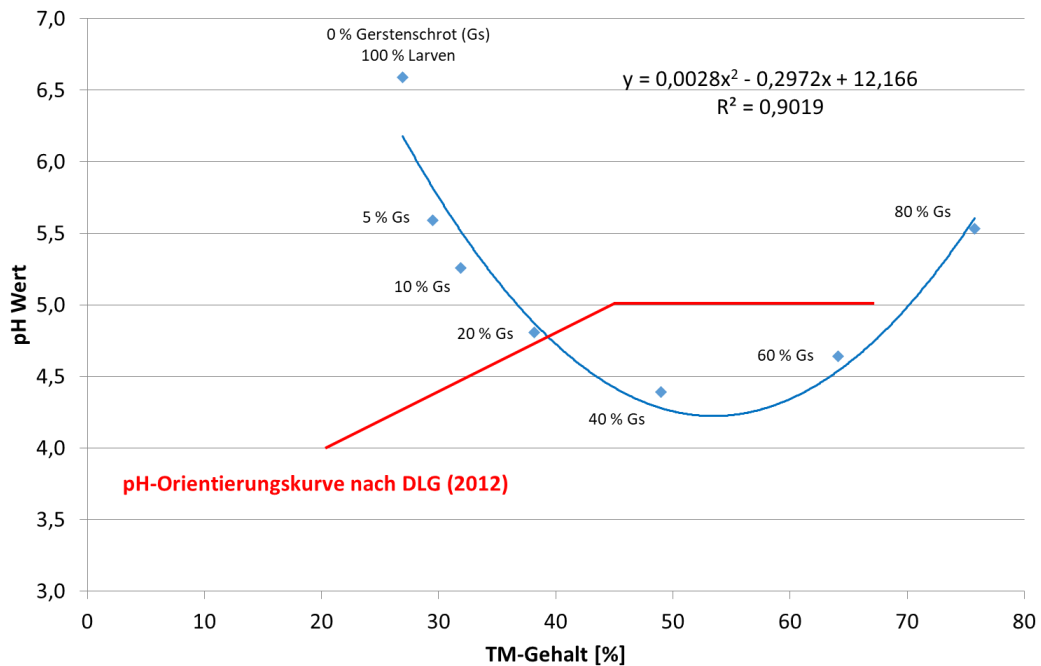


Abbildung 11: Einfluss der Zugabe von Gerstenschrot zu Insektenlarven der Soldatenfliege auf TM-Gehalt und pH-Wert des vergorenen Materials

Tabelle 8: Mittlerer pH-Wert von konservierten Soldatenfliegenlarven in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen

pH-Wert Behandlung	Screening 1			Screening 2			Exaktversuch		
	n	$\bar{x}$	sd	n	$\bar{x}$	sd	n	$\bar{x}$	sd
100 % Larven (Ausgangsmaterial)							3	7,92 ^c	0,11
100 % Larven (siliert)	3	6,59 ^b	0,03	7	6,13 ^c	0,11	3	6,77 ^b	0,06
Larven + 40 % Gerstenschrot	3	4,39 ^a	0,01	7	4,44 ^{ab}	0,06	3	5,10 ^a	0,26
Larven + 60 % Gerstenschrot				7	4,47 ^{ab}	0,22			
Larven + 20 % Gerstenschrot + Na-Nitrit				7	4,51 ^{ab}	0,09			
Larven + 40 % Gerstenschrot + Na-Nitrit				7	4,45 ^{ab}	0,14	3	5,17 ^a	0,32
Larven + 40 % Gerstenschrot + Ameisensäure				7	4,63 ^b	0,09			
Larven + 40 % Gerstenschrot + Silasil Extra				7	4,42 ^a	0,08	3	4,97 ^a	0,25
100 % Larven (Ofentrocknung)							3		

Der Einsatz von Milchsäurebakterien (MSB) konnte nur in Kombination mit vergärbaren Kohlenhydraten (Melasse, Gerstenschrot) wirksam die Gärung beeinflussen. Der Vergleich zwischen Gerstenschrotzugabe eines bestimmten Anteils mit und ohne MSB brachte keine signifikante Differenz (Tab 8.), d.h. dass die Beimpfung mit MSB die Ansäuerung nicht

verbessern konnte. Es ist anzunehmen, dass die Insektenlarven mit einem aktiven Pool an MSB ausgestattet sein müssen – wahrscheinlich im Mikrobiom des Darmtraktes – welcher in Gegenwart von vergärbarem Substrat eine Milchsäuregärung bewirkt. Die Anwendung von chemischen Konservierungsstoffen hatte nur im Fall von Ameisensäure eine Wirkung auf den pH-Wert, in Abhängigkeit von der zugesetzten Dosis (Abb. 10). Natriumnitrit konnte den pH-Wert nur im Fall einer 10-fachen Dosierung senken. Die Zugabe von 3 % Tanninen wirkte auf den pH-Wert ähnlich wie die Dosis von 0,25 % Ameisensäure.

Im Screeningversuch 2 konnte kein signifikanter Unterschied im pH-Wert der silierten losen Larven zwischen Vakuumbeutel und Einweckglas festgestellt werden. Allerdings bewirkte die Zerkleinerung der Insektenlarven im Durchschnitt einen tieferen pH-Wert (um 0,15) gegenüber lose silierten Larven im Vakuumbeutel (Abb. 12). Dieser Umstand stärkt die These, dass sich Milchsäurebakterien im Larvendarmtrakt befinden und diese durch die Zerkleinerung die Gärung positiv stimulieren. So gesehen könnte für die Larvenkonservierung mittels Gärung eine Larvenzerkleinerung vor der Silierung empfohlen werden.

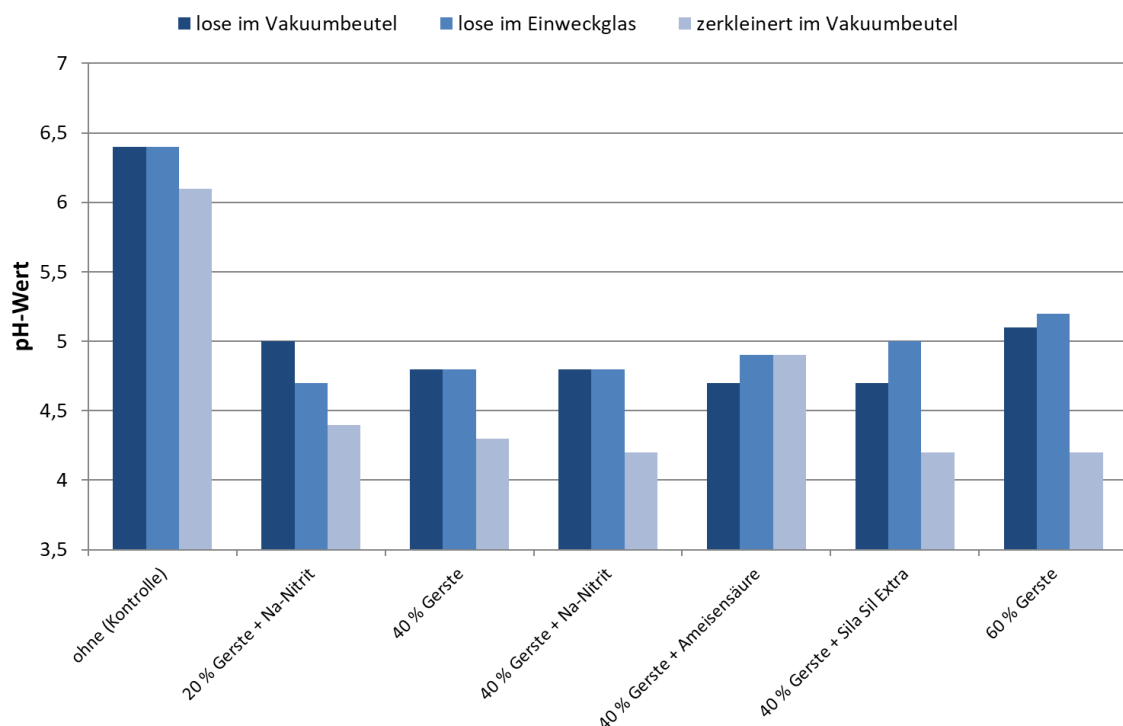


Abbildung 12: Einfluss von Larvenaufschluss und Siliersystem auf den pH-Wert von silierten Insektenlarven der Soldatenfliege

Im Exaktversuch wurde auch der pH-Verlauf der einzelnen Treatments verfolgt (Abb. 13). Dabei stellte sich heraus, dass der pH-Wert durch Zugabe von 40 % Gerstenschrot deutlich schneller und tiefer abgesenkt werden konnte als bei der Silierung von 100 % Larven. Den optimalsten Gärverlauf konnten die Varianten 40 % Gerstenschrot und der Zusatz von Milchsäurebakterien (Silasil Extra) erzielen (Abb. 13). Die Zugabe von Natriumnitrit bewirkte

eine etwas verzögerte pH-Absenkung bis zum Tag 50, danach lagen die pH-Kurven auf gleichem Niveau. In der Kontrollvariante ohne Behandlung sank der pH nur langsam auf 6,0 ab. Nach 84 Tagen Lagerung trat ein pH-Anstieg auf 7,2 auf. Dieser Anstieg könnte ein Hinweis auf eine gewisse Instabilität in der Silage sein.

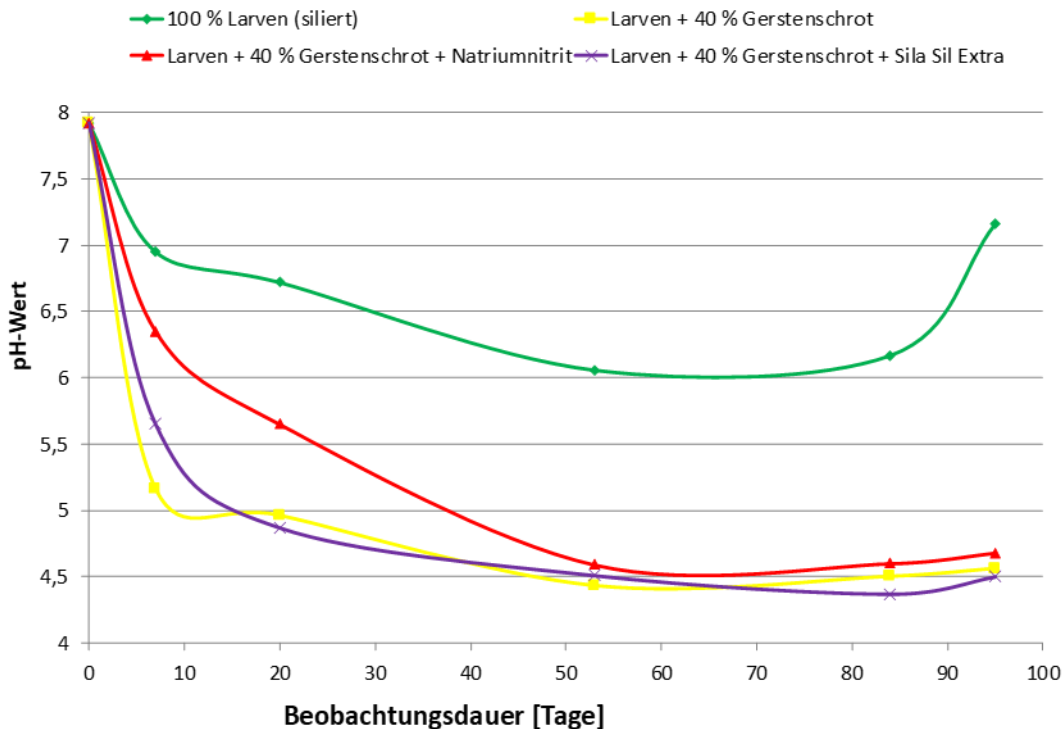


Abbildung 13: pH-Verlauf von silierten Larven der Soldatenfliege in Abhängigkeit von Silierzusätzen im Exaktversuch

Gärungsprodukte

Die Fermentation von Insektenlarven unter anaeroben Verhältnissen verursachte die Entstehung von Gärungsprodukten. Im Screeningversuch 2 und im Exaktversuch wurden diese Gärparameter analytisch erfasst. Mit Ausnahme des Ethanolgehaltes konnten jeweils signifikante Differenzen auf Basis VA bei Gärprodukten zwischen der unbehandelten Kontrolle und den übrigen Silagevarianten festgestellt werden (Abb. 14). Das Gärproduktmuster der Kontrolle mit 100 % Larven wies eine essigsäurebetonte Gärung mit geringem Milchsäureanteil und deutlicher Buttersäure- und Propionsäurebildung auf, während die Varianten mit 40 % Gerstenschrot eine gute Milchsäuregärung mit nahezu optimaler Gärsäurezusammensetzung zeigten. Der Zusatz von Natriumnitrit bewirkte eine etwas schwächere Gärung bei optimalem Gärproduktmuster.

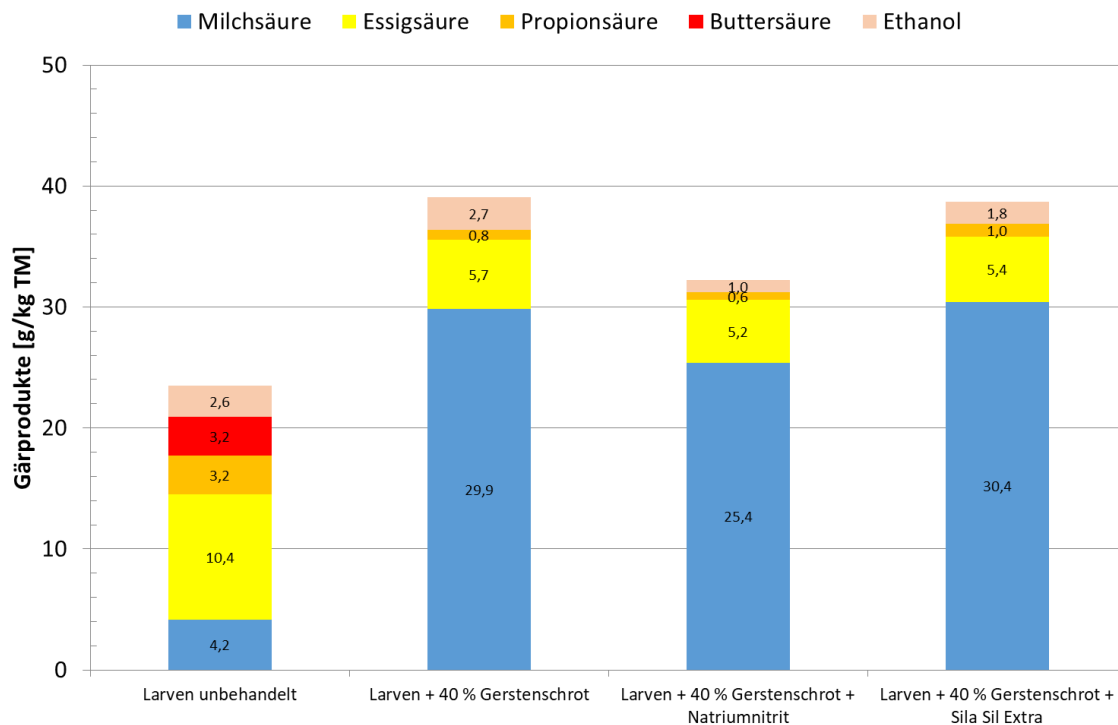


Abbildung 14: Gärprodukte bei der Silierung von Larven der Soldatenfliege in Abhängigkeit von Silierzusätzen im Exaktversuch

Im Screeningversuch 2 wurden von den Varianten keine Wiederholungsproben untersucht, daher können zu den Gärprodukten nur bedingt statistische Aussagen getroffen werden. Mit der VA konnten zwischen Siliersystem und Larvenaufschluss keine signifikanten Differenzen der Mittelwerte festgestellt werden. Dennoch war beim Milchsäuregehalt (Abb. 15) eine tendenziell höhere Produktion bei den zerkleinerten Larven im Vakuumbeutel erkennbar.

Mit der Erhöhung des Gerstenschrotanteiles von 20 % auf 60 % sank der Milchsäuregehalt um 16 g auf 27 g/kg TM. Der Ameisensäurezusatz senkte den Gehalt auf 10,8 g Milchsäure /kg TM und war damit nahezu gleich nieder als jener der Kontrolle mit 9,4 g/kg TM (Tab. 9). Die Essigsäuregehalte waren in der Kontrolle mit 10 g/kg TM am höchsten und damit gleich hoch als im Exaktversuch. In den Behandlungsvarianten wurde sehr wenig Propionsäure und keine Buttersäure gebildet. Die alkoholische Gärung lag unter 5 g/kg TM und es traten keine signifikanten Differenzen zwischen den Varianten auf. Die Zugabe von Ameisensäure bewirkte insgesamt eine signifikant reduzierte Bildung von Gärprodukten.

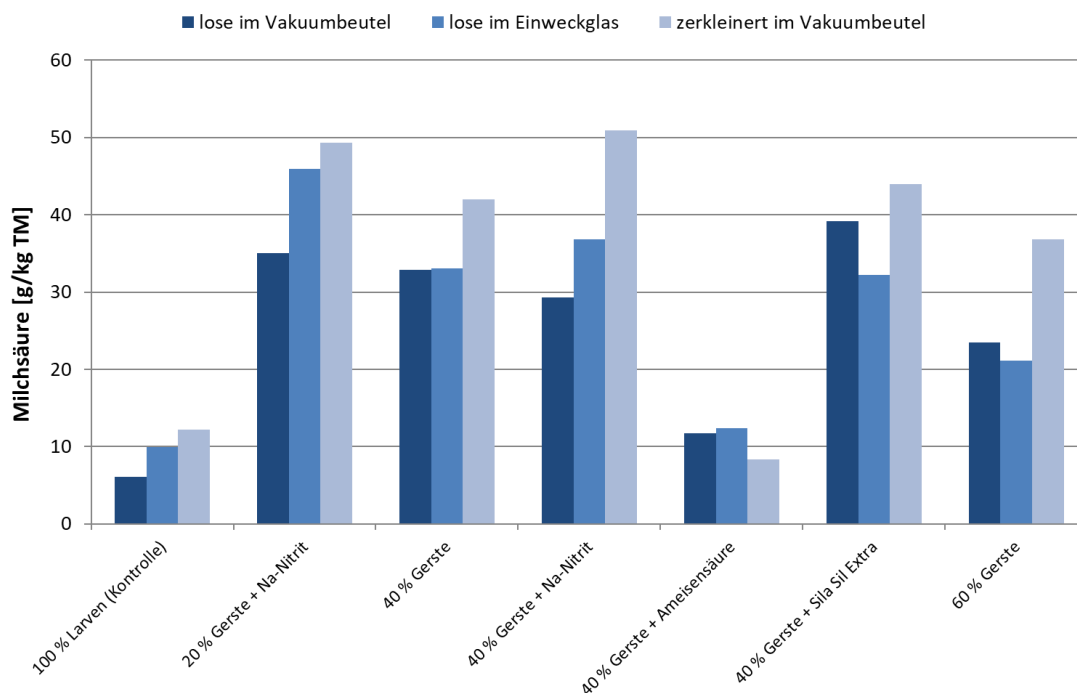


Abbildung 15: Einfluss von Larvenaufschluss und Siliersystem auf den Milchsäuregehalt von silierten Insektenlarven der Soldatenfliege

Tabelle 9: Einfluss von Silierzusätzen auf den mittleren Anteil an Gärprodukten von konservierten Soldatenfliegenlarven im Screeningversuch 2

Gärprodukte		Mittelwerte ($\bar{x}$) in g/kg TM					
Behandlung	n	Milch-säure	Essig-säure	Propion-säure	Butter-säure	Ethanol	VOC gesamt
100 % Larven (siliert)	3	9,4 ^a	10,0 ^c	1,9 ^b	0,3 ^b	1,9 ^a	21,6 ^{ab}
Larven + 40 % Gerstenschrot	3	36,0 ^b	6,4 ^{bc}	0,7 ^{ab}	0 ^a	4,2 ^a	43,2 ^{cd}
Larven + 60 % Gerstenschrot	3	27,1 ^{ab}	4,3 ^{ab}	0,5 ^a	0 ^a	2,9 ^a	31,9 ^{bc}
Larven + 20 % Gerstenschrot + Na-Nitrit	3	43,4 ^b	5,0 ^{ab}	0,8 ^{ab}	0 ^a	1,6 ^a	49,2 ^d
Larven + 40 % Gerstenschrot + Na-Nitrit	3	39,0 ^b	4,6 ^{ab}	0,5 ^a	0 ^a	1,4 ^a	44,1 ^{cd}
Larven + 40 % Gerstenschrot + Ameisensäure	3	10,8 ^a	1,7 ^a	0,3 ^a	0 ^a	3,1 ^a	12,8 ^a
Larven + 40 % Gerstenschrot + Silasil Extra	3	38,5 ^b	5,8 ^b	0,6 ^a	0 ^a	2,4 ^a	44,9 ^{cd}

Nährstoffgehalte

Die Untersuchung der Rohnährstoffe wurde im Screeningversuch 2 und im Exaktversuch durchgeführt. Die Zugabe von Gerstenschrot bewirkte in Abhängigkeit des Anteiles einen deutlich verringernden Effekt auf alle Nährstoffgehaltswerte (Tab. 10). Der hohe Stärkeanteil im Gerstenschrot war dafür verantwortlich. Bei gleichem Gerstenschrotanteil verursachte die zusätzliche Einbringung von verschiedenen Silierhilfsmitteln keine Veränderung bei den

Nährstoffgehalten. Zwischen den Siliersystemen Vakuumbeutel und Einweckglas bzw. zwischen losen und zerkleinerten Larven traten keine signifikanten Differenzen in den Nährstoffgehalten auf.

