

## Abschlussbericht EIP-Agri Projekt:

# „Larvenzucht zur Futtermittelherstellung“

Untersuchung unterschiedlicher Futtersubstrate auf die  
Nährstoffzusammensetzung von Larven der Schwarzen Soldatenfliege  
*Hermetia illucens* (L.) sowie des Restsubstrates

Mag. Marion Bonell  
Dr. Eva Erhart  
Dr. Manfred Sager  
Dieter Haas

## Impressum

---

Medieninhaber und Herausgeber: Bio Forschung Austria  
Eßlinger Hauptstraße 132-134, A-1220 Wien  
Tel.: +43 1 4000 49150, E-Mail:  
[office@bioforschung.at](mailto:office@bioforschung.at)  
[www.bioforschung.at](http://www.bioforschung.at)

Eigenverlag

© Bio Forschung Austria

Erstellt im Rahmen des Projekt EIP-Agri: Larvenzucht zur Futtermittelherstellung

09. Juli 2021

# Inhalt

1. Einleitung.....	4
2. Methodik .....	4
3. Ergebnisse und Diskussion .....	6
3.1. AP2: Ausgangssubstrat: Identifikation und Analyse Evaluierung des Substrats durch Inhaltsanalysen.....	6
<b>3.1.1. Chemische Zusammensetzung Ausgangssubstrate</b> .....	6
<b>3.1.2. Mineralstoffzusammensetzung Ausgangssubstrate:</b> .....	7
3.2. AP3: Larvenproduktion: Versuche: Inhaltsanalysen der Larven .....	11
<b>3.2.1. Chemische Zusammensetzung der Larven</b> .....	11
<b>3.2.2. Mineralstoffzusammensetzung Larven</b> .....	14
3.3. AP6: Ökologische Analyse: Untersuchung zur Verwertbarkeit und Qualität des Restsubstrates.....	17
3.4. Bilanzierung von ausgewählten Nährstoffen bei der Larvenmast .....	23
4. Literatur .....	25

## 1. Einleitung

Die Larven der Schwarzen Soldatenfliege, *Hermetia illucens*, sind in der Lage, ein weites Spektrum an organischem Material als Substrat zu nutzen. Auch Rest- und Nebenstoffe aus der lokalen landwirtschaftlichen Produktionskette könnten so in hochwertiges Protein und Fett umgewandelt werden und könnten zum Teil Proteinfuttermittel für Geflügel, Fische und Schweine ersetzen. In der Literatur wurde bereits mehrfach gezeigt, dass unterschiedliches Futtersubstrat aber Auswirkung auf die Nährstoffzusammensetzung der Larven hat. Hierbei wurde ein Einfluss auf den Rohprotein- und Rohfettgehalt (Tschirner und Simon, 2015; Ooninx et al., 2015; Liu et al. 2017; Jucker et al., 2020), als auch auf die Mineralstoffgehalte (Spranghers et al., 2016; Ooninx et al., 2015; Tschirner und Simon, 2015) der Larven beobachtet. Bevor die Larven zur Futtermittelherstellung verwendet werden können, ist es notwendig die genaue Zusammensetzung der Larven zu kennen (Barragan-Fonesca et al., 2017). Das bei der Larvenzucht anfallende Restsubstrat enthält nennenswerte Gehalte an Nährstoffen, dieses könnte im Sinne der Kreislaufwirtschaft beispielsweise als Dünger weiterverwendet werden.

## 2. Methodik

Im Projekt wurde die Eignung unterschiedlicher regionaler Rest- und Nebenstoffe aus der landwirtschaftlichen Produktionskette als Futtersubstrate (Ausgangssubstrate) für die Larvenzucht untersucht. Insgesamt wurden 26 unterschiedliche Ausgangssubstratmischungen aus jeweils zwei Komponenten getestet (Tabelle 1). In einem Vorversuch wurde ebenfalls die Zugabe von Zeolith in drei verschiedenen Mengenzugaben geprüft. Zur Beurteilung wurden Inhaltsanalysen des Ausgangssubstrates, der Larven und des anfallenden Restsubstrates durchgeführt, sowie der Larvenzuwachs durch den Projektpartner Ecofly ermittelt.

Tabelle 1. Untersuchte Futtersubstratmischungen für die Larvenmast, mit prozentueller Zusammensetzung der Komponenten

Ausgangssubstrat-Mischungen (Komponente 1/Komponente 2)		Komp 1	Komp 2	zusätzlicher Aufschlag
		[%]		
M1	Trockenschlempe/Mais	70	30	
M2	Rapsextraktionsschrot/Mais	65	35	
M3	Weizenkleie/Mais	65	35	
M4	Kartoffel/Weizenkleie	70	30	
M5	Malzkeime/Mais	60	40	
M6	Brotreste/Weizenkleie	70	30	
M7	Ausputz/Weizenkleie	60	40	
M8	Weizenkleie/Maisquellwasser	70	30	
M9	Weizenkleie/Mais	67	33	
M10	Weizenkleie/Nudeln	67	33	
M11	Apfeltrester/Nudeln	50	50	
M12	Trockenschlempe/Nudeln	50	50	
M13	Biertreber/Nudeln	50	50	
M14	Rübenschnitzel/Nudeln	65	35	
M15	Weizenkleie/Nudeln	67	33	
M16	Weizenkleie/Ausputz	55	45	
M17	Malzkeime/Nudeln	60	40	
M18	Rapsextraktionsschrot/Nudeln	68	32	
V M1	Rübenschnitzel/Weizenkleie	50	50	
V M2	Kartoffel/Trockenschlempe	80	20	
V M4	Maisquellwasser/Weizenkleie	50	50	
V M6	Kartoffel/Weizenkleie	50	50	
Z0	Mais/Weizenkleie/Zeolith	30	70	Aufschlag 0 % Zeolith auf TM
Z1	Mais/Weizenkleie/Zeolith	30	71	Aufschlag 10 % Zeolith auf TM
Z2	Mais/Weizenkleie/Zeolith	30	72	Aufschlag 20 % Zeolith auf TM
Z3	Mais/Weizenkleie/Zeolith	30	73	Aufschlag 30 % Zeolith auf TM

Die Probenahme aus den drei Fraktionen (Ausgangssubstrat, Larven, Restsubstrat) erfolgte durch den Projektpartner Ecofly. Ebenfalls wurde vom Projektpartner Restsubstrat welches aus der Ausgangssubstratmischung Weizenkleie/ Nudeln angefallen war zu Düngerpellets verarbeitet.