100 % silierte Larven enthielten mehr als 450 g XP/kg TM. In internationalen Untersuchungen lagen die XP-Gehalte frischer Soldatenfliegenlarven zwischen 370 und 630 g/kg TM (Arrango Gutierrez et al. 2004; Bosch et al. 2014; Makkar et al. 2014; St-Hilaire et al. 2007; Zheng et al. 2012). Der XF-Gehalt von 83-94 g/kg TM ist niedrig und ebenso im Niveau von Eiweißkraftfutter wie der Gehalt an XA von 65-77 g/kg TM. Der XL-Gehalt siliierter, nicht entfetteter Larven lag über 250 g/kg und entspricht beispielsweise nicht entfetteten Samen mancher Ölfrüchte. Nach Zheng et al. 2012 schwanken die Rohfettgehalte frischer Larven in Abhängigkeit des Nährsubstrates zwischen 70 und 390 g/kg TM.

Tabelle 10: Rohnährstoffe von silierten Insektenlarven der Soldatenfliege in Abhängigkeit von Siliersystem und Larvenaufschluss

Variante	System	Larven	XP	NH ₃	XF	XL	XA
			g/kg TM	% von N _{tot}	g/kg TM	g/kg TM	g/kg TM
100 % Larven (Kontrolle)	Einweckglas	lose	452	1,3	94	276	65
100 % Larven (Kontrolle)	Vakuumbeutel	lose	486	31,2	86	253	73
100 % Larven (Kontrolle)	Vakuumbeutel	zerkleinert	469	22,6	83	n.d.	77
20 % Gerste + Na-Nitrit	Einweckglas	lose	323	15,9	59	135	53
20 % Gerste + Na-Nitrit	Vakuumbeutel	lose	340	12,5	63	136	55
20 % Gerste + Na-Nitrit	Vakuumbeutel	zerkleinert	327	10,2	56	131	54
40 % Gerste	Einweckglas	lose	231	15,9	52	85	38
40 % Gerste	Vakuumbeutel	lose	231	2,4	50	84	38
40 % Gerste	Vakuumbeutel	zerkleinert	237	12,9	53	79	40
40 % Gerste + Ameisensäure	Einweckglas	lose	231	8,9	52	75	39
40 % Gerste + Ameisensäure	Vakuumbeutel	lose	221	8,9	50	82	38
40 % Gerste + Ameisensäure	Vakuumbeutel	zerkleinert	229	8,2	50	79	38
40 % Gerste + Na-Nitrit	Einweckglas	lose	231	12,4	51	74	41
40 % Gerste + Na-Nitrit	Vakuumbeutel	lose	223	10,4	49	78	39
40 % Gerste + Na-Nitrit	Vakuumbeutel	zerkleinert	230	8,3	47	71	42
40 % Gerste + Sila Sil Extra	Einweckglas	lose	230	13,1	50	79	42
40 % Gerste + Sila Sil Extra	Vakuumbeutel	lose	232	22,7	51	91	41
40 % Gerste + Sila Sil Extra	Vakuumbeutel	zerkleinert	231	10,8	52	79	42
60 % Gerste	Einweckglas	lose	169	10,5	51	49	32
60 % Gerste	Vakuumbeutel	lose	167	11,7	46	54	31
60 % Gerste	Vakuumbeutel	zerkleinert	174	8,7	46	50	32

Der Proteinabbau wurde über den Anteil an Ammoniak-N in der Silage quantifiziert. Der Orientierungswert für Proteinabbau sollte unter 8 % liegen (DLG, 2012). Im Screeningversuch 2 traten NH₃-Anteile von 1,3 bis 31,2 % auf. Die Messwerte schwankten teilweise innerhalb einer Variante sehr stark. Dieser Umstand führte dazu, dass keine signifikanten Differenzen festgestellt werden konnten (Tab. 10). Der Aschegehalt frischer Larven von rund 70 g/kg TM

war gegenüber den Untersuchungen von Finke (2013) bzw. Makkar et al. (2014), die 90 bis 280 g XA/kg TM fanden, deutlich geringer.

Tabelle 11: Rohnährstoffe von silierten und getrockneten Insektenlarven der Soldatenfliege im Vergleich zum unkonservierten Ausgangsmaterial

Variante	XP	NH ₃	XF	XL	XA
	g/kg TM	% von N _{tot}	g/kg TM	g/kg TM	g/kg TM
100 % Larven (Ausgangsmaterial)	499,3 ^c	-	86,3 ^b	269,7 ^b	69,7 ^c
100 % Larven (siliert)	455,0 ^b	28,3 ^b	98,7 ^c	276,7 ^b	72,0 ^c
Larven + 40 % Gerste	234,3 ^a	6,2 ^a	57,7 ^a	95,0 ^a	38,0 ^a
Larven + 40 % Gerste + Na-Nitrit	238,3 ^a	4,5 ^a	51,3 ^a	93,7 ^a	41,0 ^a
Larven + 40 % Gerste + Silasil Extra	231,3 ^a	5,7 ^a	55,0 ^a	98,0 ^a	39,3 ^a
100 % Larven (Ofentrocknung)	494,7 ^c	-	87,0 ^b	268,7 ^b	65,0 ^b

Die Ofentrocknung der Soldatenfliegenlarven hat die Nährstoffgehalte kaum verändert (Tab. 11). Hingegen hat die Silierung die Inhaltsstoffe insofern verändert, dass der Proteingehalt um 44 g/kg TM reduziert wurde und die Gehaltswerte von XF, XL und XA leicht anstiegen. Die Zugabe von 40 % Gerstenschrot halbierte den XP-Gehalt und führte auch bei den übrigen Gehaltswerten zu hoch signifikanter Verringerung. Die Fermentation bewirkte bei der Larvensilierung einen massiven Proteinabbau von 28,3 % (Anteil von N_{total}). Die Gerstenschrotzugabe reichte aus, um den Proteinabbau unter den Orientierungswert von 8 % zu senken. Die kleinen Unterschiede zwischen den Varianten ohne und mit Silierhilfsmitteln waren nicht signifikant (Tab. 11).

Aminosäuren

Im Zusammenhang mit der Fütterung von Monogastriden ist die Zusammensetzung und die Veränderung der Aminosäuren durch die Konservierung von Bedeutung. Die Aminosäuren (AS) von konservierten Insektenlarven wurden nur im Exaktversuch untersucht. Die Ofentrocknung verursachte einen Verlust von rund 10 % der AS i.d.TM. Mit Ausnahme von Glutaminsäure sanken hier sämtliche AS. Die Silierung von 100 % SSF-Larven bewirkte eine Abnahme der AS um 21 %. Die AS-Gehaltswerte von 14 AS wurden reduziert und bei 4 AS (Alanin, Isoleucin, Leucin und Trypsin) leicht erhöht (Tab. 12). Die Zugabe von 40 % Gerstenschrot zu den SSF-Insektenlarven wirkte sich sehr stark auf den AS-Gehalt aus, weil Gerstenschrot in Summe nur 95 g AS/kg TM enthielt. Durch den Verdünnungseffekt wurde der AS-Gehalt um 59 % bei allen Varianten mit 40 % Gerstenschrotzugabe gegenüber den frischen SSF-Larven auf Gehalte zwischen 166 bis 174 g/kg TM gesenkt (Tab. 12).

Tabelle 12: Aminosäuregehalte absolut in g/kg TM von frischen und konservierten Insektenlarven der Soldatenfliege in Abhängigkeit des Konservierungsverfahrens

Aminosäuren [g/kg TM]	Ausgangsmaterial		Larven siliert				Larven getrocknet
	Larven frisch	Gerstenschrot	100 % Larven siliert	40 % Gerstenschrot	40 % Gerstenschrot + Natriumnitrit	40 % Gerstenschrot + Sila Sil Extra	
Alanin (ALA)	36,1 ^{cd}	4,5 ^a	36,6 ^d	15,5 ^b	14,8 ^b	14,9 ^b	33,5 ^c
Arginin (ARG)	19,0 ^d	5,3 ^a	10,4 ^b	6,0 ^a	6,5 ^a	5,7 ^a	14,8 ^c
Asparaginsäure (ASP)	37,7 ^f	6,5 ^a	23,1 ^d	12,5 ^b	15,0 ^c	12,8 ^b	35,6 ^e
Cystein (CYS)	4,1 ^c	2,3 ^a	4,0 ^c	2,5 ^{ab}	2,6 ^{ab}	2,5 ^{ab}	3,3 ^{bc}
Glutaminsäure (GLU)	35,8 ^b	22,2 ^a	28,5 ^{ab}	21,1 ^a	23,3 ^a	22,4 ^a	36,6 ^b
Glycin (GLY)	25,6 ^d	4,3 ^a	23,2 ^c	11,3 ^b	10,7 ^b	11,0 ^b	22,6 ^c
Histidin (HIS)	13,0 ^e	2,6 ^a	8,2 ^c	4,5 ^b	4,8 ^b	4,6 ^b	10,4 ^c
Isoleucin (ISO)	19,1 ^c	3,2 ^a	20,5 ^c	8,7 ^b	8,2 ^b	8,3 ^b	18,6 ^c
Leucin (LEU)	31,6 ^e	6,8 ^a	32,0 ^d	14,6 ^b	14,2 ^b	14,5 ^b	28,9 ^c
Lysin (LYS)	28,3 ^e	3,7 ^a	16,2 ^c	8,3 ^b	9,2 ^b	8,5 ^b	23,0 ^d
Methionin (MET)	8,9 ^d	1,7 ^a	7,8 ^c	3,9 ^b	3,9 ^b	3,9 ^b	7,9 ^c
Phenylalanin (PHE)	18,9 ^d	4,5 ^a	18,1 ^d	8,9 ^b	8,9 ^b	8,8 ^b	16,3 ^c
Prolin (PRO)	27,0 ^c	10,5 ^a	18,2 ^b	14,3 ^{ab}	14,7 ^{ab}	14,3 ^{ab}	27,0 ^c
Serin	19,8 ^f	4,4 ^a	9,6 ^d	5,6 ^{ab}	8,0 ^c	6,0 ^b	17,5 ^e
Threonin (THR)	19,1 ^e	3,6 ^a	11,2 ^c	6,5 ^b	7,5 ^b	6,7 ^b	16,5 ^d
Tyrosin	23,0 ^e	3,3 ^a	15,9 ^c	6,7 ^b	7,1 ^b	6,3 ^b	19,7 ^d
Tryptophan (TRP)	7,2 ^d	1,3 ^a	5,2 ^c	3,0 ^b	3,1 ^b	3,0 ^b	5,8 ^c
Valin (VAL)	27,7 ^c	4,6 ^a	29,3 ^c	12,1 ^b	11,4 ^b	11,7 ^b	26,6 ^c
Aminosäuren gesamt	402^e	95^a	319^c	166^b	174^b	166^b	364^d

Die Darstellung der AS-Relationen zum Proteingehalt ist für die Versorgung von Monogastriden üblich. In frischen Larven nahm der AS-Anteil am Rohprotein insgesamt 80,5 % ein, d.h. rund 20 % der N-Verbindungen waren keine AS. In der Zusammensetzung der AS in den SSF-Larven reichten die Anteile von 0,8 % (Cystein) bis 7,6 % (Asparaginsäure). Gerstenschrot verfügte mit 93,2 % über einen hohen AS-Anteil im Rohprotein. Hier dominierten vor allem Glutaminsäure (21,7 %) und Prolin (10,3 %).

Die Trocknung der SSF-Larven führte bereits zu einem signifikanten Abbau der AS-Anteile (73,7 %) am Protein. Die AS-Reduktion war verhältnismäßig homogen über alle AS zu beobachten (Tab. 13). Mit der Silierung sank der AS-Anteil am Rohprotein nochmal tendenziell auf 70 bis 73 % ab. Wurden 100 % Larven siliert, stiegen manche AS-Anteile leicht an (Alanin, Cystein, Isoleucin, Leucin, Phenylalanin, Valin). Die Zugabe von 40 % Gerstenschrot bzw. Na-Nitrit oder Silasil Extra bewirkten keine bzw. teilweise signifikante Veränderungen in den AS-Anteilen am Rohprotein (Tab. 13). In den meisten Fällen waren die Differenzen dennoch gering.

Bei Lysin erreichten die frischen SSF-Larven nicht den von Barragan-Fonseca (2017) angeführten Lysingehalt des Sojaschrot von 6,4 % des XP. Gemessen an Sojaschrotvergleichswerten des LfL Bayern (2010) konnten die frischen Larven mit einem Lysingehalt von 28,3 g/kg TM nur mit den niedrigsten Gehalten von Sojaextraktionsschrot 43 mithalten (Lysin: 28,4 bis 35,2 g/kg TM). Die Lücke im Lysingehalt i.d.TM bei SSF steigt mit zunehmender Proteinkonzentration des Sojaschrots (DiGiacomo & Leury 2019). Die Trocknung und insbesondere die Silierung senkten den Lysinanteil sehr deutlich ab (Tab. 13). Während die Insektenlarven bei Methionin höhere Gehalte als Sojaschrot aufwiesen, konnten diese bei Tryptophan, Threonin und vor allem bei Cystein nicht erreicht werden. Nach Spranghersh et al. (2017) würde eine Entfettung der Larven zu einer signifikanten Erhöhung der Proteingehalte in Richtung 600 g/kg TM führen, womit auch der Gehalt an essentiellen Aminosäuren in der TM entsprechend ansteigen würde.

Tabelle 13: Aminosäuregehalte relativ in % des Rohprotein von frischen und konservierten Insektenlarven der Soldatenfliege in Abhängigkeit des Konservierungsverfahrens

Aminosäuren [% von XP]	Ausgangsmaterial		Larven siliert				Larven getrocknet
	Larven frisch	Gerstenschrot	Larven ohne Behandlung	Larven + 40 % Gerstenschrot	Larven + 40 % Gerstenschrot + Natriumnitrit	Larven + 40 % Gerstenschrot + Sila Sil Extra	
Alanin (ALA)	7,2 ^c	4,4 ^a	8,0 ^d	6,6 ^{ab}	6,2 ^b	6,4 ^b	6,8 ^{ab}
Arginin (ARG)	3,8 ^c	5,1 ^d	2,3 ^a	2,5 ^{ab}	2,7 ^{ab}	2,5 ^a	3,0 ^b
Asparaginsäure (ASP)	7,6 ^d	6,4 ^b	5,2 ^a	5,4 ^a	6,3 ^b	5,5 ^a	7,2 ^c
Cystein (CYS)	0,8 ^{ab}	2,2 ^d	0,9 ^b	1,1 ^c	1,1 ^c	1,1 ^c	0,7 ^a
Glutaminsäure (GLU)	7,2 ^{ab}	21,7 ^d	6,2 ^a	9,0 ^{bc}	9,8 ^c	9,7 ^c	7,4 ^{ab}
Glycin (GLY)	5,1 ^e	4,2 ^a	5,1 ^{de}	4,8 ^{cd}	4,5 ^b	4,8 ^{bc}	4,6 ^{bc}
Histidin (HIS)	2,6 ^c	2,6 ^{bc}	1,8 ^a	1,9 ^a	2,0 ^{ab}	2,0 ^a	2,1 ^{abc}
Isoleucin (ISO)	3,8 ^b	3,1 ^a	4,5 ^c	3,7 ^{ab}	3,4 ^{ab}	3,6 ^{ab}	3,8 ^b
Leucin (LEU)	6,3 ^{cd}	6,6 ^d	7,0 ^e	6,2 ^{bc}	6,0 ^{ab}	6,3 ^{bc}	5,8 ^a
Lysin (LYS)	5,7 ^c	3,6 ^a	3,5 ^a	3,6 ^a	3,9 ^a	3,7 ^a	4,6 ^b
Methionin (MET)	1,8 ^b	1,7 ^{ab}	1,7 ^{ab}	1,7 ^{ab}	1,6 ^{ab}	1,7 ^{ab}	1,6 ^a
Phenylalanin (PHE)	3,8 ^{bc}	4,7 ^d	4,0 ^c	3,8 ^{bc}	3,7 ^b	3,8 ^{bc}	3,3 ^a
Prolin (PRO)	5,4 ^{ab}	10,3 ^c	4,0 ^a	6,1 ^b	6,2 ^b	6,2 ^b	5,5 ^{ab}
Serin	4,0 ^d	4,3 ^d	2,1 ^a	2,4 ^{ab}	3,4 ^c	2,6 ^b	3,5 ^c
Threonin (THR)	3,8 ^d	3,5 ^{cd}	2,5 ^a	2,8 ^{ab}	3,1 ^{bc}	2,9 ^b	3,3 ^c
Tryosin	4,6 ^e	3,2 ^{bc}	3,5 ^c	2,9 ^{ab}	3,0 ^{ab}	2,7 ^a	4,0 ^d
Tryptophan (TRP)	1,4 ^b	1,3 ^{ab}	1,2 ^a	1,3 ^{ab}	1,3 ^{ab}	1,3 ^{ab}	1,2 ^a
Valin (VAL)	5,6 ^c	4,5 ^a	6,4 ^d	5,2 ^{abc}	4,8 ^{ab}	5,0 ^{abc}	5,4 ^{bc}
Aminosäuren gesamt	80,5^b	93,2^c	70,0^a	70,8^a	73,0^a	71,7^a	73,7^a

Biogene Amine

In frischen Futterpflanzen ist ein geringer Anteil von 100-200 mg/kg TM an Putrescin, Spermidin und Tyramin nachweisbar (Van Os, 1997). Nach Buchanan-Smith und Phillip (1986) ist in der Silage die Präsenz von biogenen Aminen mit geringerer Trockenmasseaufnahme der Nutztiere verbunden. Höhere Konzentrationen über 5 g/kg TM können Giftwirkungen verursachen.

Der Gehalt an biogenen Aminen von Insektenlarven der Soldatenfliege ist bis dato nicht untersucht worden. Aus dem vorliegenden Probenmaterial des Exaktversuches wurden an der Universität für Bodenkultur insgesamt 7 verschiedene Amine untersucht. Die Silierung führte teilweise zu einer massiven Erhöhung der Gehaltswerte (Tab. 14). Im unbehandelten Larven-Ausgangsmaterial lag der Gesamtgehalt an biogenen Aminen bei 11,7 g/kg TM. Zwei Drittel davon nahm Ethanolamin und ~16 % Cadaverin ein. Durch die Ofentrocknung verringerte sich der Gesamtamingehalt um 43 % auf 6,7 g/kg TM. Die Trocknung veränderte die Gehaltswerte von Ethanolamin, Putrescin und Spermidin signifikant reduzierend. Die übrigen Amine unterschieden sich gegenüber den frischen Larven nur zufällig.

Tabelle 14: Gehalt an biogenen Aminen in frischen und konservierten Insektenlarven der Soldatenfliege in Abhängigkeit vom Konservierungsverfahren

Variante	Ethanol- amin	Methyl- amin	Putrescin	Cadaverin	Tyramin	Spermidin	Spermin	Amine gesamt g/kg TM
	mg/kg TM							
100 % Larven (Ausgangsmaterial)	7736 ^d	62 ^a	1297 ^b	1831 ^a	432 ^a	321 ^b	49 ^a	11,7 ^b
100 % Larven (siliert)	1165 ^b	228 ^a	27662 ^f	43880 ^d	27942 ^c	609 ^c	237 ^b	101,7 ^e
Larven + 40 % Gerste	338 ^a	53 ^a	6092 ^d	11645 ^c	5955 ^b	144 ^a	33 ^a	24,3 ^d
Larven + 40 % Gerste + Na-Nitrit	1009 ^b	79 ^a	5245 ^c	8873 ^b	4070 ^b	109 ^a	21 ^a	19,4 ^c
Larven + 40 % Gerste + Silasil Extra	471 ^a	49 ^a	7260 ^e	13052 ^c	6190 ^b	109 ^a	13 ^a	27,1 ^d
100 % Larven (Ofentrocknung)	3254 ^c	178 ^a	171 ^a	2221 ^a	632 ^a	160 ^a	50 ^a	6,7 ^a

Durch die Larvensilierung ohne Zusatz erhöhte sich der Amingehalt um das 8,7-fache auf 101,7 g/kg TM. Durch Zugabe von 40 % Gerstenschrot verlief die Gärung erfolgreich, aber der Gehalt an biogenen Aminen nahm gegenüber den frischen Larven dennoch in Summe um das 1,7 bis 2,1-fache auf 19 bis 24 g/kg TM zu. Besonders hervorzuheben ist die starke Bildung von Cadaverin, Putrescin und Tyramin in den silierten Varianten. (Tab. 14). Die Silierzusatz-Variante mit Na-Nitrit schnitt signifikant besser ab als Silasil Extra oder Gerstenschrot ohne weitere Silierhilfsmittel. Bei Ethanolamin bewirkte die Vergärung eine signifikante Reduktion um mehr als 6.000 mg gegenüber den frischen Larven.

Inwieweit die hohen bis sehr hohen Amingehalte bei Futtervorlage zu tiergesundheitlichen Problemen führen, wird im Zusammenhang mit dem ersten Broilerversuch (DGLa1) an der HBLFA bzw. der BOKU diskutiert werden müssen.

Mikrobiologie

Die mikrobiologische Untersuchung des Ausgangsmaterials ergab bei den Larven im Durchschnitt 5,7 Mio. KBE/g FM an Bakterien, wobei 30 % Bazillen und 70 % als Gelbkeime vorlagen. An frischen Larven konnten keine Schimmelpilze und 13.000 KBE an Hefen/g FM nachgewiesen werden. Im groben Gerstenschrot war die Keimzahl an Bakterien mit 15.300 KBE/g FM sehr niedrig, Schimmelpilze und Hefen waren hier nicht nachweisbar. In konservierten Insektenlarven konnten ebenfalls keine Schimmelpilze und Hefen nachgewiesen werden. Die Bakterienkeimzahlen lagen zwischen 5 bis 15 Mio. KBE/g FM. Die Varianten unterschieden sich nicht signifikant (Tab. 15). Die Silierung bewirkte bei den Bakterien eine Aufteilung von ca. 50 % Bazillen und 50 % Gelbkeimen. Bei Ofentrocknung verschob sich das Verhältnis auf 80 % Bazillen und 20 % Gelbkeime.

Tabelle 15: Mikrobiologische Befundung von frischen und konservierten Insektenlarven der Soldatenfliege in Abhängigkeit des Konservierungsverfahrens.

Variante	Schimmel-		
	Bakterien	pilze	Hefen
	KBE ^{log} /g FM		
100 % Larven (Ausgangsmaterial)	6,8 ^a	n.n.	4
100 % Larven (siliert)	7,0 ^a	n.n.	n.n.
Larven + 40 % Gerste	6,9 ^a	n.n.	n.n.
Larven + 40 % Gerste + Na-Nitrit	6,8 ^a	n.n.	n.n.
Larven + 40 % Gerste + Silasil Extra	6,8 ^a	n.n.	n.n.
100 % Larven (Ofentrocknung)	7,2 ^a	n.n.	n.n.

Die VDLUFA-Orientierungswerte (VDLUFA, 2007b) betragen bei Grundfutterkonserven für produkttypische Bakterien wie Gelbkeime (Keimgruppe 1) weniger als 30 Mio. KBE/g FM und für verderbanzeigende Bakterien wie Bazillen (Keimgruppe 2) weniger als 2 Mio. KBE/g FM. Sämtliche konservierten Larvenvarianten enthielten im Durchschnitt mehr als 2 Mio. Bazillen/g FM, d.h. der Orientierungswert wurde durch Silierung und Ofentrocknung generell überschritten. 100 % silierte Larven wiesen bei Bazillen eine 4,9-fache und mit 40 % Gerstenschrot versetzte silierte Larven im Schnitt eine 3,3-fache Überschreitung auf. Bei Ofentrocknung betrug die Überschreitung das 7-fache des Orientierungswertes. Wie diese

Situation hinsichtlich Futtermittelhygieneverordnung (EG) Nr. 183/2005 für dieses neuartige Futtermittel beim Einsatz für Fische, Geflügel und Schweine einzustufen ist, müsste geklärt werden.

Haltbarkeitstest – aerobe Stabilität

Im Exaktversuch wurde nach der Siloöffnung die Haltbarkeit der Larvensilagen sowie der getrockneten Variante bei Raumtemperatur (Mittelwert 25,1 °C; Min. 23,8 °C; Max. 25,8 °C) und ständiger Luftzufuhr getestet. In der Testdauer von 9 Tagen wurde die Raumtemperatur von keiner Behandlungsvariante überstiegen (Abb. 16). Nach DLG (2012) zeigt ein Temperaturanstieg in Futtermitteln von +3 °C gegenüber der Raumtemperatur den Beginn des Futterverderbs an. Somit können alle getesteten Varianten als haltbar mit guter aerober Stabilität eingestuft werden.

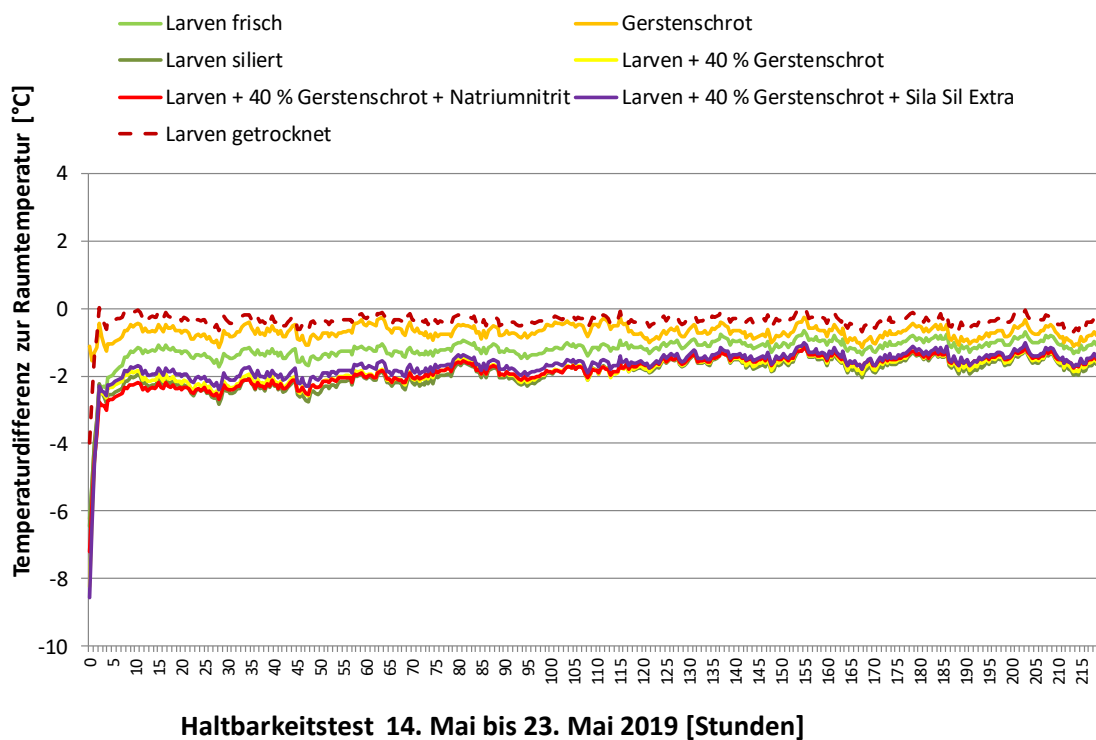


Abbildung 16: Temperaturverlauf von geöffneten Larvensilagen unter Luftstress im Haltbarkeitstest

Arbeitspaket 34.2.3 Broilermast und Emissionsmessung

Nachstehend werden – entsprechend dem Projektfokus – die Ergebnisse der Ammoniak- und Geruchsstoffkonzentrationsmessungen in der Abluft (inklusive Berechnung der Emissionsfaktoren), die Stallklima-Parameter (Lufttemperatur und -feuchte) sowie die Leistungsdaten aus den drei Versuchsdurchgängen dargelegt. Die zusätzlich durchgeführten Messungen zu Kohlendioxid in der Abluft sowie die laborchemischen Analysen der eingesetzten Futtermittel und der Kotproben finden sich im Anhang.

Bei den numerischen Detailauswertungen der Ammoniak-Messungen aus der Ablufteinheit wurde die Hintergrundkonzentration des Versuchsstandortes Gumpenstein in Abzug gebracht; diese „Basis-NH₃-Konzentration“ ist in den Diagrammen in grauer Farbe dargestellt.

DGLa1 – Larve I

Temperatur und Luftfeuchte – DGLa1

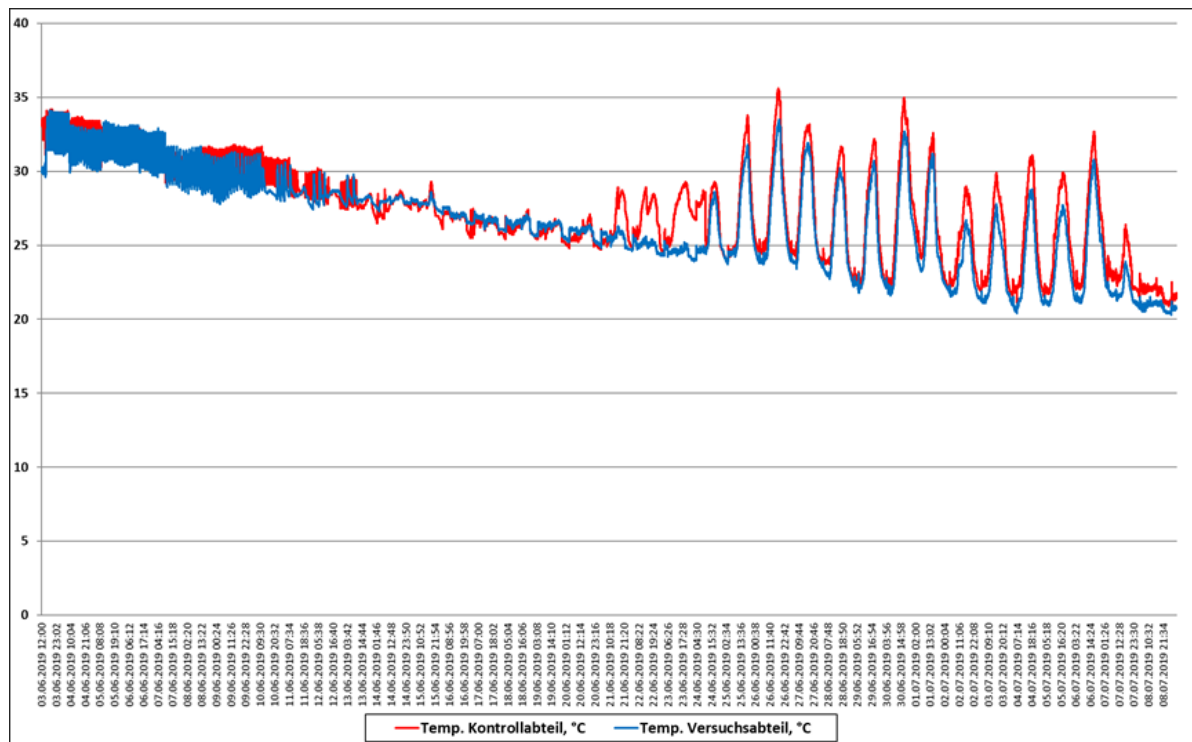


Abbildung 17: Temperaturverlauf im Versuchs- und Kontrollabteil, DGLa1

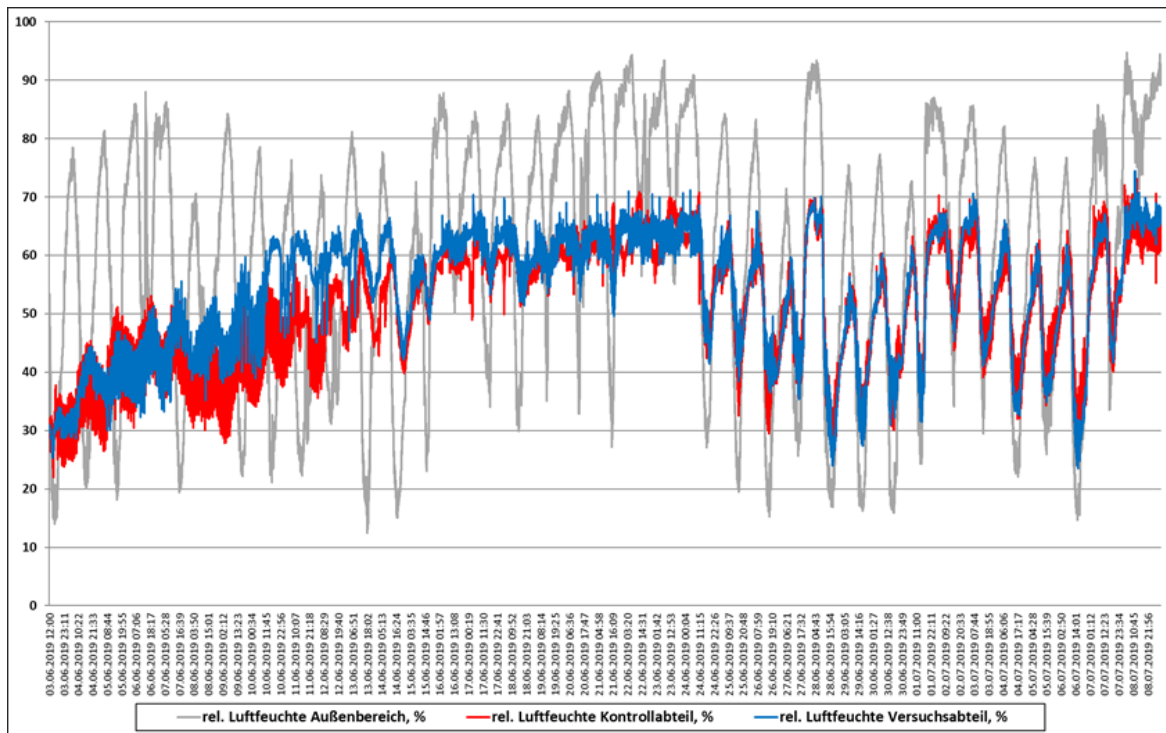


Abbildung 18: Luftfeuchte im Versuchs- und Kontrollabteil sowie im Außenbereich, DGLa1

Ammoniak – DGLa1

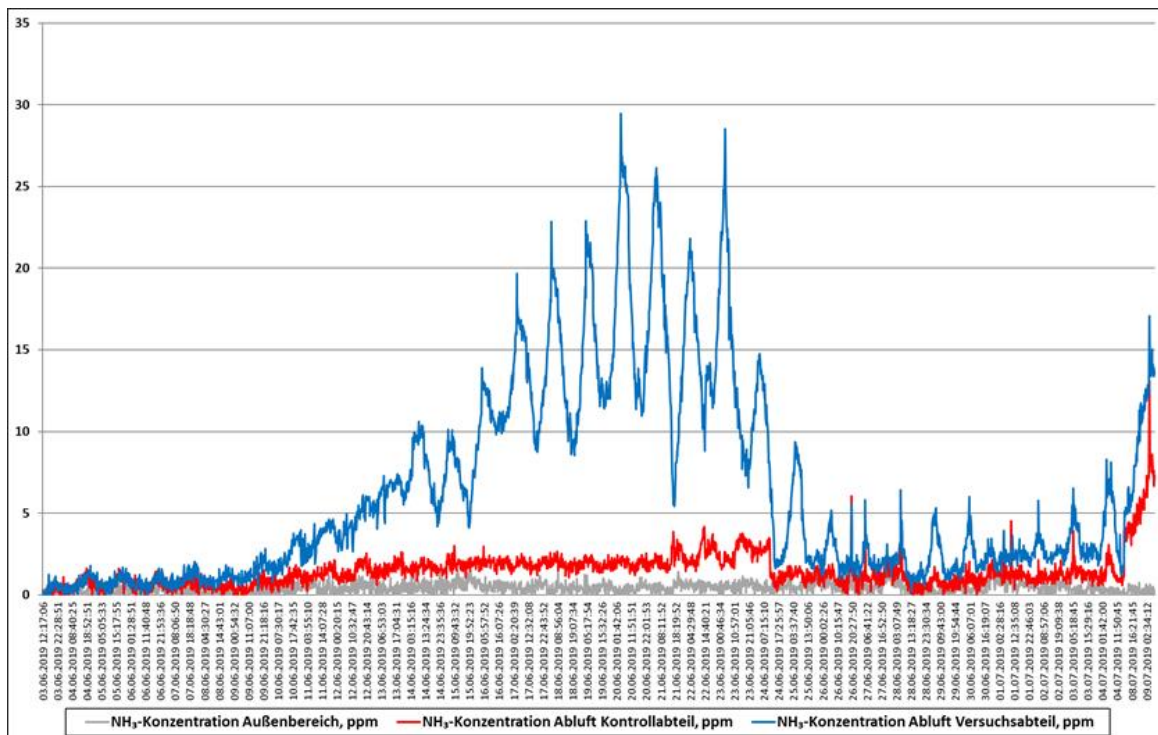


Abbildung 19: Verlauf der Ammoniakkonzentration in der Abluft des Versuchs- und des Kontrollabteils sowie im Außenbereich, DGLa1

Tabelle 16: Ammoniakkonzentrationen in der Abluft, Versuchs- und Kontrollabteil (die Außenbereichskonzentration wurde abgezogen), DGLa1

Versuchsabschnitt	VERSUCH NH ₃ in ppm	KONTROLLE NH ₃ in ppm
(1) 03.06.-12.06.2019	1,4	0,6
(2) 13.06.-19.06.2019	10,2	1,3
(3) 20.06.-26.06.2019	10,6	1,4
(4) 27.06.-03.07.2019	1,9	0,7
(5) 04.07.-09.07.2019	7,0	3,5
MW Gesamt DGLa1	5,7	1,1

Tabelle 17: NH₃-Emissionen pro kg Zunahme pro Tier (durchschnittlicher Gewichtszuwachs von 1.700g), pro Jahr und Tierplatz (7 Umtriebe), Versuchs- und Kontrollabteil, DGLa1

	VERSUCH	KONTROLLE
NH ₃ Emissionen g/kg Zunahme	11,0	1,3
NH ₃ Emissionen g/Tier 1600-2000g	18,6	2,2
NH ₃ Emissionen kg/Tierplatz/Jahr	0,130	0,015

Olfaktometrie – DGLa1

Die Ermittlung der Geruchsstoffkonzentrationen – aus den Abluftkaminen des Versuchs- und des Kontrollabteils – im Durchgang DGLa1 erfolgten am 12.06. (Masttag 9), 19.06. (Masttag 16), am 26.06. (Masttag 26) und am 03.07.2019 (Masttag 30).