### **Analyse:**

Die von Ecofly erhaltenen Proben wurden zur Analyse homogenisiert, eine Teilprobe entnommen und zur Bestimmung des Wassergehaltes im Trockenschrank bei 105°C (Ausgangssubstrat und Restsubstrat) bzw. mittels Gefriertrocknung (Larven) getrocknet. Die Bestimmung von Gesamt-C und -S erfolgte mittels Elementaranalysator (LECO, Truspec CNS) von der getrockneten gemahlten Probe. Der Gesamtstickstoff wurde mittels Kjeldahl-Verfahren (Rohprotein =  $N \times 6,25$ ; Kjeltec System, Tecator) bestimmt. Die Haupt- und Spurenelemente wurden nach Aufschluss durch Trockenveraschung (Restsubstrat) sowie durch Mikrowellenaufschlussverfahren (Ausgangssubstrat und Larven) mittels ICP-OES (Perkin Elmer, OPTIMA 3000XL) in der Aufschlusslösung bestimmt. Die Analyse der futterrelevanten Nährstoffe im Ausgangssubstrat: Rohfaser, Rohfett, Rohasche, Stärke sowie N-freie Extraktstoffe erfolgte nasschemisch nach der Weender Methode entsprechend dem VDLUFA-Methodenbuch.

Von ausgewählten Restsubstratproben wurde pH, Leitfähigkeit, Salzgehalt und die Feuchtdichte sowie folgende Kompostreifeparameter bestimmt: aerobe biologische Aktivität, gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) und SOLVITA®. Der Kompostreifeparameter: aerobe biologische Aktivität erfolgte durch die Messung der Sauerstoffaufnahme nach FprEN 16087-1. Der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) wurde im Wasserextrakt nach Chanyasak & Kubota (1981) mittels CFA (Continuous Flow Analyzer, Alliance Instruments) gemessen. Die Kohlendioxid- und Ammoniak-Konzentration, die sich über der Probe im geschlossenen Testbehälter einstellt, wurde mit dem SOLVITA® Testkit bestimmt.

Die Düngerpellets sowie das entsprechende Restsubstrat wurden zusätzlich in der Nährstoffzusammensetzung untersucht. Hierbei wurden sowohl Gesamtgehalte als auch für Pflanzen kurzfristig verfügbare Gehalte analysiert. Die Bestimmung der Gesamtgehalte erfolgte im Königswasser Aufschluss mit anschließender Bestimmung der Hauptelemente, Spurenelemente, sowie die Schwermetalle mittels ICP-OES (Perkin Elmer, OPTIMA 3000XL) in der Aufschlusslösung. Zur Bestimmung der kurzfristig verfügbaren Gehalte wurde ebenfalls aus der Frischprobe ein  $\text{CaCl}_2$  Extrakt für die Nmin Bestimmung sowie CAL Extrakte für die verfügbaren Gehalte von P und K hergestellt. Die Analyse von  $\text{NH}_4\text{-N}$  und  $\text{NO}_3\text{-N}$  (Nmin) erfolgte mittels CFA (Continuous Flow Analyzer, Alliance Instruments). Die Bestimmung von P (Phosphor) und K (Kalium) im CAL Extrakt erfolgte mittels ICP-OES (Perkin Elmer, OPTIMA 3000XL).

### **Statistische Auswertung:**

Tabellen und Grafiken wurden in Excel erstellt. Die Cluster Analyse erfolgte nach angleichen der Daten mittels Z-Transformation anhand des Evolutionary Algorithmus im Solver von Excel und wurde mit der Cluster Analyse (hierarchische Methode) im SPSS (SPSS Statistics 20) verglichen. Da keine Normalverteilung der Daten vorlag und Varianzhomogenität gegeben war, wurde zur Überprüfung von signifikanten Unterschieden ( $p < 0,05$ ) zwischen den verschiedenen Substraten die nicht parametrische ANOVA (Kruskal- Wallis) mit anschließendem paarweisem Vergleich mittels Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni) (SPSS Statistics 20) verwendet.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1. AP2: Ausgangssubstrat: Identifikation und Analyse Evaluierung des Substrats durch Inhaltsanalysen

Die in dieser Studie untersuchten Ausgangssubstrate variierten in ihren Inhaltstoffen und in ihrer chemischen Zusammensetzung und wiesen eine beträchtliche Menge an Nährstoffen auf, die potenziell in Insektenbiomasse umgewandelt werden kann. Die Inhaltsstoffanalyse zeigt, dass ein sehr breites Spektrum an Futtersubstraten für die Larvenmast getestet wurde (Tabelle 2 und Tabelle 3).

##### 3.1.1. Chemische Zusammensetzung Ausgangssubstrate

Je nach Mischung variiert der organische Anteil der Futtermischungen (Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, Stickstoff-freie Extraktstoffe (NfE)) zwischen 85,2 und 98,8 % und der anorganische Anteil (Rohasche) entsprechend zwischen 1,2 und 14,8 %. Hohe Rohproteingehalte über 238 g/kg TM besitzen 6 Substratmischungen (M18, M12, M7, M8, M2 und M1), wobei die Mischung M18 den höchsten Gehalt mit 325 g/kg TM besitzt. Der Rohfett-Gehalt der Ausgangssubstrate lag im Mittel bei 51,5 g/kg TM. Die höchsten Rohfettgehalte von knapp über 10 % TM zeigten die Mischungen M1 sowie M7. Der Rohfasergehalt ist ebenfalls sehr variabel und beträgt zwischen 41 und 179 g/kg TM. Bei den Stickstoff-freien Extraktionsstoffen, welcher die Differenz zwischen der Trockensubstanz und der Summe der analytisch ermittelten Rohnährstoffe Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und Rohasche darstellt, kommen Gehalte zwischen 472 und 759 g/kg TM vor.