Tabelle 18: Geruchsstoffkonzentration in der Abluft des Versuchs- und Kontrollabteils, DGLa1

Messtag	VERSUCH GE/m ³	VERSUCH dB _{od}	KONTROLLE GE/m ³	KONTROLLE dB _{od}
12.06.2019	594	27,7	145	21,6
19.06.2019	887	29,5	598	27,8
26.06.2019	726	28,6	278	24,4
03.07.2019	522	27,2	104	20,1
MW Gesamt DGLa1	682	28,3	281	24,5

Tabelle 19: Geruchsemissionen des Versuchs- und Kontrollabteils, DGLa1

	VERSUCH	KONTROLLE
Emissionen Periode 1, GE/s*GVE	52	26
Emissionen Periode 2, GE/s*GVE	93	98
Emissionen Periode 3, GE/s*GVE	485	141
Emissionen Periode 4, GE/s*GVE	1003	163
MW GE/s*GVE	520	193

Leistungsdaten – DGLa1

Tabelle 20: Leistungsdaten der Tiere, Versuchsabteil DGLa1

	OST VERSUCH	
	Bucht 1	Bucht 2
MW tägl. Zunahme, in g	40,9	32,3
Futtermverwertung	1,46	1,84
Mittleres Schlachtgewicht in g, pro Tier	1508	1200

Tabelle 21: Leistungsdaten der Tiere, Kontrollabteil DGLa1

	WEST KONTROLLE	
	Bucht 3	Bucht 4
MW tägl. Zunahme, in g	54,0	54,0
Futtermverwertung	1,54	1,53
Mittleres Schlachtgewicht in g, pro Tier	1980	1980

DGLa2 – Larve II

Temperatur und Luftfeuchte – DGLa2

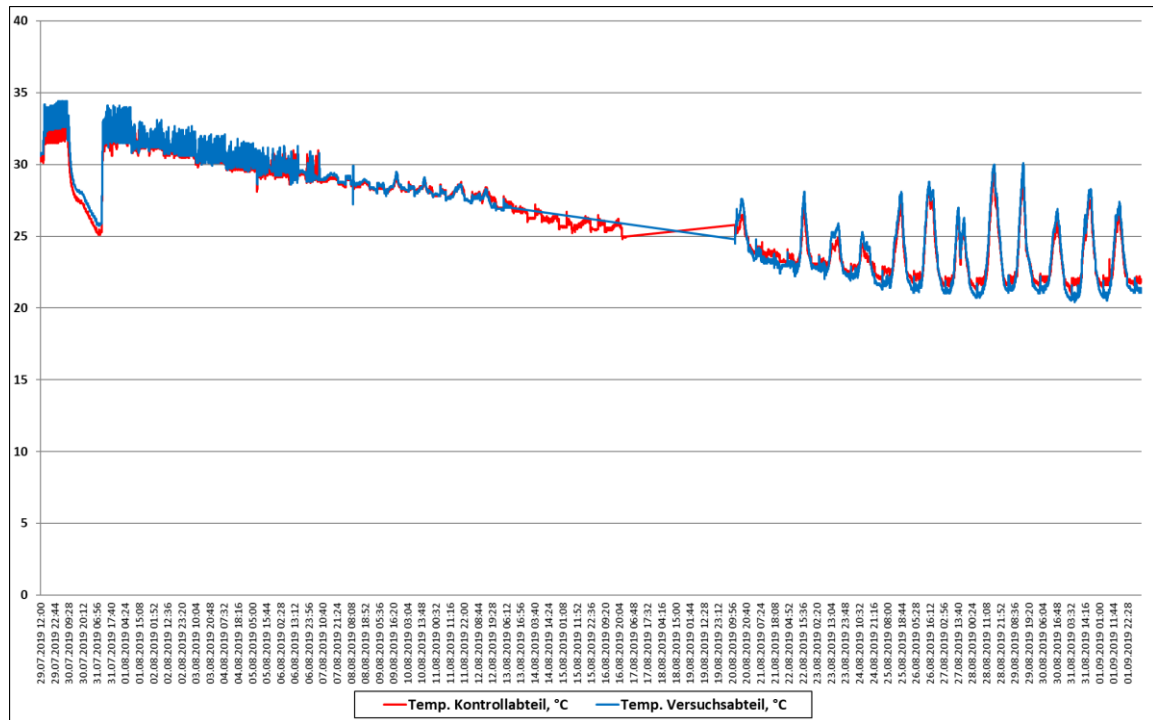


Abbildung 20: Temperaturverlauf im Versuchs- und Kontrollabteil, DGLa2

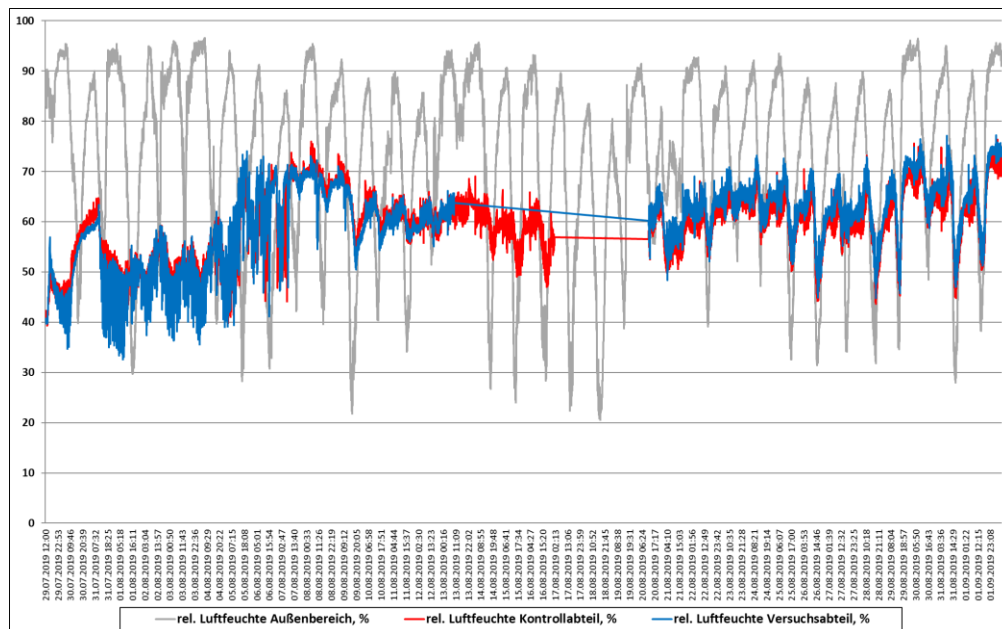


Abbildung 21: Luftfeuchte im Versuchs- und Kontrollabteil sowie im Außenbereich, DGLa2

Ammoniak – DGLa2

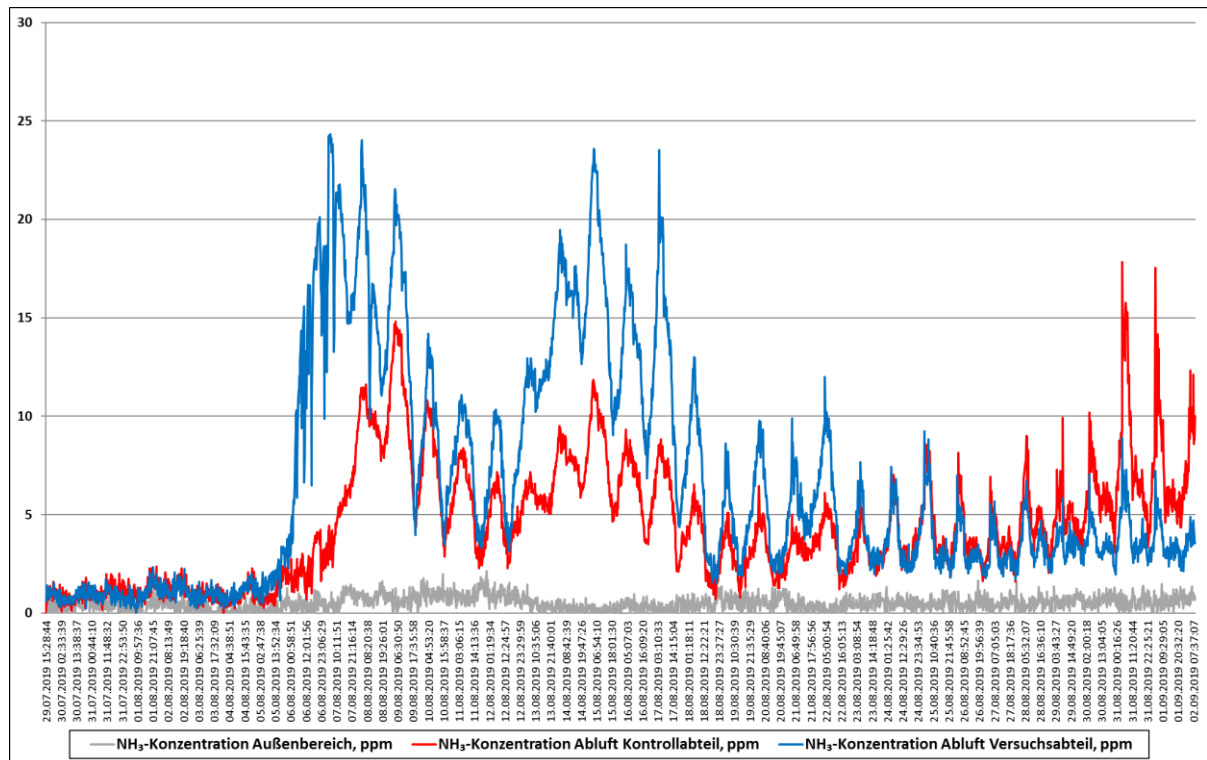


Abbildung 22: Verlauf der Ammoniakkonzentration in der Abluft des Versuchs- und des Kontrollabteils sowie im Außenbereich, DGLa2

Tabelle 22: Ammoniakkonzentrationen in der Abluft, Versuchs- und Kontrollabteil (die Außenbereichskonzentration wurde abgezogen), DGLa2

Versuchsabschnitt	VERSUCH NH ₃ in ppm	KONTROLLE NH ₃ in ppm
(1) 29.07.-08.08.2019	5,0	2,0
(2) 09.08.-14.08.2019	10,2	6,2
(3) 15.08.-22.08.2019	8,0	4,1
(4) 23.08.-30.08.2019	3,0	3,8
(5) 31.08.-02.09.2019	3,2	7,2
MW Gesamt DGLa2	6,0	4,0

Tabelle 23: NH₃-Emissionen pro kg Zunahme pro Tier (durchschnittlicher Gewichtszuwachs von 1.700g), pro Jahr und Tierplatz (7 Umtriebe), Versuchs- und Kontrollabteil, DGLa2

	VERSUCH	KONTROLLE
NH ₃ Emissionen g/kg Zunahme	6,2	4,2
NH ₃ Emissionen g/Tier 1600-2000g	10,5	7,1
NH ₃ Emissionen kg/Tierplatz/Jahr	0,074	0,049

Olfaktometrie – DGLa2

Im Versuchsdurchgang DGLa2 fanden die Analysen der Geruchsproben aus den Abluftkaminen des Versuchs- und Kontrollabteils an folgenden Tagen statt: 08.08. (Masttag 10), 14.08. (Masttag 16), 22.08. (Masttag 24) und 30.08.2019 (Masttag 32).

Tabelle 24: Geruchsstoffkonzentration in der Abluft des Versuchs- und Kontrollabteils, DGLa2

Messtag	VERSUCH GE/m ³	VERSUCH dB _{od}	KONTROLLE GE/m ³	KONTROLLE dB _{od}
08.08.2019	557	27,5	680	28,4
14.08.2019	343	25,4	325	25,1
22.08.2019	281	24,5	181	22,6
30.08.2019	246	23,9	169	22,3
MW Gesamt DGLa2	357	25,5	339	25,3

Leistungsdaten – DGLa2

Tabelle 25: Leistungsdaten der Tiere, Versuchsabteil DGLa2

	WEST Versuch	
	Bucht 3	Bucht 4
MW tägl. Zunahme, in g	49,6	48,9
Futtermverwertung	1,55	1,53
Mittleres Schlachtgewicht in g, pro Tier	1775	1750

Tabelle 26: Leistungsdaten der Tiere, Versuchsabteil DGLa2

	OST Kontrolle	
	Bucht 1	Bucht 2
MW tägl. Zunahme, in g	59,9	58,9
Futtermverwertung	1,47	1,48
Mittleres Schlachtgewicht in g, pro Tier	2133	2100

DGLa3 – Larve III

Temperatur und Luftfeuchte – DGLa3

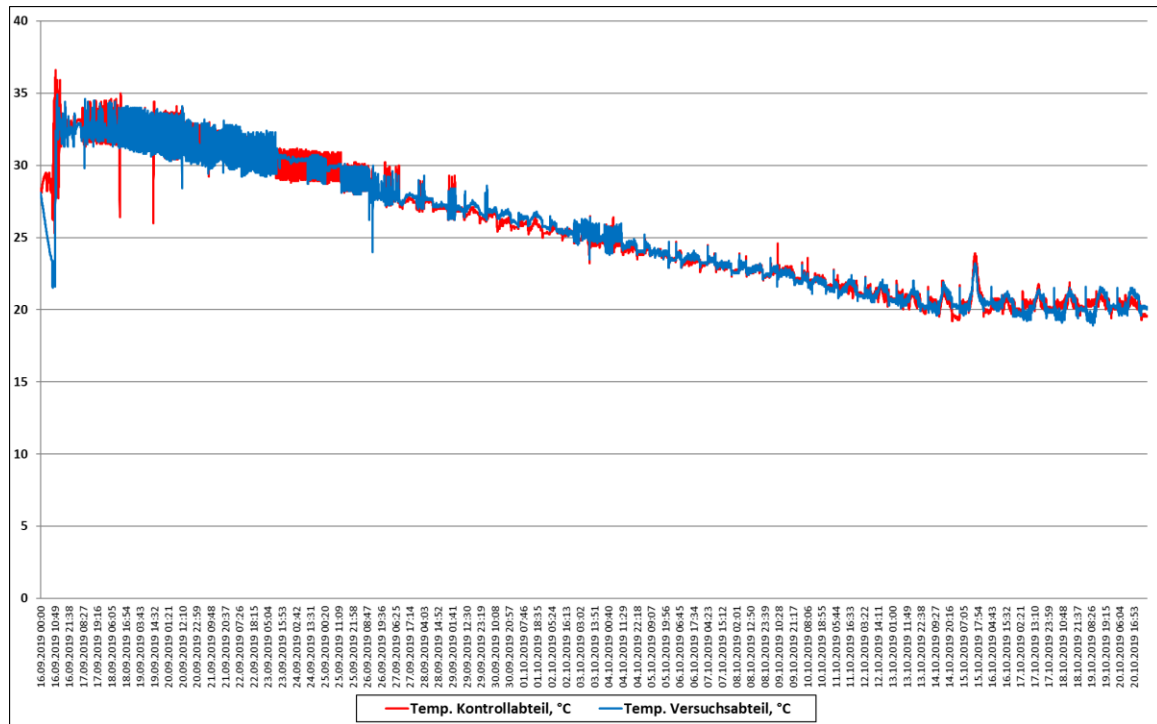


Abbildung 23: Temperaturverlauf im Versuchs- und Kontrollabteil, DGLa3

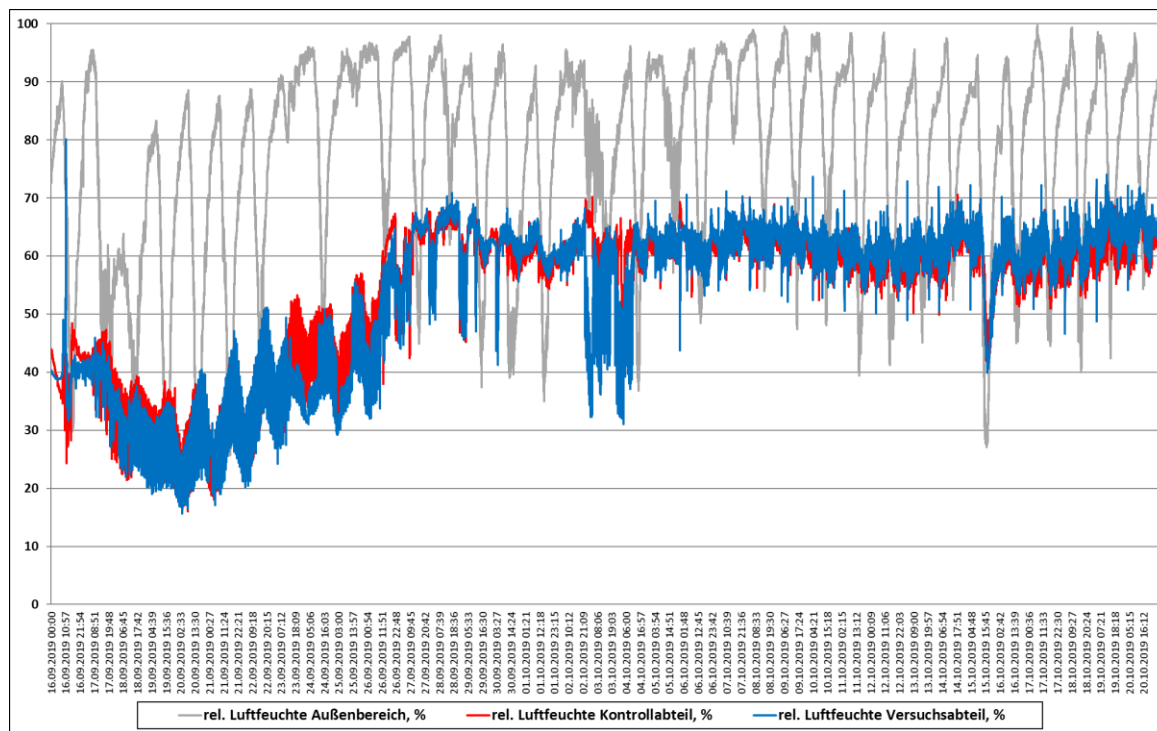


Abbildung 24: Luftfeuchte im Versuchs- und Kontrollabteil sowie im Außenbereich, DGLa3