Anhand dieser chemischen Verbindungen lassen sich durch Cluster Analyse die Futtersubstrate in 7 Gruppen einteilen (Tabelle 4). Die Substrate der Gruppe 1 und 2 besitzen hohe Rohproteingehalte über 238 g/kg TM. Vergleichbar sind diese Proteingehalte mit den high-protein Substratmischungen in den Studien von Ooninx et al. (2015b) und Tschirner und Simon (2014). Die Auswirkung dieser proteinreichen Ausgangssubstrate auf die Larvenproduktion wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Während Tschirner und Simon (2014) eine hohe Sterberate bei den Larven beobachten, erzielen Ooninx et al. (2015b) eine geringe Sterberate und eine hohe Effizienz in der Futterumwandlung (ECI). Gruppe 1 und 2 unterscheiden sich durch ihren Rohfettgehalt, dieser ist in Gruppe 1 niedrig und liegt im Mittel bei 50 g/kg TM. Die Substrate M1 und M7 aus Gruppe 2 haben hingegen hohe Rohfettgehalte (im Mittel 110 g/kg TM). Ooninx et al. (2015b) wählte in seiner Studie ebenfalls Substratmischungen bei dem er Protein- und Fettanteil variierte, konnte aber keinen signifikanten Unterschied in der Effizienz der Futterumwandlung zwischen Varianten bei den Larven der Schwarzen Soldatenfliege finden. In Gruppe 3 finden sich fast alle Substratmischungen mit Weizenkleie als Hauptkomponente. Weizenkleie besitzt im Durchschnitt Rohproteingehalte zwischen 160 und 182 g/kg TM, Rohfettgehalte zwischen 43-45 g/kg TM und Rohfasergehalte zwischen 91 und 134 g/kg TM (Grunert, 2019, beweka, 2020). Die Nährstoffgehalte dieser Gruppe liegen im Mittel ebenfalls in diesem Größenbereich. Gruppe 4 enthält ebenfalls in einigen Mischungen die Komponente Weizenkleie. Diese ist aber mit Stärkehaltigen Komponenten wie Kartoffel oder Mais gemischt, daher liegt der Gehalt an den Stickstoff-freien Extraktionsstoffen (NfE), zu denen auch die Stärke dazugehört, im Mittel bei 722 mg/kg TM und ist etwas höher als in Gruppe 3. Ebenfalls befinden sich in dieser Gruppe die Substratmischungen mit den niedrigsten Rohfasergehalten. Dies kann für die Larvenzucht zum Vorteil sein, denn ligninreiches Material kann durch die Larven der Schwarzen Soldatenfliege kaum verdaut werden (St.Hilaire et al., 2007; Liu et al., 2018). In unterschiedlichen Studien wurde die negative Auswirkung auf den

Larvenbiomassertrag und die Entwicklungsdauer bei Substraten mit einem höheren Anteil von Lignin und Zellulose beobachtet (St.Hilaire et al., 2007; Tschirner und Simon, 2014; Liu et al., 2018). In der vorliegenden Arbeit sind hohe Rohfasergehalte in den Varianten V M6, M14 und M11 zu finden (Gruppe 5 und 6). Die Mischung M 11 besitzt mit 179 g/kg TM mit Abstand den höchsten Rohfasergehalt der untersuchten Futtersubstrate. Verantwortlich ist hierfür der Rohfaserträger Apfeltrester, welcher zu 50% der Substratmischung ausmacht. Neben dem hohen Rohfasergehalt besitzt diese Mischung im Vergleich ebenfalls einen sehr niedrigen Aschegehalt mit mittleren Rohfettgehalten und bildet daher allein Gruppe 5. Rübenschnitzel in der Substratmischung M14 gehört ebenfalls zu den landwirtschaftlichen Nebenprodukten mit hohem Rohfasergehalt. Die beiden Mischungen in Gruppe 6 besitzen zudem sehr niedrige Rohfettgehalte (26-27 g/kg TM), haben aber dafür, bei den in Einsatz gekommenen Substraten, einen relativ hohen Aschegehalt (72 mg/kg TM). Liu et al. (2018) stellen in ihrer Arbeit die Hypothese auf, dass ein ausgewogenes Verhältnis von Protein : Fett : verdauliche Kohlenhydrate (ohne Pflanzenfasern) (2:1:2) im Futtersubstrat die Entwicklung der Larven begünstigen könnten. In der vorliegenden Arbeit könnten als verdauliche Kohlenhydrate die Stickstoff-freien Extraktstoffe (NfE) herangezogen werden. Ein ähnliches Verhältnis besitzen in der vorliegenden Studie die Substratvarianten M1, M7, M12, M13 und VM4 mit einem Verhältnis von 2-5 : 1 : 5-9. Gruppe 7 wird von den im Vorversuch getesteten Substratmischungen mit Zeolith gebildet und besitzen naturgemäß durch die Zugabe des Silikates den höchsten Aschegehalte.

### 3.1.2. Mineralstoffzusammensetzung Ausgangssubstrate:

So wie bei den chemischen Verbindungen ist die Bandbreite der Mineralstoffzusammensetzung der Ausgangssubstrate erwartungsgemäß ebenfalls sehr groß. Der Schwefelgehalt korreliert dabei mit den Rohproteingehalten. Wobei zwei Gruppen zu unterscheiden sind. Ausgangssubstrate mit einem mittlere Schwefelgehalt korrelieren sehr stark mit dem Rohproteingehalt ( $R^2=0,913$ ;  $p<0,001$ ). In den Ausgangssubstrate M2, M8, M14, V M2 ist die Schwefelkonzentration bei gleichbleibenden Rohproteingehalt deutlich höher und korrelieren mit  $R^2=0,794$ ;  $p<0,005$ . Bei den anderen Mineralstoffen gibt es keinen direkten Zusammenhang. Bei den definierten Substratgruppen sind in Gruppe 7 die durch das Zeolith (Alumosilikate) bedingten hohen Gehalte von Ba, Fe, und Sr deutlich zu erkennen. Trotz der sehr unterschiedlichen Ausgangsstoffe der beiden Substratmischungen in Gruppe 6 (Rübenschnitzel/Nudeln und Kartoffel/Weizenkleie) besitzen diese fast die gleiche Elementzusammensetzung, insbesondere von Ca, K, Mg, P, S, Cu, Ni und Sr. Die restlichen Substratgruppen zeigen kein einheitliches Bild in der Mineralstoffzusammensetzung. Alle untersuchten Ausgangssubstrate besitzen keine erhöhten Schwermetallgehalte von Cadmium und Blei und sind somit für die Larvenmast unproblematisch.

Die im Vorversuch getesteten Substratmischungen mit Zeolith sowie 4 weitere Substratmischungen (V M1, V M2, V M4, V M6) erwiesen sich sehr rasch für die Larvenmast als nicht geeignet und nicht praktikabel, wodurch die Versuchsreihen dieser Varianten nicht weitergeführt wurden.

Tabelle 2. Nährstoffzusammensetzung der untersuchten Ausgangssubstratmischungen in g/kg TM sowie der Energiegehalt in in MJ

Ausgangssubstrat-Mischungen (Komponente 1/Komponente 2)		Komp 1	Komp 2	Wasser- gehalt	Rohprotein	Rohfett	Rohfaser	N-freie Extraktstoffe	Rohasche	Stärke	umsetzbare Energie*	
		[%]		[%]	[g/kg TM]						[MJ]	
M1	Trockenschlempe/Mais	70	30	56,3	238	113	62	544	42	253	16,20	
M2	Rapsextraktionsschrot/Mais	65	35	55,7	260	50	102	531	57	254	13,57	
M3	Weizenkleie/Mais	65	35	55,6	142	52	75	696	36	255	14,17	
M4	Kartoffel/Weizenkleie	70	30	68,3	116	24	59	723	76	256	13,96	a
M5	Malzkeime/Mais	60	40	59,0	148	38	62	724	29	257	14,42	
M6	Brotreste/Weizenkleie	70	30	60,6	156	48	41	710	44	258	15,19	
M7	Ausputz/Weizenkleie	60	40	71,2	287	107	74	484	48	259	15,43	
M8	Weizenkleie/Maisquellwasser	70	30	68,7	281	47	81	505	88	260	13,24	a
M9	Weizenkleie/Mais	67	33	69,3	172	55	81	646	45	261	13,66	
M10	Weizenkleie/Nudeln	67	33	75,2	156	51	89	654	49	262	13,59	
M11	Apfeltrester/Nudeln	50	50	72,7	108	46	179	641	25	263	10,14	a
M12	Trockenschlempe/Nudeln	50	50	70,3	287	61	67	556	28	264	15,64	
M13	Biertreber/Nudeln	50	50	70,2	201	76	98	595	28	265	14,21	
M14	Rübenschnitzel/Nudeln	65	35	75,1	126	26	117	658	72	266	10,95	a
M15	Weizenkleie/Nudeln	67	33	68,1	175	48	93	630	55	267	13,04	
M16	Weizenkleie/Ausputz	55	45	67,9	177	45	91	635	53	268	13,18	
M17	Malzkeime/Nudeln	60	40	66,5	200	31	55	689	24	269	14,49	
M18	Rapsextraktionsschrot/Nudeln	68	32	64,3	325	40	100	472	62	270	13,41	
V M1	Maisquellwasser/Weizenkleie	50	50	72,4	232	85	102	561	20	321	13,88	b
V M2	Kartoffel/Weizenkleie	50	50	73,0	103	27	119	679	72	418	11,30	b
V M4	Kartoffel/Trockenschlempe	80	20	76,5	98	36	106	749	12	398	12,36	b
V M6	Rübenschnitzel/Weizenkleie	50	50	70,9	88	45	92	759	15	453	13,23	b
Z0	Mais/Weizenkleie/Zeolith	30	70	73,8	196	54	88	607	54	n.m.	13,06	b
Z1	Mais/Weizenkleie/Zeolith	30	71	71,4	178	57	92	588	85	226	12,91	b
Z2	Mais/Weizenkleie/Zeolith	30	72	71,7	178	52	90	562	116	219	12,40	b
Z3	Mais/Weizenkleie/Zeolith	30	73	72,1	171	54	88	540	148	206	12,00	b
<b>MIN</b>				<b>55,6</b>	<b>88</b>	<b>24</b>	<b>41</b>	<b>472</b>	<b>12</b>	<b>206</b>	<b>10,14</b>	
<b>MAX</b>				<b>76,5</b>	<b>325</b>	<b>113</b>	<b>179</b>	<b>759</b>	<b>148</b>	<b>453</b>	<b>16,20</b>	
a nicht praxistauglich aufgrund schlechter Siebfähigkeit der Larven in der Produktion												
b Vorversuch: diese Substrate zeigten sich als nicht praktikabel, Mast wurde abgebrochen												

Tabelle 3. Mineralstoffzusammensetzung der untersuchten Ausgangssubstratmischungen in g/kg TM bzw. mg/kg TM