Ammoniak – DGLa3

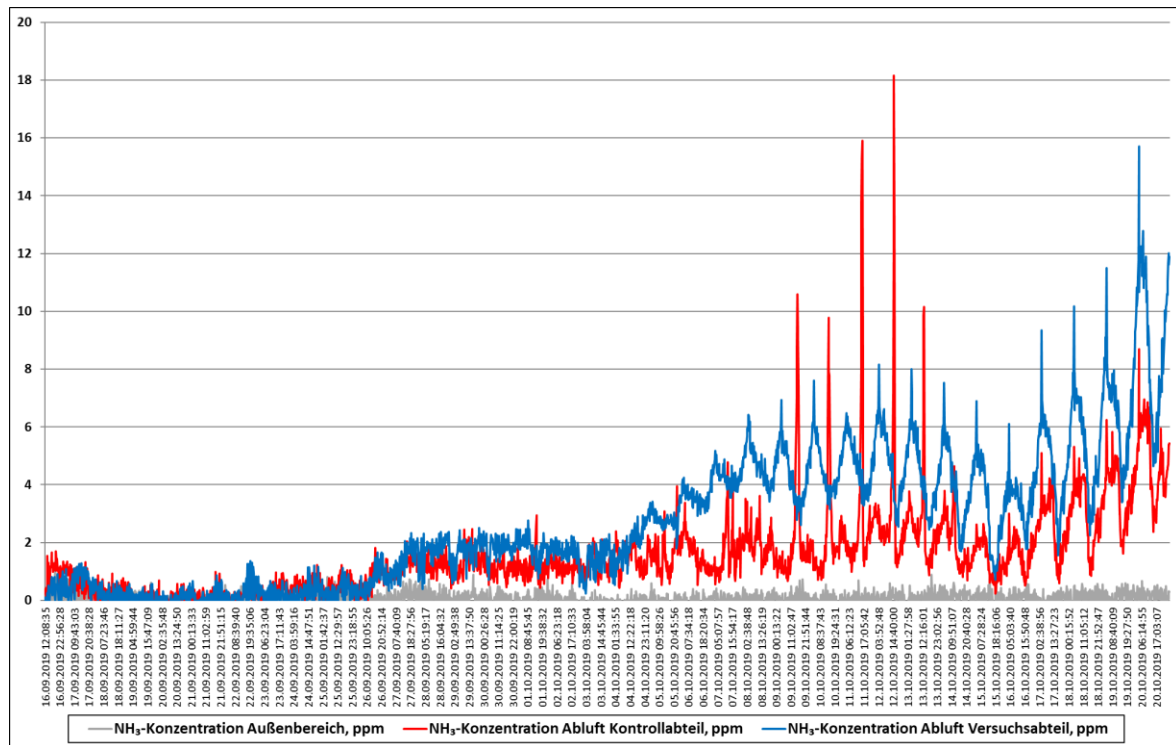


Abbildung 25: Verlauf der Ammoniakkonzentration in der Abluft des Versuchs- und des Kontrollabteils sowie im Außenbereich, DGLa3

Tabelle 27: Ammoniakkonzentrationen in der Abluft, Versuchs- und Kontrollabteil (die Außenbereichskonzentration wurde abgezogen), DGLa3

Versuchsabschnitt	VERSUCH NH ₃ in ppm	KONTROLLE NH ₃ in ppm
(1) 16.09.-26.09.2019	0,3	0,3
(2) 27.09.-03.10.2019	1,5	1,1
(3) 04.10.-10.10.2019	3,7	1,7
(4) 11.10.-17.10.2019	4,1	2,2
(5) 18.10.-21.10.2019	6,8	3,7
MW Gesamt DGLa3	2,6	1,4

Tabelle 28: NH₃-Emissionen pro kg Zunahme pro Tier (durchschnittlicher Gewichtszuwachs von 1.700g), pro Jahr und Tierplatz (7 Umtriebe), Versuchs- und Kontrollabteil, DGLa3

	VERSUCH	KONTROLLE
NH ₃ Emissionen g/kg Zunahme	0,67	0,33
NH ₃ Emissionen g/Tier 1600-2000g	1,14	0,57
NH ₃ Emissionen kg/Tierplatz/Jahr	0,008	0,004

Tabelle 29: Geruchsstoffkonzentration in der Abluft des Versuchs- und Kontrollabteils, DGLa3

Messtag	VERSUCH GE/m ³	VERSUCH dB _{od}	KONTROLLE GE/m ³	KONTROLLE dB _{od}
26.09.2019	627	28,0	208	23,2
03.10.2019	559	27,5	675	28,3
10.10.2019	1255	31,0	1328	31,2
17.10.2019	995	30,0	477	26,8
MW Gesamt DGLa3	859	29,3	672	28,3

Tabelle 30: Geruchsemissionen des Versuchs- und Kontrollabteils, DGLa3

	VERSUCH	KONTROLLE
Emissionen Periode 1, GE/s*GVE	71	18
Emissionen Periode 2, GE/s*GVE	55	58
Emissionen Periode 3, GE/s*GVE	151	138
Emissionen Periode 4, GE/s*GVE	159	85
MW GE/s*GVE	117	87

Leistungsdaten – DGLa3

Tabelle 31: Leistungsdaten der Tiere aus dem Versuchsabteil, DGLa3

	OST Versuch	
	Bucht 1	Bucht 2
MW tägl. Zunahme, in g	47,0	48,9
Futtermverwertung	1,52	1,42
Mittleres Schlachtgewicht, pro Tier	1682	1747

Tabelle 32: Leistungsdaten der Tiere aus dem Kontrollabteil, DGLa3

	WEST Kontrolle	
	Bucht 3	Bucht 4
MW tägl. Zunahme, in g	50,4	51,1
Futtermverwertung	1,49	1,47
Mittleres Schlachtgewicht, pro Tier	1801	1825

Auswertung der Versuche DGLa1 bis DGLa3 – Larve I bis III

Der gegenständliche Projektfokus richtet sich auf die potentiellen Auswirkungen des eingesetzten Larvenmehl-Versuchs-Futtermittels auf das Stallklima (Lufttemperatur und Luftfeuchte), auf die Ammoniakemissionen, auf die Geruchsstoffkonzentrationen sowie auf die biologischen Parameter (tägliche Zunahme, Futtermittelverwertung und Mastendgewicht). In zwei Versuchsabteilungen wurden jeweils das Versuchsfutter (Teilaustausch des Sojaproteins durch Larveneiweiß) mit einem gängigen Praxisfutter verglichen. Untenstehend erfolgt die abschließende Zusammenschau der Mastdurchgänge zwei und drei, die mit einem Larvenmehlanteil im Futter von rd. 35 – 40 %, im Austausch gegen Sojaproteine, durchgeführt wurden. Die – zusätzlich bei jedem Mastdurchgang – erhobenen CO₂-Emissionen, sowie die Analysen der eingesetzten Futtermittel und der Kotproben, werden im Anhang gelistet.

Auf Grund einer höheren Larvenmehlkonzentration im dreiphasigen Versuchsfutter in Mastdurchgang eins (75 % des Sojaproteins wurden durch Larveneiweiß substituiert) ist dieser nicht direkt mit DGLa2 und DGLa3 vergleichbar. Klar gilt jedoch festzuhalten, dass ein derart hoher Anteil an Larvenprotein, das Verdauungssystem der Tiere augenscheinlich massiv überfordert (siehe Abbildungen 38 im Anhang). Damit einhergehend zeigten sich negative Auswirkungen hinsichtlich der Tiergesundheit, eine verminderte Mastleistung sowie eine auffällig wässrige Konsistenz des Kotes, die einen merklichen Anstieg der Ammoniak- und Geruchsemissionen zur Folge hatten. Mit dem ermittelten Ammoniak-Emissionsfaktor von 0,130 kg/Tierplatz/Jahr und einem Geruchs-Emissionsfaktor von 520 GE/s*GVE liegt die Versuchsgruppe weit über den Werten aus der Literatur. Die Deutsche TA-Luft führt bspw. einen Ammoniak-Emissionsfaktor von 0,0486 kg/Tierplatz/Jahr an; der Bericht Nr. LU-06-2018 des Amtes der Stmk. Landeregierung weist für Mastgeflügel, bei dreiphasiger Fütterung, einen Geruchs-Emissionswert von 160 GE/s*GVE aus. Die mit 36 Tieren hohe Zahl an Ausfällen sowie die äußerst geringen Schlachtgewichte, von im Mittel rd. 1400 g, nach 36 tägiger Mast, zeigen zusätzlich, welche unphysiologische Belastung ein hoher Larvenproteinanteil (hier 75 %), für Tiere der Rasse Ross darstellt.

Temperatur und Luftfeuchte

Die Temperaturkurven der Versuchs- und Kontrollabteilungen während der Mastdurchgänge DGLa2 und DGLa3 zeigen gute Übereinstimmung. Auch der Verlauf der relativen Luftfeuchte in den beiden Abteilungen ist weitestgehend kongruent; auf Unterschiede wurde regeltechnisch mit einer Anpassung der Lüftraten reagiert. Im Verlauf der Versuchsdurchgänge wurden so vergleichbare Bedingungen für die Versuchs- und Kontrollgruppen sichergestellt.

Ammoniak

Wie in der Methodik erläutert, erfolgt die Ausweisung der Ammoniakemissionen als Mittelwert, getrennt in vier bis fünf Abschnitte je Mastdurchgang, sowie als Gesamtdurchschnittswert.

Tabelle 33: Mittelwerte der Ammoniakemissionen je Messabschnitt in der Abluft der Versuchs- und Kontrollabteile plus Gesamtdurchschnittsbetrachtung über beide Versuchsdurchgänge

	Abschnitt 1 NH ₃ /ppm	Abschnitt 2 NH ₃ /ppm	Abschnitt 3 NH ₃ /ppm	Abschnitt 4 NH ₃ /ppm	Abschnitt 5 NH ₃ /ppm	MW NH ₃ /ppm
Kontrolle	1,2	3,7	2,9	3,0	5,5	2,7
Larvenmehl	2,7	5,9	5,9	3,6	5,0	4,3

Die Kontrollgruppe wies in sämtlichen Messabschnitten geringere Ammoniakemissionen auf, als die Versuchsgruppe mit rd. 35 – 40 %, durch Larvenmehl, substituiertem Sojaweiß; die Gesamtdurchschnittsbetrachtung wies in den Kontrollabteilen, im Mittel, eine um 1,6 ppm geringere Ammoniakkonzentration im Vergleich zu den Versuchsgruppen aus.

Tabelle 34: Ammoniakemissionen pro kg Zunahme pro Tier (normiert auf einen durchschnittlichen Gewichtszuwachs von 1.700 g je Mastdurchgang), pro Jahr (7 Umtriebe) und Mastplatz, Versuchs- und Kontrollabteile

	Versuch NH ₃ -Emissionen kg/Tierplatz/Jahr	Kontrolle NH ₃ -Emissionen kg/Tierplatz/Jahr
DGLa2	0,074	0,049
DGLa3	0,008	0,004
Gesamt MW	0,041	0,027

Bezieht man die mittleren Abluftvolumenströme (Luftraten) der jeweiligen Mastversuchsreihe in die Emissionsbetrachtung mit ein, ergeben sich die Emissionsfaktoren aus Tabelle 34 (NH₃-Emissionen in kg/Tierplatz/Jahr); dargelegt als Mittelwerte je Durchgang und als Durchschnitt über die beiden Mastdurchgänge für die Versuchs- und Kontrollgruppe. Bei dieser, auf ein Kalenderjahr bezogenen, Betrachtung bestätigen sich die geringeren Ammoniakemissionen (aus Tabelle 33) in den Kontrollgruppen; das mittlere Emissionsniveau mit 27g NH₃/Tierplatz/Jahr liegt um 14 g unter jenem der Versuchsgruppen. Dies entspricht einer um rd. 50 % verminderten Emissionsfracht.

Olfaktometrie

Die Auswertung der Geruchsstoffkonzentrationen in den Abluftkaminen wurde je Mastdurchgang vier Mal durchgeführt (1x pro Woche, ab Mastwoche 2). Die Mittelwerte aus diesen Abschnitten (1 – 4), sowie der Mittelwert über die gesamten Versuchs- und Kontrolldurchgänge, sind in Tabelle 35 dargelegt. Im Gesamtdurchschnitt zeigten sich geringere Geruchsemissionen in den Kontrollgruppen.

Tabelle 35: Auswertung der Geruchsemissionen je Messabschnitt in der Abluft der Versuchs- und Kontrollabteile plus Gesamtdurchschnittsbetrachtung über beide Versuchsdurchgänge

	Abschnitt 1	Abschnitt 2	Abschnitt 3	Abschnitt 4	MW
	Geruch GE/m ³	Geruch GE/m ³	Geruch GE/m ³	Geruch GE/m ³	Geruch GE/m ³
Kontrolle	444	500	755	323	506
Larvenmehl	592	451	768	621	608

Auf Basis der Ermittlung der Geruchsstoffkonzentrationen (Olfaktometrie), unter Miteinbeziehung der Abluftvolumenströme, ermitteln sich die Geruchsemissionsfaktoren die in Tabelle 36 ausgewiesen sind; diese bilden die Basis von Geruchsausbreitungsberechnungen und sind ein direktes Maß für die Höhe der Geruchsemissionen, die in die Stallumgebung abgegeben werden. Über die beiden Mastdurchgänge zeigten die Versuchs- und Kontrollgruppen beinahe idente Emissionsfrachten. Die Werte in Tabelle 35 repräsentieren hingegen die Emissionsbelastung in den Stallungen bzw. Abluftkaminen und sind auf Seiten der Kontrollabteile, im Mittel, um rd. 100 GE/m³ niedriger.

Tabelle 36: Geruchsemissionsfaktoren der einzelnen Mastdurchgänge in den Versuchs- und Kontrollabteilen sowie Durchschnittsbetrachtung über beide Versuchsdurchgänge

Mastversuch	Versuch GE/s*GVE	Kontrolle GE/s*GVE
DGLa2	197	230
DGLa3	117	87
Gesamt MW	157	159

Leistungsdaten

Die Leistungsdaten der Versuchsdurchgänge DGLa2 und DGLa3 werden nachfolgend einer Gesamtbetrachtung unterzogen:

Hinsichtlich der biologischen Parameter zeigt sich in den Kontrollgruppen (im Mittel) eine deutlich bessere Mastleistung bei den täglichen Zunahmen und dem resultierenden Schlachtgewicht.

Tabelle 37: Leistungsdaten der Tiere aus den Versuchs- und Kontrollabteilen im Mittel über die zwei abgehaltenen Mastdurchgänge

	tägl. Zunahmen (g)	Futtermittelverwertung	Schlachtgewicht (g)
Kontrolle	55	1,5	1965
Larvenmehl	49	1,5	1739

Diskussion der Ergebnisse aus Broilermast und Emissionsmessung

Der ursprüngliche Ansatz mit 75 %iger Substitution des Sojaproteins durch Larvenmehl (Mastdurchgang DGLa1) scheiterte auf Grund negativer Auswirkungen auf Tiergesundheit, biologische Mastparameter und Emissionen. Der hohe Anteil an Insektenprotein in den Futterrationen erscheint unphysiologisch für Masthühner der Rasse Ross.

Der – in den Mastdurchgängen zwei und drei – gewählte, veränderte Versuchsansatz, mit „Verdünnung“ des ursprünglich hohen Larvenmehlanteils auf rd. 35 – 40% (im Austausch gegen Soja), führte zu einer deutlichen Verbesserung der Tiergesundheit. Die Anzahl an Ausfällen in den Versuchsgruppen sank auf das Niveau der Kontrollgruppen, die Ausscheidungen der Tiere wiesen eine verminderte wässrige Konsistenz auf und das Federkleid der Tiere entsprach jenem bei konventioneller Fütterung. Jedoch lassen die Ergebnisse der biologischen Mastparameter (mittlere tägliche Gewichtszunahmen um 6 g vermindert, mittleres Schlachtgewicht um 226 g je Tier vermindert) darauf schließen, dass auch der verminderte Anteil an Insektenprotein nicht das ernährungsphysiologische Optimum von Mastgeflügel der Rasse Ross darstellt. Es wird sich zeigen, inwieweit hier die weitere Absenkung des Larvenmehlanteils in den Futtermittelrationen eine Angleichung der Versuchs- an die Kontrollgruppen zu bewerkstelligen mag. Diese Untersuchungen finden am Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie (TTE) der Universität für Bodenkultur Wien statt; die Ergebnisse werden in einem separaten Abschlussbericht zum EIP-Projekt Larvenzucht zur Futtermittelherstellung veröffentlicht.

Auch die – im Vergleich zur Kontrollgruppe – höheren Emissionen (mittlere NH₃-Konzentration in der Abluft, mittlere NH₃-Emissionen je Tierplatz und Jahr, mittlere Geruchsstoffkonzentration) weisen auf eine nicht adäquate Eiweißverdauung in den Versuchsgruppen mit Larvenmehlanteil in der Fütterung hin. Vermutlich könnte eine weitere Reduktion

des Larvenproteins in Richtung 10 bis 20 %, wie bei Cullere et al. (2016), auch hier zu einer Angleichung der Versuchs- und Kontrollgruppen führen.

Abschließend ist aus den vorliegenden Befunden die zentrale Frage zu stellen, inwieweit eine Substitution des Sojaproteins durch Protein der Larven der Schwarzen Soldatenfliege überhaupt – in Bezug auf die Ernährungsphysiologie der Tiere der Rasse Ross – möglich ist. Die dargelegten Ergebnisse legen nahe, dass eine Substitution von 35 – 40 % des Sojaproteins durch Insektenprotein der Tiergesundheit bedingt zuträglich ist und höhere Ammoniak- und Geruchsemissionen zur Folge haben. Realistischerweise wird eine praxisgerechte Soja-Substitution wohl unter dem eingesetzten Larvenmehlanteil liegen.

Zusammenfassung

Arbeitspaket 34.2.2 Larvenkonservierung

Zu Fragen der Konservierung von Larven der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illuscens* L.) durch Silierung oder Trocknung wurden an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein von 2018 bis 2019 insgesamt drei Exaktversuche durchgeführt. Die dafür verwendeten, getöteten und nicht entfetteten Larven enthielten 27 % TM, 50 % Rohprotein und 27 % Rohfett i.d. TM, also vergleichbare Gehalte anderer Studien. Die Rohaschegehalte lagen mit 7 % vergleichsweise deutlich niedriger. Die Silierbarkeit der Larven war aufgrund des hohen Protein- und Fettgehaltes, aber auch wegen des kaum vorhandenen Zuckers (< 1 %) als sehr schwer silierbar einzustufen. Die Silierung der Soldatenfliegenlarven ohne zusätzliches, leicht vergärbare Substrat oder Silierhilfsmittel war durch eine unzureichende pH-Absenkung, Fehlgärung mit Buttersäurebildung, starkem Proteinabbau – Entstehung von Ammoniak und biogener Amine – und Gärsaftverlusten sowie starkem Verderbgeruch gekennzeichnet. Die Zugabe von Milchsäurebakterien, Melasse, Tanninen sowie verschiedener Kombinationen dieser angeführten Siliermittel, konnten die Gärqualität nicht oder nur geringfügig verbessern. Chemische Konservierungsmittel wie Ameisensäure und insbesondere Natriumnitrit wirkten besser. Der größte Gärerfolg konnte durch Zugabe eines saugfähigen leicht vergärbaren Substrates in Form von Gerstenschrot erzielt werden. Ab 20 % Gerstenschrotzusatz wurde eine ausreichende pH-Absenkung durch Milchsäuregärung und die vollständige Gärsaftbindung erreicht. Die Kombination von 20 % Gerstenschrot + Natriumnitrit oder Milchsäurebakterien (Silasil Extra) sicherte den Gärerfolg bei gleichzeitiger Unterbindung des Verderbgeruchs. Die Silierung von Larven mit Zusatz von 40 % Gerstenschrot brachte auch ohne zusätzliche Silierhilfsmittel einen sehr guten Gärerfolg und einwandfreie Futterhygiene. Allerdings stieg der Gehalt an einigen biogenen Aminen (Putrescin, Cadaverin und Tyramin) durch die Silierung, selbst bei Gerstenschrotanteil von 40 %, deutlich an. Durch die Silierung wurde der Anteil der Aminosäuren gegenüber frischen Larven um 21 % reduziert, davon war auch Lysin deutlich betroffen. Die schonende Larventrocknung bei 50-55 °C forderte im Vergleich zur Silierung geringere Wertverluste, allerdings reduzierte sich auch bei der Trocknung der Gesamtgehalt an Aminosäuren im Ausmaß von 10 % gegenüber frischen Larven. Angesichts der geringeren Aminosäuregehalte von konservierten Larven wäre eine Entfettung der Larven vor der Konservierung anzustreben, wodurch die Gehalte signifikant erhöht werden könnten. Die silierten Larven waren nach Öffnung stabil, sie zeigten nach 9 Tagen an der Luft bei Raumtemperatur keinen aeroben Verderb.