Ausgangssubstrat-Mischungen (Komponente 1/Komponente 2)		Komp 1	Komp 2	TM	C	Ca	K	Mg	P	S	Ba	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Sr	Zn	
		[%]		[%]	[g/kg TM]						[mg/kg TM]								
M1	Trockenschlempe/Mais	70	30	43,7	534	0,67	7,92	2,27	5,91	3,30	1,8	0,05	5,3	96	0,49	0,18	2,7	42,8	
M2	Rapsextraktionsschrot/Mais	65	35	44,3	498	4,52	7,59	3,78	9,85	5,10	3,6	0,05	3,6	139	0,60	0,31	8,9	46,6	
M3	Weizenkleie/Mais	65	35	44,4	503	0,48	6,42	2,53	7,20	1,80	4,0	<0,05	5,3	85	0,36	0,13	2,8	56,6	
M4	Kartoffel/Weizenkleie	70	30	31,7	466	0,68	6,45	1,80	3,35	1,70	4,9	0,11	7,7	559	1,06	0,56	2,7	27,5 a	
M5	Malzkeime/Mais	60	40	41,0	500	0,56	5,58	1,20	3,45	1,90	2,8	<0,05	4,3	65	0,24	0,23	3,2	34,0	
M6	Brotreste/Weizenkleie	70	30	39,4	490	0,66	5,36	1,73	4,59	2,20	5,0	<0,05	6,0	78	0,50	0,74	2,4	48,9	
M7	Ausputz/Weizenkleie	60	40	28,8	527	2,07	14,14	3,69	9,00	3,11	6,6	0,07	13,3	174	2,69	0,08	4,5	69,2	
M8	Weizenkleie/Maisquellwasser	70	30	31,3	482	1,15	27,51	9,28	16,65	7,38	8,5	<0,05	16,0	175	2,12	0,13	3,7	140 a	
M9	Weizenkleie/Mais	67	33	30,7	501	0,89	10,33	4,25	10,07	2,11	8,5	<0,05	10,3	116	0,85	<0,05	3,7	74,0	
M10	Weizenkleie/Nudeln	67	33	24,8	499	1,10	10,48	4,12	9,89	2,30	8,7	0,07	11,7	117	0,83	0,20	4,7	78,4	
M11	Apfeltrester/Nudeln	50	50	27,3	519	1,34	5,55	0,72	1,68	1,51	5,4	<0,05	7,8	192	0,45	0,99	4,7	22,9 a	
M12	Trockenschlempe/Nudeln	50	50	29,7	521	0,72	4,09	1,43	3,93	3,71	3,9	0,07	6,4	93	0,34	0,44	2,6	45,9	
M13	Biertreber/Nudeln	50	50	29,8	521	1,42	1,57	1,23	3,44	2,76	6,0	<0,05	27,9	174	0,26	1,19	5,0	53,1	
M14	Rübenschnitzel/Nudeln	65	35	24,9	474	5,96	13,18	1,42	1,27	3,27	14,2	0,13	3,8	689	1,47	1,26	20,8	30,7 a	
M15	Weizenkleie/Nudeln	67	33	31,9	476	0,98	12,41	4,58	12,02	2,14	10,1	<0,05	10,5	125	0,52	0,05	4,0	65,6	
M16	Weizenkleie/Ausputz	55	45	32,1	469	1,32	11,12	3,75	9,72	2,03	9,3	<0,05	10,2	186	0,99	<0,05	4,7	53,4	
M17	Malzkeime/Nudeln	60	40	33,5	483	0,93	6,60	1,21	3,63	2,79	4,4	<0,05	5,5	59	0,39	<0,05	4,3	40,4	
M18	Rapsextraktionsschrot/Nudeln	68	32	35,7	471	5,99	10,94	4,68	11,11	6,01	4,9	<0,05	4,9	156	1,17	<0,05	11,5	57,0	
V M1	Maisquellwasser/Weizenkleie	50	50	27,6	531	1,47	1,25	1,12	3,34	2,84	4,4	<0,05	12,1	132	0,57	0,16	4,5	69,5 b	
V M2	Kartoffel/Weizenkleie	50	50	27,0	468	5,91	13,29	1,61	1,65	3,08	13,5	0,11	3,1	358	1,48	0,53	19,5	24,9 b	
V M4	Kartoffel/Trockenschlempe	80	20	23,5	507	0,79	4,13	0,99	2,05	1,20	2,2	<0,05	4,8	104	0,52	0,70	2,1	21,3 b	
V M6	Rübenschnitzel/Weizenkleie	50	50	29,1	500	0,64	4,07	1,01	2,24	1,13	2,1	<0,05	4,8	107	2,46	0,71	1,8	21,7 b	
Z0	Mais/Weizenkleie/Zeolith	30	70	26,2	503	1,13	10,09	4,27	10,22	2,31	7,5	0,05	9,8	136	0,63	0,16	4,2	74,7 b	
Z1	Mais/Weizenkleie/Zeolith	30	71	28,6	483	1,62	10,22	4,22	9,65	2,23	28,8	<0,05	9,5	402	0,64	0,66	16,4	68,6 b	
Z2	Mais/Weizenkleie/Zeolith	30	72	28,3	464	1,97	10,21	4,22	9,19	2,15	49,0	<0,05	9,3	589	0,67	0,91	29,0	63,3 b	
Z3	Mais/Weizenkleie/Zeolith	30	73	27,9	448	2,54	11,13	4,38	9,11	2,11	71,4	<0,05	9,0	831	0,75	1,01	40,4	67,6 b	
<b>MIN</b>				<b>23,5</b>	<b>448</b>	<b>0,48</b>	<b>1,25</b>	<b>0,72</b>	<b>1,27</b>	<b>1,13</b>	<b>1,8</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>3,1</b>	<b>59</b>	<b>0,24</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>1,8</b>	<b>21,3</b>	
<b>MAX</b>				<b>44,4</b>	<b>534</b>	<b>5,99</b>	<b>27,51</b>	<b>9,28</b>	<b>16,65</b>	<b>7,38</b>	<b>71,4</b>	<b>0,13</b>	<b>27,9</b>	<b>831</b>	<b>2,69</b>	<b>1,26</b>	<b>40,4</b>	<b>140</b>	
a nicht praxistauglich aufgrund schlechter Siebfähigkeit der Larven in der Produktion																			
b Vorversuch: diese Substrate zeigten sich als nicht praktikabel, Mast wurde abgebrochen																			

Tabelle 4: Zuordnung der Ausgangssubstrate in Gruppen mittels Clusteranalyse anhand der Parameter: Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, N-freie Extraktionsstoffe und Rohasche

Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 7
hoher Rohproteingehalt niedriger Rohfettgehalt	hoher Rohproteingehalt hoher Rohfettgehalt	mittlerer Rohproteingehalt mittlerer Rohfettgehalt	mittlerer Rohproteingehalt niedriger Rohfettgehalt höhere nFE (Stärke)	niedriger Rohproteingehalt mittlerer Rohfettgehalt hoher Rohfasergehalt	niedriger Rohproteingehalt niedriger Rohfettgehalt hoher Rohfasergehalt	hoher Rohaschegehalt
<b>M2</b> Rapsextraktionsschrot/Mais <b>M8</b> Weizenkleie/Maisquellwasser <b>M12</b> Trockenschlempe/Nudeln <b>M18</b> Rapsextraktionsschrot/Nudeln	<b>M1</b> Trockenschlempe/Mais <b>M7</b> Ausputz/Weizenkleie	<b>V M4</b> Maisquellwasser/Weizenkleie <b>M9</b> Weizenkleie/Mais <b>M10</b> Weizenkleie/Nudeln <b>Z0</b> Mais/Weizenkleie/Zeolith <b>M13</b> Biertreber/Nudeln <b>M15</b> Weizenkleie/Nudeln <b>M16</b> Weizenkleie/Ausputz	<b>M3</b> Weizenkleie/Mais <b>M4</b> Kartoffel/Weizenkleie <b>M5</b> Malzkeime/Mais <b>M6</b> Brotreste/Weizenkleie <b>V M1</b> Rübenschnitzel/Weizenkleie <b>V M2</b> Kartoffel/Trockenschlempe <b>M17</b> Malzkeime/Nudeln	<b>M11</b> Apfeltrester/Nudeln	<b>V M6</b> Kartoffel/Weizenkleie <b>M14</b> Rübenschnitzel/Nudeln	<b>Z1</b> Mais/Weizenkleie/Zeolith <b>Z2</b> Mais/Weizenkleie/Zeolith <b>Z3</b> Mais/Weizenkleie/Zeolith

Tabelle 5: Mittelwert und Standardabweichung der definierten Gruppen durch Clusteranalyse

	Rohprotein	Rohfett	Rohfaser	N-freie Extraktstoffe	Rohasche
	[g/kg TM]				
<b>Gruppe 1</b>	288 ± 27	50 ± 9	88 ± 17	516 ± 36	59 ± 24
<b>Gruppe 2</b>	262 ± 34	110 ± 4	68 ± 8	514 ± 42	45 ± 4
<b>Gruppe 3</b>	187 ± 25	59 ± 15	92 ± 7	618 ± 33	44 ± 14
<b>Gruppe 4</b>	135 ± 38	39 ± 10	70 ± 23	722 ± 26	34 ± 22
<b>Gruppe 5*</b>	108	46	179	641	25
<b>Gruppe 6</b>	114 ± 16	27 ± 1	118 ± 1	669 ± 15	72 ± 0
<b>Gruppe 7</b>	176 ± 3	54 ± 2	90 ± 2	563 ± 24	116 ± 31

\*Einzelwert, da die Gruppe 5 nur durch eine Substratmischung gebildet wird

## 3.2. AP3: Larvenproduktion: Versuche: Inhaltsanalysen der Larven

### 3.2.1. Chemische Zusammensetzung der Larven

Die Trockenmasse der Larven liegt in der vorliegenden Arbeit zwischen 27% und 36% und liegt im Bereich der in der Literatur ermittelten Gehalte (18-36 %) (Tschirner und Simon, 2015; Oonincx et al., 2015b; Ewald et al., 2020). Die erreichten Rohproteingehalte der Larven liegen zwischen 330 g/kg TM und 520 g/kg TM und sind ebenfalls mit Literaturwerten vergleichbar. Bei verschiedenen Futtersubstraten wie Obst- und Gemüseabfällen, Schweine-, Rinder- und Hühnermist, Hühnerfutter oder Rübenschnitzel wurden ebenfalls Rohproteingehalte zwischen 349 und 520 g/kg TM ermittelt (Tschirner und Simon, 2015; Diener et al. 2009; Oonincx et al., 2015b; Liu et al., 2017; Spranghers et al., 2016). In der vorliegenden Studie gibt es in den Rohprotein Gehalten zwischen den Varianten zwar statistische Unterschiede ( $p < 0,001$ ), jedoch besteht keine Korrelation zwischen den Rohproteingehalten von Ausgangssubstrat und Larven ( $R^2 = 0,042$ ;  $p = 0,413$ ). Abbildung 1 zeigt die Rohproteingehalte des Ausgangssubstrates im Vergleich zu den Larven.

Tabelle 6: Mittelwert und Standardabweichung der Trockenmasse, Rohprotein und Rohfett Gehalte der Larven in g/kg TM

	Variante	Komp 1	Komp 2	TM	Rohprotein	Rohfett
		[%]		[%]	[g/kg TM]	
M1	Trockenschlempe/Mais	70	30	33,9 ± 0,5	405 ± 14	348 ± 12
M2	Rapsextraktionsschrot/Mais	65	35	31,4 ± 1,6	474 ± 4	244 ± 13
M3	Weizenkleie/Mais	65	35	29,1 ± 0,2	480 ± 9	256 ± 10
M4	Kartoffel/Weizenkleie	70	30	28,5 ± 0,8	386 ± 14	180 ± 21
M5	Malzkeime/Mais	60	40	29,3 ± 2,3	427 ± 13	246 ± 2
M6	Brotreste/Weizenkleie	70	30	34,1 ± 0,8	372 ± 10	378 ± 23
M7	Ausputz/Weizenkleie	60	40	34,4 ± 0,4	455 ± 5	316 ± 2
M8	Weizenkleie/Maisquellwasser	70	30	32,1 ± 0,6	500 ± 13	254 ± 3
M9	Weizenkleie/Mais	67	33	33,8 ± 1,2	477 ± 2	300 ± 8
M10	Weizenkleie/Nudeln	67	33	34,4 ± 0,7	465 ± 3	299 ± 6
M11	Apfeltrester/Nudeln	50	50	29,6 ± 0,6	463 ± 9	285 ± 9
M12	Trockenschlempe/Nudeln	50	50	36,0 ± 0,4	419 ± 17	368 ± 13
M13	Biertreber/Nudeln	50	50	32,8 ± 0,4	486 ± 10	299 ± 5
M14	Rübenschnitzel/Nudeln	65	35	28,4 ± 1,9	496 ± 11	221 ± 21
M15	Weizenkleie/Nudeln	67	33	27,5 ± 0,4	450 ± 26	318 ± 9
M16	Weizenkleie/Ausputz	55	45	27,3 ± 1,1	486 ± 7	289 ± 3
M17	Malzkeime/Nudeln	60	40	34,5 ± 1,1	330 ± 8	372 ± 22
M18	Rapsextraktionsschrot/Nudeln	68	32	30,6 ± 0,3	520 ± 3	243 ± 12
<b>MIN</b>				<b>27,3</b>	<b>330</b>	<b>180</b>
<b>MAX</b>				<b>36,0</b>	<b>520</b>	<b>378</b>

Die Rohfettgehalte der Larven liegen zwischen 180 g/kg TM und 378 g/kg TM. Ewald et al. (2020) erzielte in seiner Studie ebenfalls Werte in diesem Bereich (110-580 g/kg TM). Spranghers et al. (2016) konnte in einem Teil seiner Varianten sogar deutlich niedrigere Rohfettgehalte zwischen 21 und 62 mg/kg TM erzielen. So wie mehrfach berichtet (Liu et al., 2017, Spranghers et al., 2016, Ewald et al. 2020), konnte auch in dieser Untersuchung keine Korrelation im Rohfettgehalt zwischen Ausgangssubstrat und Larven gefunden werden ( $R^2 = 0,202$ ;  $p = 0,061$ ). Die Autoren der Studien berichten jedoch von starken Korrelationen des Rohfettgehaltes mit nicht faser-haltigen Kohlenhydraten (Spranghers et al., 2016, Ewald et al. 2020) sowie dem Aschgehalt des Ausgangssubstrates (Spranghers et al., 2016). Ebenfalls beobachten sie, dass das Fettsäuremuster der