Arbeitspaket 34.2.3 Broilermast und Emissionsmessung

Die Substitution bestimmter Anteile an Sojaprotein durch Larvenmehl wurde in der Broilermast an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein in drei Mastdurchgängen von 2019 bis 2020 an jeweils 420 Broilern untersucht. Das Versuchsfutter wurde einem Kontrollfutter gegenübergestellt und der Erfolg wurde an biologischen Mastparametern (Tageszunahmen, Endgewicht) sowie Emissionen (Ammoniak) gemessen. Der erste Ansatz, 75 % Sojaprotein zu ersetzen, scheiterte auf Grund negativer Auswirkungen des Larvenmehls auf Tiergesundheit, geringere Mastleistung und erhöhte NH₃-Emissionen. Der hohe Anteil von 75 % Insektenprotein in den Futterrationen war für Masthühner der Rasse Ross physiologisch nicht vertretbar. Der für die nachfolgenden zwei Versuche reduzierte Larvenmehlanteil im Versuchsfutter von 35 – 40 % (im Austausch gegen Soja), führte zu einer deutlichen Verbesserung der Tiergesundheit. Die Anzahl an Ausfällen in den Versuchsgruppen sank auf das Niveau der Kontrollgruppen, die Ausscheidungen der Tiere wiesen eine verminderte wässrige Konsistenz auf und das Federkleid der Tiere entsprach jenem bei konventioneller Fütterung. Jedoch waren gegenüber der Kontrollgruppe die mittlere tägliche Gewichtszunahme um 6 g und das mittlere Schlachtgewicht um 226 g je Tier vermindert. Daraus lässt sich schließen, dass auch der verminderte Anteil an Insektenprotein nicht das ernährungsphysiologische Optimum für Mastgeflügel der Rasse Ross darstellte. Die höheren Emissionen (mittlere NH₃-Konzentration in der Abluft, mittlere NH₃-Emissionen je Tierplatz und Jahr, mittlere Geruchsstoffkonzentration) bei Larvenmehlfütterung weisen auf eine nicht adäquate Eiweißverdauung hin. Vermutlich könnte eine weitere Reduktion des Larvenproteins in Richtung 10 bis 20 % auch hier zu einer Angleichung der Versuchs- und Kontrollgruppen führen. Inwieweit andere Masthühnerrassen als Ross auf gewisse Anteilen an Larvenmehl reagieren, könnte Gegenstand von weiteren Untersuchungen sein.

Summary

Work package 34.2.2 Larvae conservation

A total of three exact experiments were carried out at the HBLFA Raumberg-Gumpenstein from 2018 to 2019 on the conservation of larvae of the black soldier fly (*Hermetia illuscens* L.) by ensiling or drying. The larvae used, killed and not defatted, contained 27% DM, 50% crude protein and 27% crude fat in DM, i.e. comparable contents to other studies. The crude ash contents were comparatively much lower at 7 %. Due to the high protein and fat content, but also due to the low sugar content (< 1 %), the larvae were very difficult to ensile. The ensiling of soldier fly larvae without additional, easily fermentable substrate or silage additives was characterized by insufficient pH reduction, faulty fermentation with butyric acid formation,

strong protein degradation - formation of ammonia and biogenic amines - and effluent losses as well as strong spoilage odor. The addition of lactic acid bacteria, molasses, tannins and various combinations of these ensiling agents could not or only slightly improve the fermentation quality. Chemical preservatives such as formic acid and especially sodium nitrite worked better. The greatest fermentation success was achieved by adding an absorbent, easily fermentable substrate in the form of barley meal. From 20 % barley meal addition on, a sufficient pH reduction was achieved by lactic acid fermentation and complete fermentation juice binding. The combination of 20 % barley meal + sodium nitrite or lactic acid bacteria (Silasil Extra) ensured the fermentation success while at the same time eliminating the spoilage odor. The ensiling of larvae with the addition of 40 % barley meal resulted in a very good fermentation success and perfect feed hygiene even without additional ensiling aids. However, the content of some biogenic amines (putrescine, cadaverine and tyramine) increased significantly as a result of ensiling, even with a barley meal content of 40 %. As a result of ensiling, the proportion of amino acids was reduced by 21 % compared to fresh larvae, lysine was also significantly affected. Gentle larval drying at 50-55 °C required less loss of value compared to ensiling, but also during drying the total amino acid content was reduced by 10 % compared to fresh larvae. In view of the lower amino acid content of preserved larvae, a degreasing of the larvae prior to preservation would be desirable, which would significantly increase the content. The ensiled larvae were stable after opening, they did not show aerobic spoilage after 9 days in the air at room temperature.

Work package 34.2.3 Broiler fattening and emission measurement

The substitution of certain portions of soy protein by larvae meal was investigated in broiler fattening at HBLFA Raumberg-Gumpenstein in three fattening runs from 2019 to 2020 at 420 broilers each. The experimental feed was compared to a control feed and success was measured by biological fattening parameters (daily gains, final weight and feed conversion rate) and emissions (ammonia and odour). The first approach to replace 75% soy protein failed due to negative effects of larval meal on animal health, reduced fattening performance and increased NH₃ emissions. The high proportion of 75% insect protein in the feed rations was physiologically unacceptable for broilers of the breed „Ross“. The reduced larvae meal content in the experimental feed of 35 - 40 % (in exchange for soya) for the following two trials led to a significant improvement in animal health. The number of animal losses in the experimental groups decreased to the level of the control groups, the excretions of the animals showed a reduced aqueous consistency and the plumage corresponded to that of conventional feeding. However, compared to the control group, the mean daily weight gain was reduced by 6 g and the mean slaughter weight by 226 g per animal. It can be concluded from this that even the reduced proportion of insect protein did not represent the nutritional optimum for fattening poultry of the breed „Ross“. The higher emissions (mean NH₃ concentration in the exhaust air,

mean NH₃ emissions per animal place and year, mean odorous substance concentration) in larvae meal feeding indicate an inadequate protein digestion. Presumably, a further reduction of the larval protein in the direction of 10 to 20 % could lead to an alignment of the experimental and control groups. To what extent other broiler chicken breeds than „Ross“ react to certain proportions of larvae meal could be the subject of further investigations.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Versuchsdesign Silierversuch S-68-1 (Screening)	8
Tabelle 2: Versuchsdesign Silierversuch S-68-2 (vertieftes Screening)	9
Tabelle 3: Versuchsdesign Silierversuch S-68-3 (Exaktversuch)	9
Tabelle 4: Verwendete Analysenmethoden im Futtermittellabor Rosenau (LK Niederösterreich) bei der Untersuchung der Silageproben vom Silierversuch S-68	16
Tabelle 5: Mittlere TM-Gehalte von konservierten Soldatenfliegenlarven in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen	26
Tabelle 6: Mittlere Gärsaftproduktion von konservierten Soldatenfliegenlarven in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen	27
Tabelle 7: Mittlerer Verderbgeruch von konservierten Soldatenfliegenlarven in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen	28
Tabelle 8: Mittlerer pH-Wert von konservierten Soldatenfliegenlarven in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen	30
Tabelle 9: Einfluss von Silierzusätzen auf den mittleren Anteil an Gärprodukten von konservierten Soldatenfliegenlarven im Screeningversuch 2	34
Tabelle 10: Rohnährstoffe von silierten Insektenlarven der Soldatenfliege in Abhängigkeit von Siliersystem und Larvenaufschluss	35
Tabelle 11: Rohnährstoffe von silierten und getrockneten Insektenlarven der Soldatenfliege im Vergleich zum unkonservierten Ausgangsmaterial	36
Tabelle 12: Aminosäuregehalte absolut in g/kg TM von frischen und konservierten Insektenlarven der Soldatenfliege in Abhängigkeit des Konservierungsverfahrens	37
Tabelle 13: Aminosäuregehalte relativ in % des Rohprotein von frischen und konservierten Insektenlarven der Soldatenfliege in Abhängigkeit des Konservierungsverfahrens	38
Tabelle 14: Gehalt an biogenen Aminen in frischen und konservierten Insektenlarven der Soldatenfliege in Abhängigkeit vom Konservierungsverfahren	39
Tabelle 15: Mikrobiologische Befundung von frischen und konservierten Insektenlarven der Soldatenfliege in Abhängigkeit des Konservierungsverfahrens.	40
Tabelle 16: Ammoniakkonzentrationen in der Abluft, Versuchs- und Kontrollabteil (die Außenbereichskonzentration wurde abgezogen), DGLa1	44
Tabelle 17: NH ₃ -Emissionen pro kg Zunahme pro Tier (durchschnittlicher Gewichtszuwachs von 1.700g), pro Jahr und Tierplatz (7 Umtriebe), Versuchs- und Kontrollabteil, DGLa1	44
Tabelle 18: Geruchsstoffkonzentration in der Abluft des Versuchs- und Kontrollabteils, DGLa1	44
Tabelle 19: Geruchsemissionen des Versuchs- und Kontrollabteils, DGLa1	45
Tabelle 20: Leistungsdaten der Tiere, Versuchsabteil DGLa1	45

Tabelle 21: Leistungsdaten der Tiere, Kontrollabteil DGLa1	45
Tabelle 22: Ammoniakkonzentrationen in der Abluft, Versuchs- und Kontrollabteil (die Außenbereichskonzentration wurde abgezogen), DGLa2	47
Tabelle 23: NH ₃ -Emissionen pro kg Zunahme pro Tier (durchschnittlicher Gewichtszuwachs von 1.700g), pro Jahr und Tierplatz (7 Umtriebe), Versuchs- und Kontrollabteil, DGLa2	47
Tabelle 24: Geruchsstoffkonzentration in der Abluft des Versuchs- und Kontrollabteils, DGLa2	48
Tabelle 25: Leistungsdaten der Tiere, Versuchsabteil DGLa2	48
Tabelle 26: Leistungsdaten der Tiere, Versuchsabteil DGLa2	48
Tabelle 27: Ammoniakkonzentrationen in der Abluft, Versuchs- und Kontrollabteil (die Außenbereichskonzentration wurde abgezogen), DGLa3	50
Tabelle 28: NH ₃ -Emissionen pro kg Zunahme pro Tier (durchschnittlicher Gewichtszuwachs von 1.700g), pro Jahr und Tierplatz (7 Umtriebe), Versuchs- und Kontrollabteil, DGLa3	50
Tabelle 29: Geruchsstoffkonzentration in der Abluft des Versuchs- und Kontrollabteils, DGLa3	51
Tabelle 30: Geruchsemissionen des Versuchs- und Kontrollabteils, DGLa3	51
Tabelle 31: Leistungsdaten der Tiere aus dem Versuchsabteil, DGLa3	51
Tabelle 32: Leistungsdaten der Tiere aus dem Kontrollabteil, DGLa3	51
Tabelle 33: Mittelwerte der Ammoniakemissionen je Messabschnitt in der Abluft der Versuchs- und Kontrollabteile plus Gesamtdurchschnittsbetrachtung über beide Versuchsdurchgänge	53
Tabelle 34: Ammoniakemissionen pro kg Zunahme pro Tier (normiert auf einen durchschnittlichen Gewichtszuwachs von 1.700 g je Mastdurchgang), pro Jahr (7 Umtriebe) und Mastplatz, Versuchs- und Kontrollabteile	53
Tabelle 35: Auswertung der Geruchsemissionen je Messabschnitt in der Abluft der Versuchs- und Kontrollabteile plus Gesamtdurchschnittsbetrachtung über beide Versuchsdurchgänge	54
Tabelle 36: Geruchsemissionsfaktoren der einzelnen Mastdurchgänge in den Versuchs- und Kontrollabteilen sowie Durchschnittsbetrachtung über beide Versuchsdurchgänge	54
Tabelle 37: Leistungsdaten der Tiere aus den Versuchs- und Kontrollabteilen im Mittel über die zwei abgehaltenen Mastdurchgänge	55
Tabelle 38: Datenerhebung Fa. Ecofly, während der emissionstechnischen Untersuchung	70
Tabelle 39: Gasemissionen je kg Larven-Biomasse, bezogen auf 8 Tage Messdauer	73
Tabelle 40: Analysenergebnisse Maststarter, bezogen auf TM = 1000g, DGLa1 – DGLa3	75
Tabelle 41: Analysenergebnisse Mittelmastfutter, bezogen auf TM = 1000g, DGLa1 – DGLa3	76
Tabelle 42: Analysenergebnisse Endmastfutter, bezogen auf TM = 1000g, DGLa1 – DGLa3	76

Tabelle 43: Analysenergebnisse der Kotproben aus dem Versuchs- und Kontrollabteil,	77
Tabelle 44: Analysenergebnisse der Kotproben aus dem Versuchs- und Kontrollabteil,	77
Tabelle 45: Analysenergebnisse der Kotproben aus dem Versuchs- und Kontrollabteil,	77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einwaage von Larven (links) und Tannin (Mitte) sowie Flüssigkeitsdosierpumpe mit Zerstäuber (rechts) für Silierversuch S-68	13
Abbildung 2: Gerstenzumischung (links), Vakuumierungstechnik (Mitte) und fertig verschweißter Vakuumbbeutel	13
Abbildung 3: Ansatz 2 mit losen Larven im Vakuumbbeutel (links), mit losen Larven im Einweckglas (Mitte) und mit zerkleinerten Larven im Vakuumbbeutel (rechts)	14
Abbildung 4: Haltbarkeitstest und Temperaturaufzeichnung mit Datenlogger Mikromec Multisens (Silierversuch S-68)	18
Abbildung 5: Plandarstellung, Geflügelstallungen an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein	19
Abbildung 6: Durchschnittliche TM-Gehalte von Konserven der Soldatenfliegenlarven in Abhängigkeit von Verfahren und Additiven	24
Abbildung 7: Einfluss der Zugabe von Gerstenschrot auf den TM-Gehalt von Silage aus Soldatenfliegenlarven	25
Abbildung 8: Gärproduktproduktion bei Larvenkonservierung in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen	27
Abbildung 9: Geruchsbewertung bei Larvenkonservierung in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen	28
Abbildung 10: pH-Wert bei Larvenkonservierung in Abhängigkeit von Verfahren und Silierzusätzen	29
Abbildung 11: Einfluss der Zugabe von Gerstenschrot zu Insektenlarven der Soldatenfliege auf TM-Gehalt und pH-Wert des vergorenen Materials	30
Abbildung 12: Einfluss von Larvenaufschluss und Siliersystem auf den pH-Wert von silierten Insektenlarven der Soldatenfliege	31
Abbildung 13: pH-Verlauf von silierten Larven der Soldatenfliege in Abhängigkeit von Silierzusätzen im Exaktversuch	32
Abbildung 14: Gärprodukte bei der Silierung von Larven der Soldatenfliege in Abhängigkeit von Silierzusätzen im Exaktversuch	33
Abbildung 15: Einfluss von Larvenaufschluss und Siliersystem auf den Milchsäuregehalt von silierten Insektenlarven der Soldatenfliege	34
Abbildung 16: Temperaturverlauf von geöffneten Larvensilagen unter Luftstress im Haltbarkeitstest	41
Abbildung 17: Temperaturverlauf im Versuchs- und Kontrollabteil, DGLa1	42
Abbildung 18: Luftfeuchte im Versuchs- und Kontrollabteil sowie im Außenbereich, DGLa1	43
Abbildung 19: Verlauf der Ammoniakkonzentration in der Abluft des Versuchs- und des Kontrollabteils sowie im Außenbereich, DGLa1	43
Abbildung 20: Temperaturverlauf im Versuchs- und Kontrollabteil, DGLa2	46

Abbildung 21: Luftfeuchte im Versuchs- und Kontrollabteil sowie im Außenbereich, DGLa2	46
Abbildung 22: Verlauf der Ammoniakkonzentration in der Abluft des Versuchs- und des Kontrollabteils sowie im Außenbereich, DGLa2	47
Abbildung 23: Temperaturverlauf im Versuchs- und Kontrollabteil, DGLa3	49
Abbildung 24: Luftfeuchte im Versuchs- und Kontrollabteil sowie im Außenbereich, DGLa3	49
Abbildung 25: Verlauf der Ammoniakkonzentration in der Abluft des Versuchs- und des Kontrollabteils sowie im Außenbereich, DGLa3	50
Abbildung 26: Ammoniak-Verlaufsmessung im Rahmen der Larvenproduktion	71
Abbildung 27: Ammoniak-Verlaufsmessung mit korrespondieren „Aktivitätsdaten“	71
Abbildung 28: Kohlendioxid-Verlaufsmessung im Rahmen der Larvenproduktion	72
Abbildung 29: Lachgas-Verlaufsmessung im Rahmen der Larvenproduktion	72
Abbildung 30: Methan-Verlaufsmessung im Rahmen der Larvenproduktion	73
Abbildung 31: Kohlendioxidkonzentration in der Abluft des Versuchs- und Kontrollabteils	74
Abbildung 32: Kohlendioxidkonzentration in der Abluft des Versuchs- und Kontrollabteils plus Hintergrund, DGLa2	74
Abbildung 33: Kohlendioxidkonzentration in der Abluft des Versuchs- und Kontrollabteils plus Hintergrund, DGLa3	75
Abbildung 34: Blick in ein Versuchsabteil vor Einbringen der Einstreu	78
Abbildung 35: Versuchsabteil mit eingestellten Küken (im Alter von zwei Tagen), Fütterungs- und Tränkeeinrichtungen	78
Abbildung 36: Versorgung der Tiere mit Trinkwasser durch höhenverstellbare ad libitum Nippeltränken	79
Abbildung 37: Tiere bei der Nahrungsaufnahme, am Ende der Mastperiode	79
Abbildung 38: Blick in das Abteil der Kontrollgruppe (oben) und der Versuchsgruppe (unten), DGLa1	80

Literatur

- Albrecht, K. A., Muck, R. E., 1991: Proteolysis in ensiled forage legumes that vary in tannin concentration. *Crop Science*, 31(2), 464-469.
- Arango Gutiérrez, G.P., Vergara Ruiz, R.A. Mejía Vélez, H. (2004): Compositional, microbiological and protein digestibility analysis of the larva meal of *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) at Angelópolis-Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* 57: 2491-2500.
- Auinger, S. (2020): Die Fliegenlarve als Eiweißquelle. *Landwirt* (23) 2020, 10-13.
- Bosch, G., Zhang, S., Oonincx, D.G.A.B. and Hendriks, W.H., 2014. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. *Journal of Nutritional Science* 3(e29): 1-4.
- Buchanan-Smith, J.G. und Phillip, L.E. (1986): Food intake in sheep following intraruminal infusion of extracts from lucerne silage with particular reference to organic acids and products of protein degradation. *The Journal of Agricultural Science* 106 (3), 611-617.
- DiGiacomo, K., Leury, B. J. (2019): Insect meal: a future source of protein feed for pigs? *animal*, 13(12), 3022-3030.
- DLG (2012): Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung. 8. vollständig überarbeitete Auflage, *DLG Verlag*, Frankfurt am Main, 416 S.
- Food and Agriculture Organisation (FAO), 2009. How to feed the world in 2050. High-level expert forum on 'How to feed the world in 2050'. FAO, Rome, Italy. Available at: <http://tinyurl.com/lzypw4a>.
- Finke, M.D. (2013): Complete nutrient content of four species of feeder insects. *Zoo Biology* 32: 27-36.
- Gross, F., Riebe, K., 1974: Gärfutter – Betriebswirtschaft, Erzeugung, Verfütterung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 283 S.
- LfL Bayern (2010): Versuchsbericht S12/1, Verdauungsversuche mit Eiweißfutter - Sojaextraktionsschrot 43/48GVO/48NonGVO, 9 S.
- 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.
- Martens, S. D., Korn, U.; Roscher, S.; Pieper, B.; Schafft, H.; Steinhöfel, O., 2019: Effect of tannin extracts on protein degradation during ensiling of ryegrass or lucerne. *Grass Forage Sci* 74(2):284-296.
- Nguyen, T.T., Tomberlin, J.K. Vanlaerhoven, S. (2015): Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. *Environmental Entomology* 44: 406-410.
- Oonincx, D.G.A.B., Van Broekhoven, S., Van Huis, A. Van Loon, J.J.A. (2015): Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food byproducts. *PLoS ONE* 10: e0144601.
- Rachmawati, R., Buchori, D., Hidayat, P., Hem, S. Fahmi, M.R. (2010): Perkembangan dan kandungan nutrisi larva *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) pada bungkil kelapa sawit. *Jurnal Entomologi Indonesia* 7: 28-41.
- Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Oryn, 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.
- St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Tomberlin, J.K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C., Irving, S. (2007). Fish offal recycling by the black soldier fly produces a food stuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society* 38: 309-313.
- Van Huis, A., 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology* 58: 563-583.
- Van Os, M. (1997): Role of ammonia and biogenic amines in intake of grass silage by ruminants. *Landbouwniversiteit Wageningen*, 197 S.
- VDLUFA (1976): Methodenbuch Band III - Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997, *VDLUFA-Verlag*, Darmstadt.
- VDLUFA (2007a): Methode 28.1.2 Futtermitteluntersuchung - Bestimmung der Keimgehalte an aeroben, mesophilen Bakterien, Schimmel- und Schwärzepilzen und Hefen. Methodenbuch III, 7. Ergänzung 2007, *VDLUFA-Verlag*, Darmstadt.
- VDLUFA (2007b): Methode 28.1.4 Futtermitteluntersuchung - Verfahrensanweisung zur mikrobiologischen Qualitätsbeurteilung: Methodenbuch III, 7. Ergänzung 2007, *VDLUFA-Verlag*, Darmstadt.
- Veldkamp, T., Van Duinkerken, G., Van Huis, A., Lakemond, C.M.M., Ottevanger, E. and Boekel, M.A.J.S., 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets – a feasibility study. Report 638, Wageningen UR Livestock Production, Wageningen, the Netherlands, pp. 1-48.
- Zheng, L., Hou, Y., Li, W., Yang, S., Li, Q. Yu, Z. (2012): Biodiesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes. *Energy* 47: 225-229.