Larven im Vergleich zum Ausgangssubstrat zeigt, dass die Larven der Schwarzen Soldatenfliege, Fettsäuren (wie beispielsweise die Laurinsäure C12:0) auch aus nicht faser-haltigen Kohlenhydraten wie Stärke und Zucker synthetisieren (Spranghers et al., 2016, Ewald et al. 2020). In der vorliegenden Arbeit korreliert der Rohfettgehalt der Larven weder mit den Stickstoff-freien Extraktionsstoffen (NfE) noch mit dem Stärke Gehalt des Ausgangssubstrates. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass bei der durchgeführten Weender Analyse des Ausgangsmaterials beim Rohfaseranteil ausschließlich die unlöslichen Faserbestandteile wie Cellulose und Lignin erfasst werden. Hemicellulosen, Pektin und lösliche Anteile (geringe Mengen) von Lignin und Cellulose werden den Stickstoff-freien Extraktionsstoffen (NfE) zugerechnet. Somit wird eigentlich bestätigt, dass die Larven neben der Cellulose und dem Lignin ebenfalls die Hemicellulosen nicht zum Aufbau der Fettreserven nutzen können. Günstig für den Fettaufbau sind in dieser Arbeit die Mastsubstrate M6, M17, M12 und M1. Sie enthalten Brotreste, Malzkeime und Trockenschlempe als Hauptkomponente. Vor allem bei Brot wurde bereits gezeigt, dass sich dieses aufgrund des hohen Anteils an nicht-faserhaltigen Kohlenhydraten positiv auf den Rohfettgehalt der Schwarzen Soldatenfliege auswirkt (Ewald et al.; 2020). Die Autoren von Ewald et al. (2020) schließen aufgrund des engen Zusammenhangs der identifizierten Fettsäuren und des Rohfettgehaltes, dass die Fraktion "Rohfett" in den Larven, hauptsächlich durch Fettsäuren gebildet wird. Die Korrelation zwischen Kohlenstoffgehalt und dem Rohfettgehalt der Larven ( $R^2=0,71$ ;  $p<0,001$ ) sprechen ebenfalls für diese Annahme.

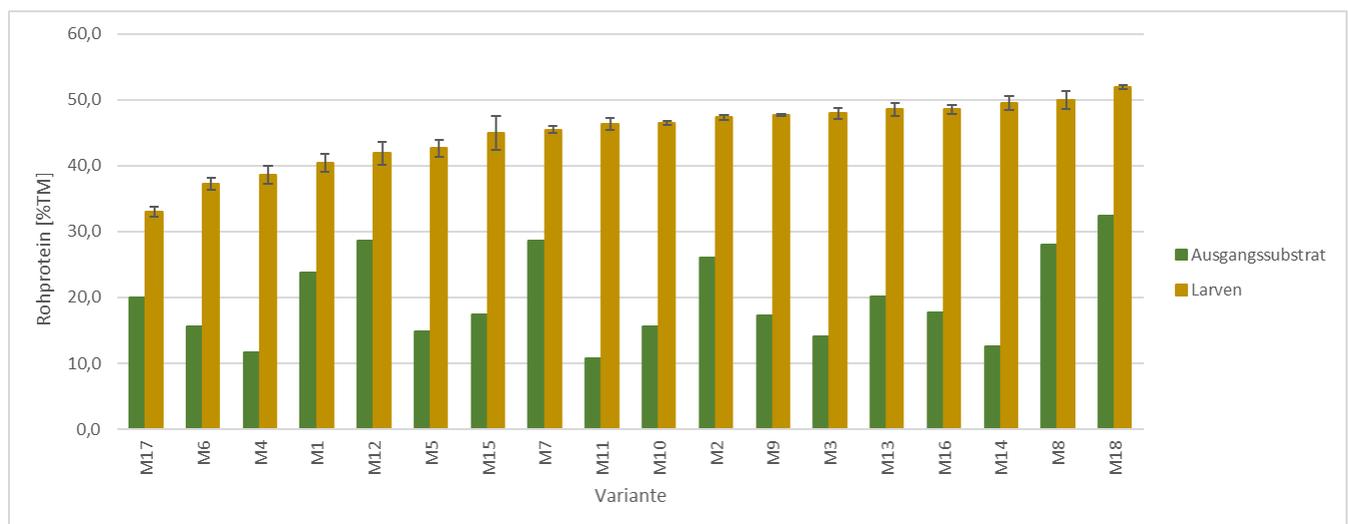


Abbildung 1: Rohproteingehalt im Ausgangssubstrat und in den entsprechend gemästeten Larven in % TM

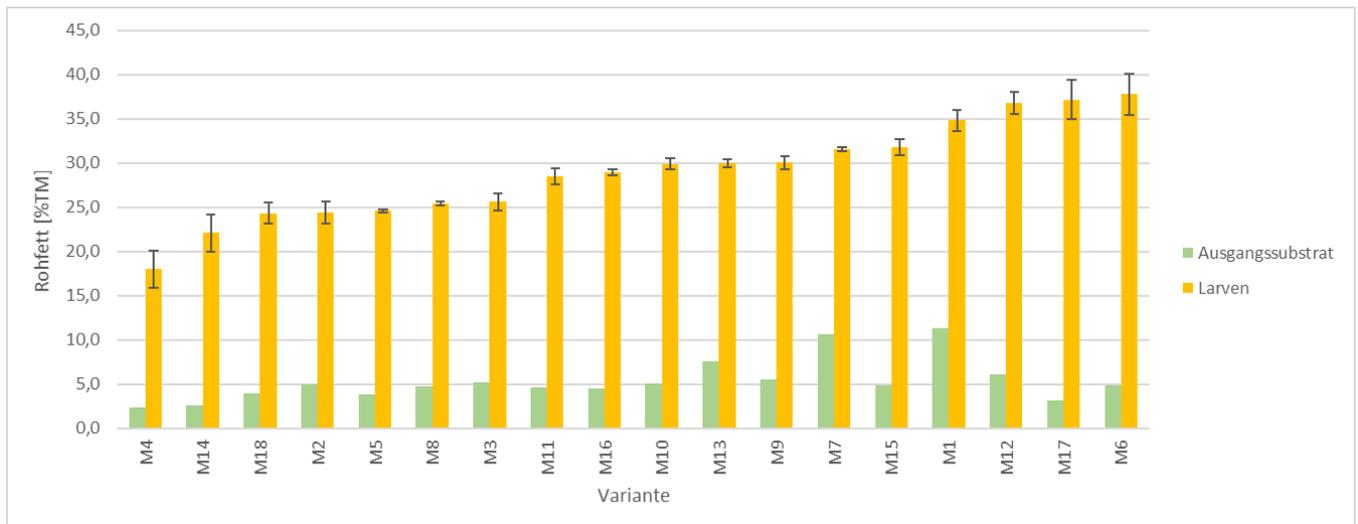


Abbildung 2: Rohfettgehalt im Ausgangssubstrat und in den entsprechend gemästeten Larven in % TM