Arbeitspaket 34.2.3 Broilermast und Emissionsmessung

- BARTELT, J. (2003): Rohproteinreduzierung im Geflügelfutter - Möglichkeiten und Grenzen, *Lohmann Information*, Okt.- Dez. 2003 4/2003
- BERGFELD, U. et al (2004): Evaluierung alternativer Haltungsformen für Legehennen. Abschlussbericht zum Gemeinschaftsprojekt der Landesanstalten für Landwirtschaft der Freistaaten Bayern, Sachsen und Thüringen, Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen Heft 9 / 2004
- Cullere, M., Tasoniero, G., Giaccone, V., Miotti-Scapin, R., Claeys, E., De Smet, S. Dalle Zotte, A. (2016): Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. *Animal* 10: 1923-1930.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION, Generaldirektion Umwelt (2006): Leitfaden für die Durchführung des Europäischen PRTR, 31. Mai 2006
- GRIMM, E. (2010): Genehmigungsrechtliche Fragen zukunftsfähiger Tierhaltungsstandorte - Immissionsschutzrechtliche Aspekte. KTBL Darmstadt, ALB Hessen -Baulehrschau am Landwirtschaftszentrum Eichhof, Bad Hersfeld, 24.3.2010

- HARTMANN, U., KÖLLNER, B. und B. OPITZ (2002): Handlungsempfehlung zur Beurteilung von Ammoniakemissionen im Rahmen von Genehmigungsverfahren für Tierhaltungsanlagen in NRW (Stand August 2002). Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
- KRD L - Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN- Normenausschuss (1986): 10. VDI-Richtlinie Emissionsminderung Tierhaltung – Hühner (VDI 3472). König/Roeser/Stock, BauNVO, 2. Auflage 2003
- KECK, M. (2011): Ammoniak-Emissionen und Ansätze zur Minderung. Vortrag im Rahmen des AGRIDEA – Aviforum, 06.04.2011, Zollikofen. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART
- KTBL-Schrift 446 (2006): Nationaler Bewertungsrahmen: Methode zur Bewertung von Tierhaltungsanlagen hinsichtlich Umweltwirkungen und Tiergerechtigkeit. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. Darmstadt
- KTBL-Schrift 449 (2006): Emissionen der Tierhaltung. KTBL Tagung vom 5. bis 7. Dezember 2006, Bildungszentrum Kloster Banz. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. Darmstadt.
- LIPPMANN, J. (2007): Untersuchungen zur Wirksamkeit emissionsmindernder Maßnahmen bei alternativen Legehennenhaltungsverfahren zur Reduzierung der Gase, Stäube und Keimbelastung. Emissionsminderung in der Legehennenhaltung. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 3/2007
- MANNEBECK, D. (2007): Olfaktometrische Messverfahren nach DIN EN 13725:2003. VDI Wissensforum, Seminar in Schwetzingen, 08.-09. Mai 2007
- Oonincx, D.G.A.B., Van Itterbeeck, J., Heetkamp, M.J.W., Van den Brand, H., Van Loon, J.J.A. Van Huis, A. (2010): An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. PLoS ONE 5: e14445.
- ÖTTL, D., KROPSCH, M., ZENTNER, E., BACHLER, G. und POLLET, A. (2018): Geruchsemissionen aus Tierhaltungsanlagen. Bericht Nr. Lu-06-2018. Abteilung 15 – Energie, Wohnbau, Technik, Referat Luftreinhaltung, Amt der Steiermärkischen Landesregierung
- PIRINGER, M. und G. SCHAUBERGER (2005): Geruch - Emission, Ausbreitung, Immission, Bewertung. Interessengemeinschaft Geruch (igG), Pressegespräch 26. September 2005
- SCHMAUZ, S. (2010): Methan- und Distickstoffoxid-Emissionen. In: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Dezember 2010
- SCHMITT, G., WALLENFANG, O., BÜSCHER, W. und B. DIEKMANN (2004): Partikelkonzentrationen in der Stallabluft - Ein Vergleich mit der Innenraumkonzentration. Landtechnik 59 (2004), H. 6, S. 334 – 335.
- TLUG - Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (2004): Emissionen von Ammoniak und Staub aus Tierhaltungsanlagen. Kooperationsprojekt „Evaluierung alternativer Haltungsformen für Legehennen“, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
- VDI-RICHTLINIE 3894 Blatt1 (2011): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen. Haltungsverfahren und Emissionen Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRD L. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- UMWELTBUNDESAMT GmbH (2010): Leitfaden für die Durchführung der PRTR-Berichtspflicht (Pollutant Release and Transfer Register)

ZENTNER, E. et al (2014): Einflüsse unterschiedlicher Futtermittelrationen auf Emissionen aus der Geflügelhaltung. Abschlussbericht zum DaFNE Projekt 100751/1, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Abkürzungen

AGES	Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH
AS	Aminosäuren
BOKU	Universität für Bodenkultur Wien
FM	Frischmasse
FML Rosenau	Futtermittellabor Rosenau (LK Niederösterreich)
MO	Mikroorganismen
MSB	Milchsäurebakterien
R-G	HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Sd	Standardabweichung
SSF	Schwarze Soldatenfliege
TTE	BOKU-Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie
VA	Varianzanalyse
VOC	Volatile Organic Components (flüchtige organische Verbindungen)
$\bar{x}$	Mittelwert
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein

Anhang

A1 Emissionsmessungen Fa. Ecofly

Von 05.08 – 13.08.2020 fanden in der Betriebsstätte der Fa. Ecofly in Antiesenhofen Messungen der Konzentrationen an Ammoniak, Kohlendioxid, Methan und Lachgas – in der Abluft der Larvenzucht- und Mastanlage – statt (siehe Bilder im Anhang). Verwendet wurde hierzu dieselbe photoakustische Gasmessetechnik, die auch am Standort der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, im Rahmen der Mastgeflügelversuche mit Larvenmehlanteil im Futtermittel, zum Einsatz kam.

Am Betriebsstandort in Antiesenhofen stehen eine Aufzuchtbox, zwei Zuchtboxen (Fliegenkäfige) und zwei Mastboxen für die Produktion von Larven der Schwarzen Soldatenfliege zur Verfügung. Laut Information der Fa. Ecofly entstammt der größte Teil der Emissionen aus dem Mastbereich der Anlage; hier erfolgt der bedeutendste Anteil an Biomasse-Umsetzung. Nachfolgende Tabelle A1 zeigt die – während der Messperiode – vorhandene Biomasse in den beiden Larven-Mastkammern sowie den durchschnittlichen Abluftvolumenstrom je Messtag.

Tabelle 38: Datenerhebung Fa. Ecofly, während der emissionstechnischen Untersuchung

Datum	Lebendbiomasse Kammer 1 ca.	Lebendbiomasse Kammer 2 ca.	gesamt Biomasse	Lüftungsrate Tagesmittelwert [m³/h]
05.08.2020	870	1160	2030	6753
06.08.2020	780	1180	1960	6995
07.08.2020	720	110	830	3160
08.08.2020	750	180	930	3794
09.08.2020	830	260	1090	4388
10.08.2020	850	390	1240	2971
11.08.2020	450	625	1075	4735
12.08.2020	520	920	1440	5517

A1.1 Emissionsmessung Ammoniak

Der Mittelwert der NH₃-Emissionen lag, über die gesamte Messperiode, bei 8,7 ppm. Entsprechend der in Tabelle A1 gelisteten Daten wurde versucht, den Ammoniak-emissionsverlauf in Zusammenhang mit den „Aktivitätsparametern“ (Gesamtbiomasse und Lüftungsrate) zu bringen. Der Peak zwischen 05. und 06.08.2020 korrespondiert mit der höchsten Menge an Biomasse, die im Verlauf der Messung vorlag. Dem entsprechend weist das nachgelagerte Absinken der Emissionskurve auf eine Verringerung der Gesamtbiomasse hin, die ihren niedrigsten Wert zwischen 07. und 08.08.2020 erreicht. Der anschließende

Kurvenanstieg repräsentiert die neuerliche Zunahme der Biomasse in den Larven-Mastboxen und resultiert in der zweithöchsten Ammoniakemissionskonzentration von knapp 20 ppm. Diese Kurvenspitze ist zudem mitbedingt durch die niedrigste Abluftrate im Verlauf der 8-tägigen Messung. Bis zum 11.08. zeigt sich eine neuerliche Verminderung der Ammoniakemissionen; der Kurvenanstieg zwischen dem 11. und 12.08. korrespondiert hingegen neuerlich mit einer Zunahme der Biomasse (siehe Abbildung A2).

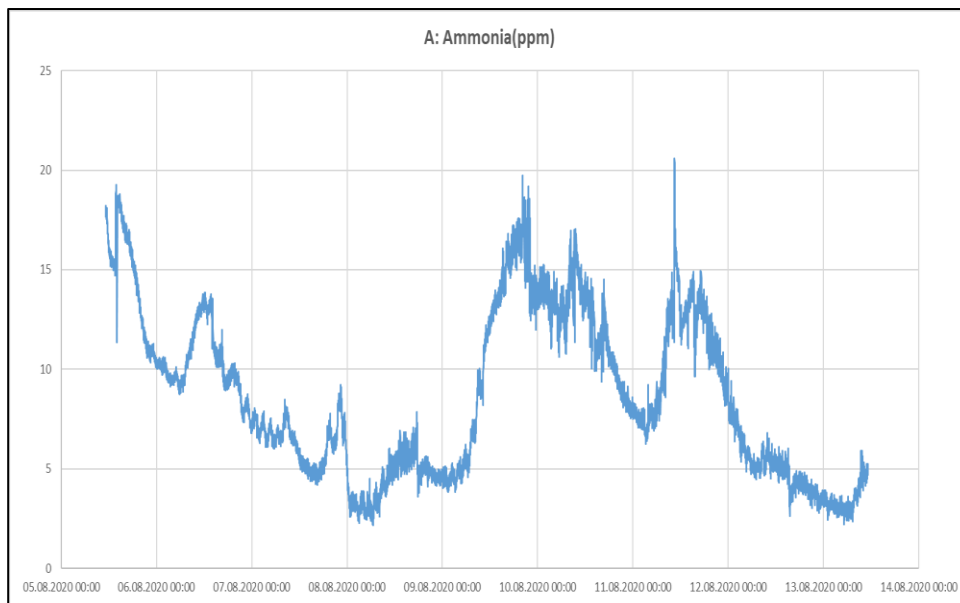


Abbildung 26: Ammoniak-Verlaufsmessung im Rahmen der Larvenproduktion

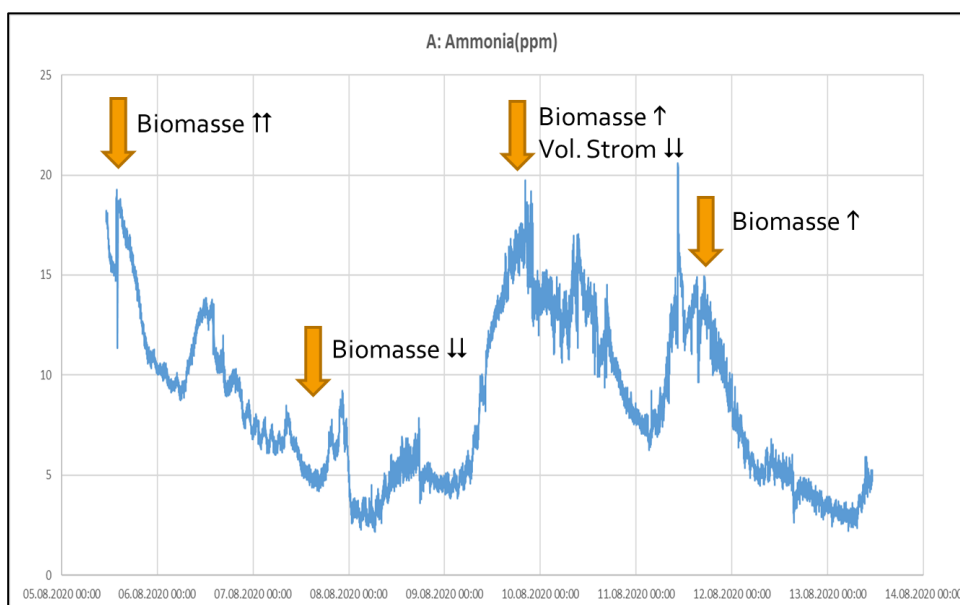


Abbildung 27: Ammoniak-Verlaufsmessung mit korrespondierenden „Aktivitätsdaten“

A1.2 Emissionsmessung Kohlendioxid

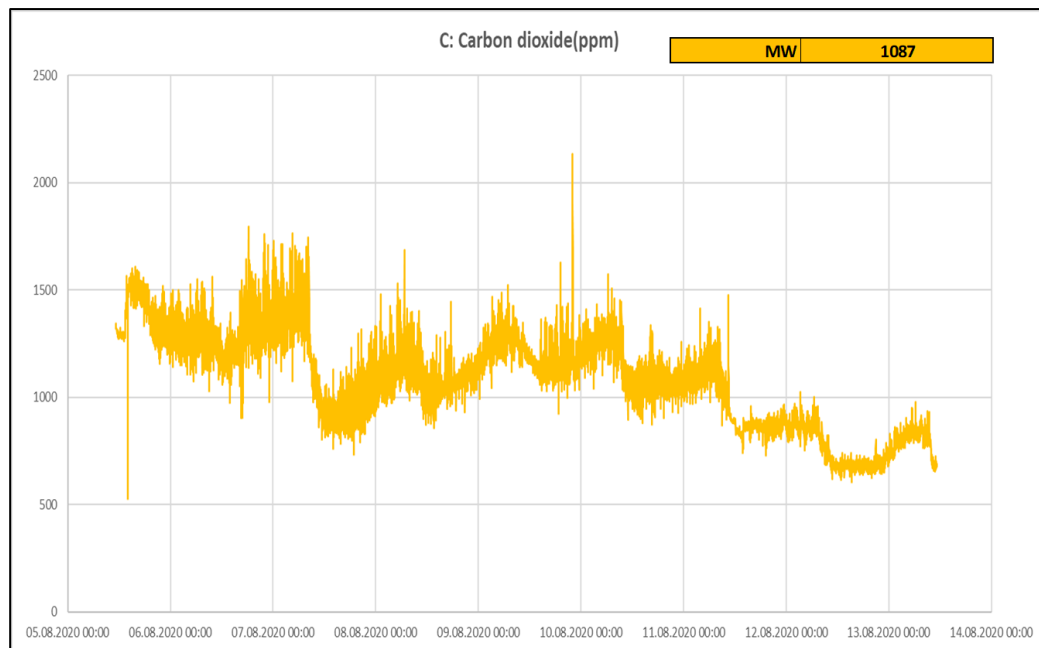


Abbildung 28: Kohlendioxid-Verlaufsmessung im Rahmen der Larvenproduktion

A1.3 Emissionsmessung Lachgas

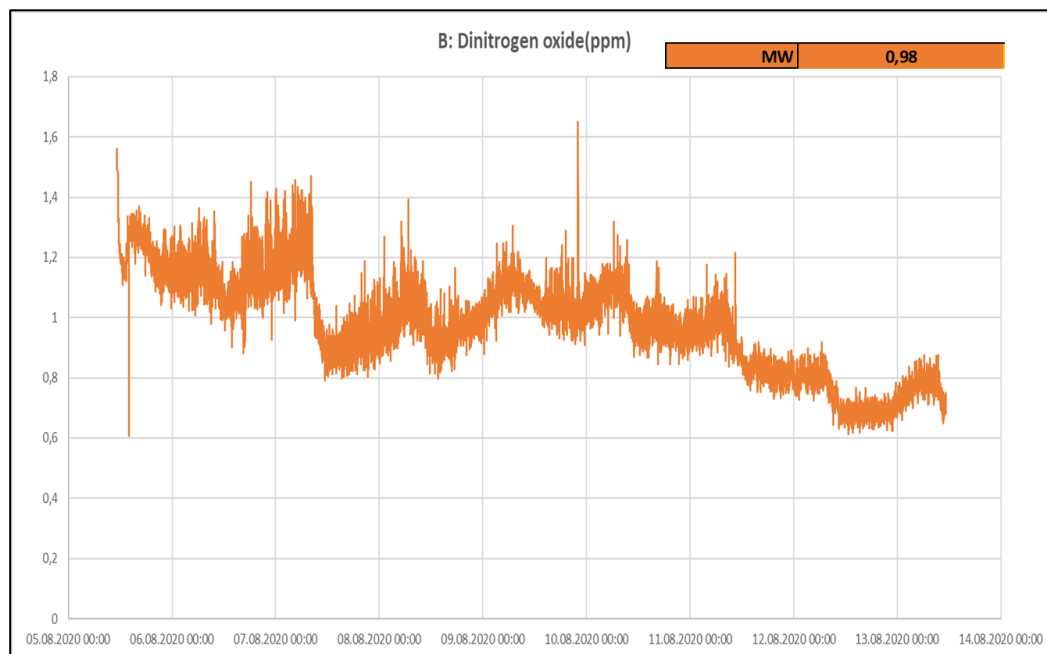


Abbildung 29: Lachgas-Verlaufsmessung im Rahmen der Larvenproduktion

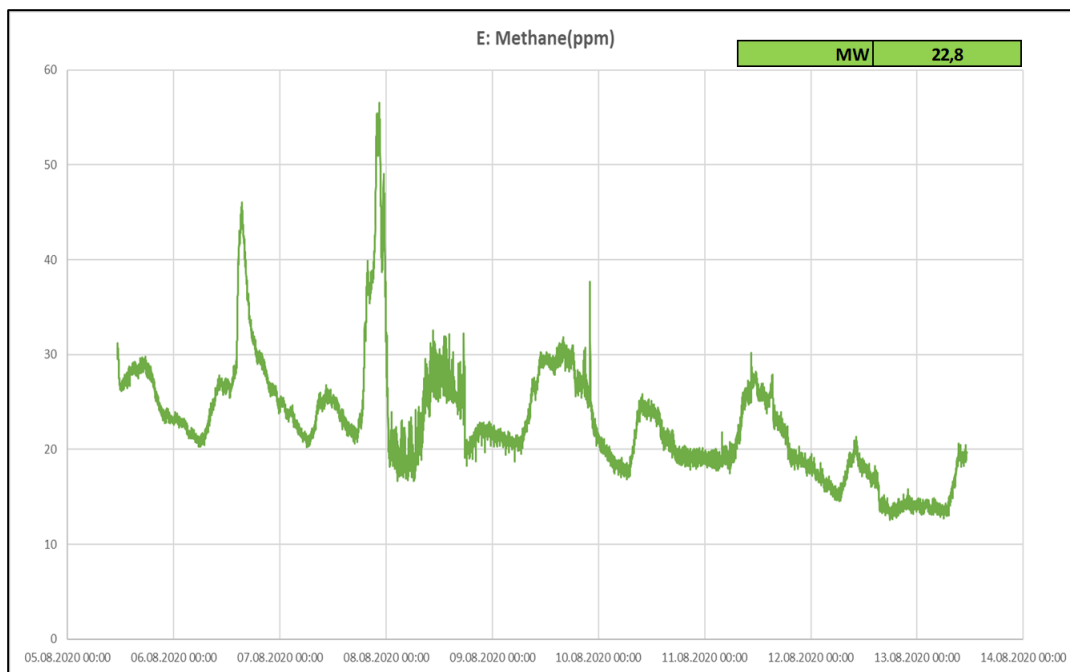


Abbildung 30: Methan-Verlaufsmessung im Rahmen der Larvenproduktion

A1.5 Emissionen bezogen auf die Biomasse

Für die – im Rahmen des gegenständlichen EIP-Projektes – noch durzuführende Ökobilanzierung der Larvenproduktion (Arbeitspaket Global 2000) wurden die mittleren Emissionen aus der Erhebung von Ammoniak, Kohlendioxid, Lachgas und Methan auf die mittlere Biomasse von 1324 kg Larven umgerechnet. Die nachfolgend dargelegten Kalkulationsdaten bedürfen jedenfalls einer Überprüfung durch entsprechende Sachkenntnis; der HBLFA Raumberg-Gumpenstein liegen diesbezgl. keine Vergleichsdaten vor. Die Berechnung ergab eine Emission von 4,5 g NH₃, eine Emission von 10,8 g CH₄, eine Emission von 1,3 g N₂O und eine Emission von 1414 g CO₂ – jeweils bezogen auf ein Kilogramm Larven-Biomasse.

Tabelle 39: Gasemissionen je kg Larven-Biomasse, bezogen auf 8 Tage Messdauer

MW Emissionen NH ₃ /CH ₄ /N ₂ O/CO ₂ g/kg Masse	NH ₃	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
	4,5	10,8	1,3	1414

A2 CO₂-Emissionen Mastgeflügel

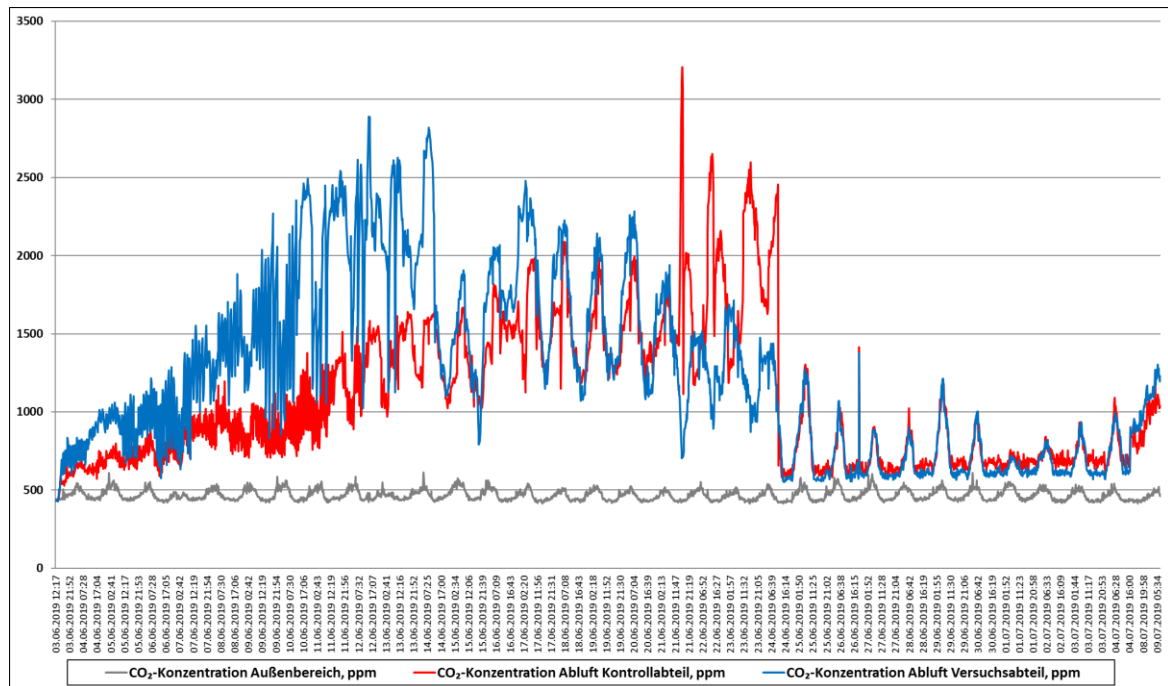


Abbildung 31: Kohlendioxidkonzentration in der Abluft des Versuchs- und Kontrollabteils

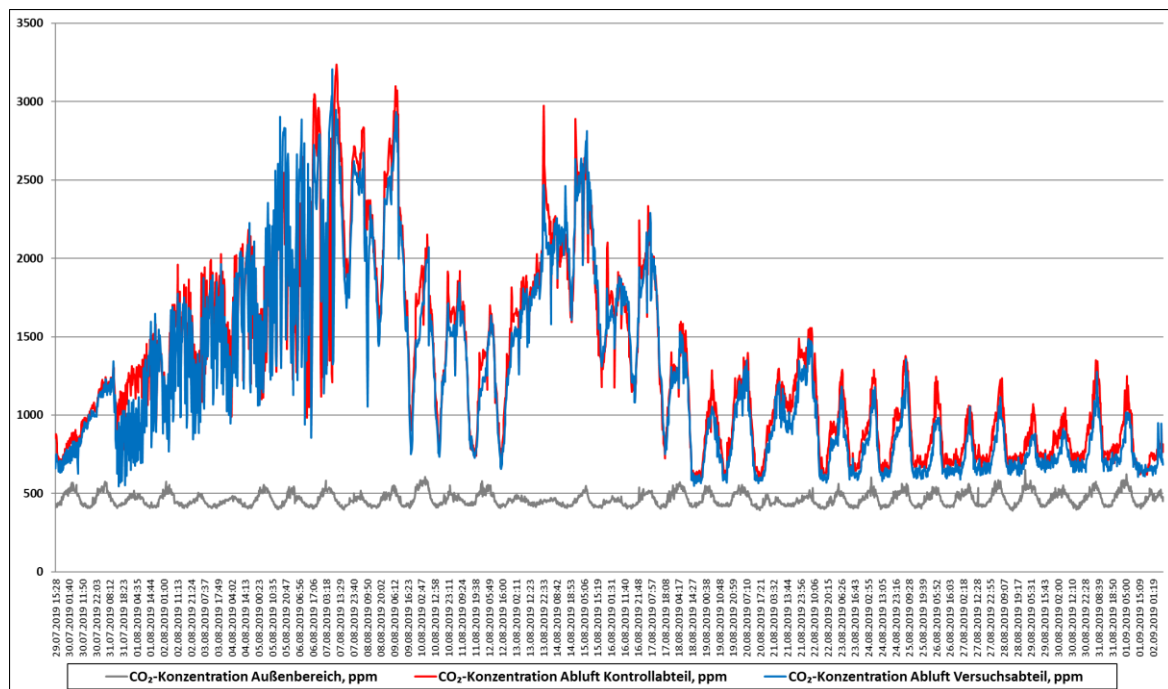


Abbildung 32: Kohlendioxidkonzentration in der Abluft des Versuchs- und Kontrollabteils plus Hintergrund, DGLa2

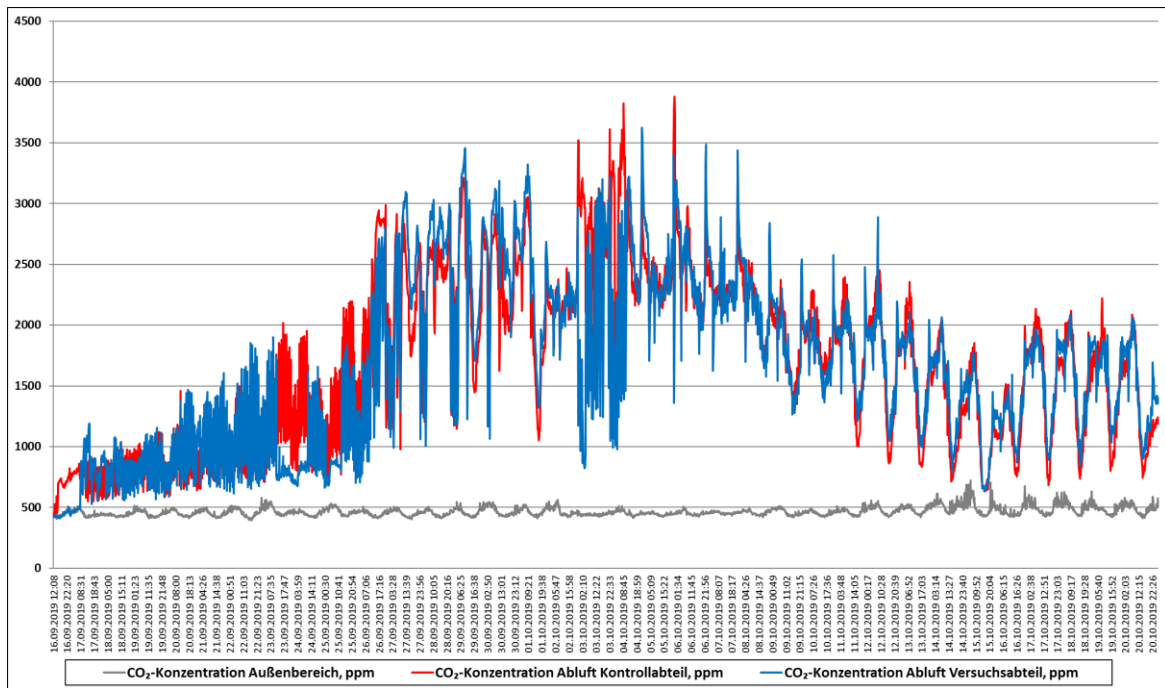


Abbildung 33: Kohlendioxidkonzentration in der Abluft des Versuchs- und Kontrollabteils plus Hintergrund, DGLa3

A3 Futtermittelanalysen Mastgeflügel

Tabelle 40: Analysenergebnisse Maststarter, bezogen auf TM = 1000g, DGLa1 – DGLa3

TM [g/kg]	RP [g/kg TM]	RFA [g/kg TM]	RFE [g/kg TM]	Asche [g/kg TM]	Ca [g/kg TM]	Mg [g/kg TM]	K [g/kg TM]	P [g/kg TM]	Legende
912,2	275,8	51,4	51,5	80,2	16,2	2,5	10,0	6,3	Starterfutter Larve I (Versuch)
904,5	282,9	31,2	60,7	75,6	11,3	2,8	12,9	6,8	Starterfutter Larve I (Kontrolle)

Na [mg/kg TM]	Zn [mg/kg TM]	Mn [mg/kg TM]	Cu [mg/kg TM]	Fe [mg/kg TM]	Legende
2581,7	175,4	206,1	20,5	317,7	Starterfutter Larve I (Versuch)
1798,8	134,3	124,4	19,1	465,6	Starterfutter Larve I (Kontrolle)

Tabelle 41: Analysenergebnisse Mittelmastfutter, bezogen auf TM = 1000g, DGLa1 – DGLa3

TM [g/kg]	RP [g/kg TM]	RFA [g/kg TM]	RFE [g/kg TM]	Asche [g/kg TM]	Ca [g/kg TM]	Mg [g/kg TM]	K [g/kg TM]	P [g/kg TM]	Legende
911,2	248,4	46,2	62,0	73,6	15,1	2,2	9,3	5,0	Mittelmastfutter Larve I (Versuch)
905,4	265,5	29,8	82,4	68,5	10,2	2,5	11,4	6,2	Mittelmastfutter Larve I (Kontrolle)

Na [mg/kg TM]	Zn [mg/kg TM]	Mn [mg/kg TM]	Cu [mg/kg TM]	Fe [mg/kg TM]	Legende
2125,8	155,3	187,1	19,4	297,8	Mittelmastfutter Larve I (Versuch)
1866,0	128,1	102,4	17,7	383,0	Mittelmastfutter Larve I (Kontrolle)

Tabelle 42: Analysenergebnisse Endmastfutter, bezogen auf TM = 1000g, DGLa1 – DGLa3

TM [g/kg]	RP [g/kg TM]	RFA [g/kg TM]	RFE [g/kg TM]	Asche [g/kg TM]	Ca [g/kg TM]	Mg [g/kg TM]	K [g/kg TM]	P [g/kg TM]	Legende
912,6	246,0	40,8	75,7	72,6	16,1	2,1	7,9	4,8	Endmastfutter Larve I (Versuch)
906,8	230,5	28,5	91,4	71,8	8,9	2,3	10,9	5,5	Endmastfutter Larve I (Kontrolle)

Na [mg/kg TM]	Zn [mg/kg TM]	Mn [mg/kg TM]	Cu [mg/kg TM]	Fe [mg/kg TM]	Legende
2107,2	151,2	157,2	18,4	193,8	Endmastfutter Larve I (Versuch)
1942,5	123,0	108,1	17,6	369,2	Endmastfutter Larve I (Kontrolle)

A4 Kotanalysen Mastgeflügel

Tabelle 43: Analysenergebnisse der Kotproben aus dem Versuchs- und Kontrollabteil,

TM [g/kg]	Asche [g/kg TM]	Ca [g/kg TM]	Mg [g/kg TM]	K [g/kg TM]	P [g/kg TM]	N [g/kg TM]	NH4-N [g/kg TM]	pH-Wert	Probe
328,7	153,3	31,6	5,0	18,9	6,8	52,7	25,4	6,2	Kotprobe Abt. OST- Versuch
449,7	185,7	18,0	7,6	31,6	9,7	68,2	4,6	5,2	Kotprobe Abt. WEST- Kontrolle
TM [g/kg]	Na [mg/kg TM]	Zn [mg/kg TM]	Mn [mg/kg TM]	Cu [mg/kg TM]	Fe [mg/kg TM]	Probe			
328,7	3367,5	383,3	511,1	49,3	508,0	Kotprobe Abt. OST- Versuch			
449,7	3858,1	427,0	453,6	64,0	1055,8	Kotprobe Abt. WEST- Kontrolle			

Tabelle 44: Analysenergebnisse der Kotproben aus dem Versuchs- und Kontrollabteil,

TM [g/kg]	Asche [g/kg TM]	Ca [g/kg TM]	Mg [g/kg TM]	K [g/kg TM]	P [g/kg TM]	N [g/kg TM]	NH4-N [g/kg TM]	pH-Wert	Probe
690,1	160,7	18,0	7,9	26,4	13,0	39,6	5,9	8,2	Kotprobe Abt. OST- Kontrolle
310,8	184,5	31,9	7,7	25,2	13,2	45,1	20,2	6,7	Kotprobe Abt. WEST- Versuch
TM [g/kg]	Na [mg/kg TM]	Zn [mg/kg TM]	Mn [mg/kg TM]	Cu [mg/kg TM]	Fe [mg/kg TM]	Probe			
690,1	3513,7	390,6	405,7	60,4	670,3	Kotprobe Abt. OST- Kontrolle			
310,8	4251,8	515,6	656,3	70,5	726,8	Kotprobe Abt. WEST- Versuch			

Tabelle 45: Analysenergebnisse der Kotproben aus dem Versuchs- und Kontrollabteil,

TM [g/kg]	Asche [g/kg TM]	Ca [g/kg TM]	Mg [g/kg TM]	K [g/kg TM]	P [g/kg TM]	N [g/kg TM]	NH4-N [g/kg TM]	pH-Wert	Probe
464,1	157,9	28,4	6,9	21,5	12,6	45,8	18,4	7,9	Kotprobe Abt. OST-Versuch
832,1	135,4	15,5	6,2	23,2	12,3	44,2	5,7	7,6	Kotprobe Abt. WEST-Kontrolle
TM [g/kg]	Na [mg/kg TM]	Zn [mg/kg TM]	Mn [mg/kg TM]	Cu [mg/kg TM]	Fe [mg/kg TM]	Probe			
464,1	3681,9	440,1	560,2	62,9	677,7	Kotprobe Abt. OST-Versuch			
832,1	3218,8	334,5	353,3	46,9	651,9	Kotprobe Abt. WEST-Kontrolle			

A5 Bilddokumentation



Abbildung 34: Blick in ein Versuchsabteil vor Einbringen der Einstreu

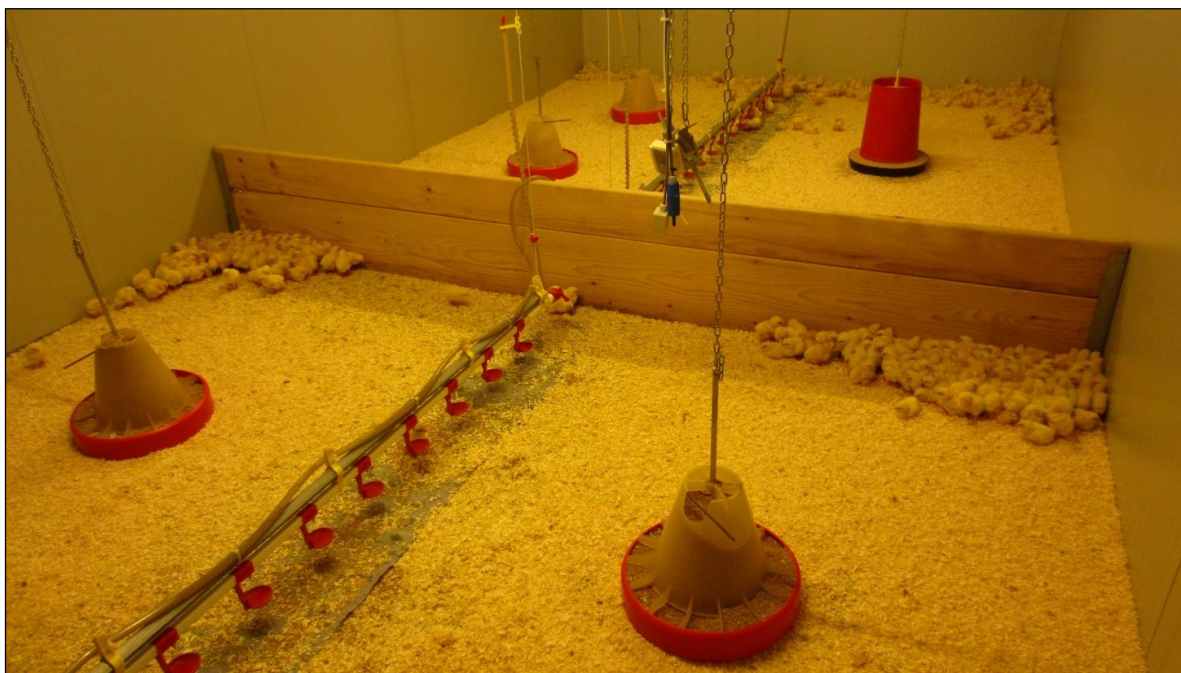


Abbildung 35: Versuchsabteil mit eingestellten Küken (im Alter von zwei Tagen), Fütterungs- und Tränkeeinrichtungen



Abbildung 36: Versorgung der Tiere mit Trinkwasser durch höhenverstellbare ad libitum Nippeltränken



Abbildung 37: Tiere bei der Nahrungsaufnahme, am Ende der Mastperiode



Abbildung 38: Blick in das Abteil der Kontrollgruppe (oben) und der Versuchsgruppe (unten), DGLa1





HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Landwirtschaft

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

raumberg-gumpenstein.at