Betrachtet man die Rohprotein- und Rohfett-Zusammensetzung der Larven aus dem Blickwinkel der definierten Gruppen der Ausgangssubstrate, bei denen Substratmischungen mit ähnlichen Eigenschaften (Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, Rohasche und NfE) in einer Gruppe zusammengefasst wurden, ist ersichtlich, dass die Zusammensetzung der Larven in den Gruppen nicht immer einheitlich ist (Abbildung 3). Bei drei von vier Substratmischungen in Gruppe 1 weisen die Larven, so wie das Ausgangssubstrat, hohe Rohprotein- und niedrigere Rohfett-Gehalte auf. Die Larven aus Substrat M12 bilden jedoch einen Ausreißer in dieser Gruppe und besitzt deutlich höhere Rohfett- und niedrigere Rohprotein-Gehalte. Die Larven der beiden Ausgangssubstrate in Gruppe 2, besitzen so wie im Ausgangssubstrat vorliegend, höhere Rohfett-Gehalte. Das Rohprotein konnte aber weniger effizient als in Gruppe 1 eingebaut werden. Die Schwankungsbreite der Rohfett- und Rohprotein-Gehalte der Larven in Gruppe 3 ist am geringsten. Bis auf M13 besitzen alle anderen Substrate dieser Gruppe Weizenkleie als Hauptkomponente. Ob als zweite Komponente Mais, Nudeln oder Ausputz eingesetzt wird führt zu keiner Änderung in den Rohprotein- oder Rohfett-Gehalten in den Larven. Hinsichtlich der Rohprotein- und Rohfett- Zusammensetzung der Larven ist die Gruppe 4 die inhomogenste. Die Ausgangssubstrate führen zu unterschiedlichen Rohprotein- und Rohfettgehalten. Gruppe 5 und 6 beinhalten jeweils nur eine Substratvariante. Die Larven von M14 sind mit hohem Rohproteingehalt und niedrigem Rohfett- Gehalt gekennzeichnet, M11 aus Gruppe 5 besitzt hingegen mittlere Rohproteingehalte und einen durchschnittlichen Rohfettgehalt.

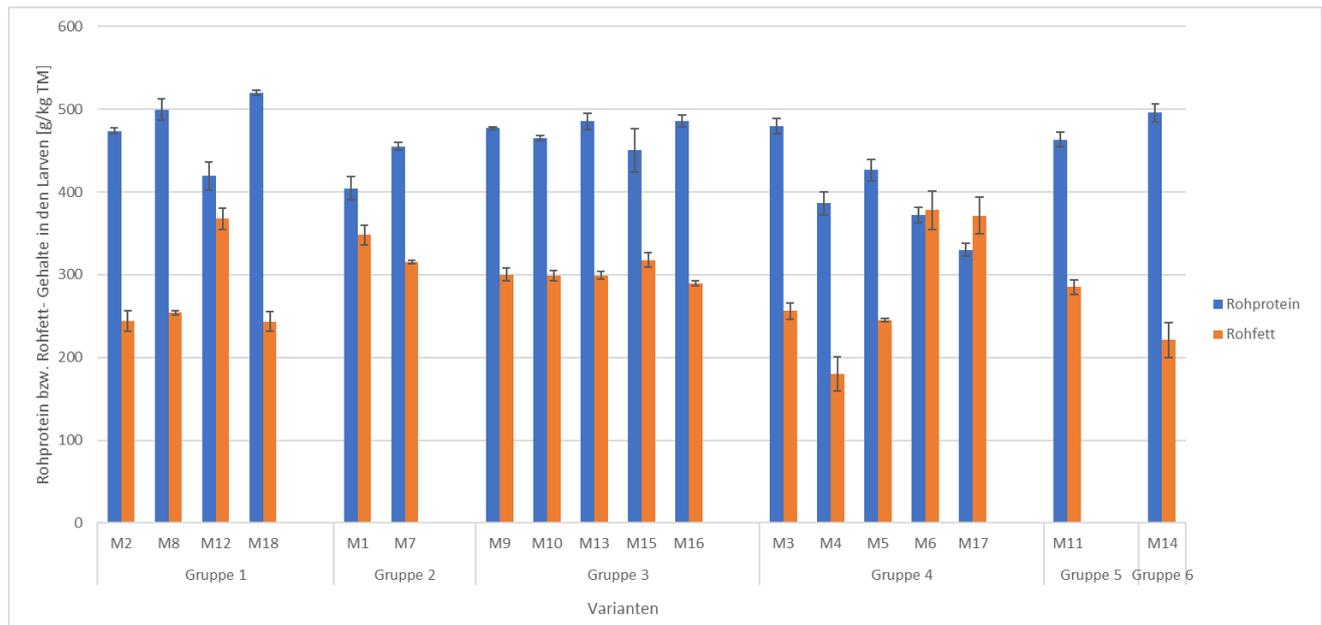


Abbildung 3: Rohprotein- und Rohfettgehalt-Gehalt der Larven in g/kg TM geordnet nach den 6 definierten Gruppen in denen die Ausgangssubstrate anhand der chemischen Zusammensetzung (Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, Rohasche und NfE) zusammengefasst werden können

Tabelle 7: Mittelwert und Standardabweichung der Rohprotein und Rohfett Gehalte der Larven in g/kg TM in den 6 definierten Gruppen in denen die Ausgangssubstrate anhand der chemischen Zusammensetzung (Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, Rohasche und NfE) zusammengefasst werden können

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6
<b>Rohprotein</b>	478 ± 40 <sup>b</sup>	430 ± 29 <sup>a</sup>	473 ± 18 <sup>b</sup>	399 ± 53 <sup>a</sup>	463 ± 9 <sup>ab</sup>	496 ± 11 <sup>b</sup>
<b>Rohfett</b>	257 ± 94 <sup>ab</sup>	332 ± 19 <sup>a</sup>	301 ± 11 <sup>ab</sup>	286 ± 81 <sup>ab</sup>	285 ± 9 <sup>ab</sup>	221 ± 21 <sup>b</sup>
<b>Rohprotein/ Rohfett</b>	1,8 ± 0,41 <sup>b</sup>	1,3 ± 0,16 <sup>a</sup>	1,57 ± 0,1 <sup>ab</sup>	1,53 ± 0,53 <sup>ab</sup>	1,63 ± 0,02 <sup>ab</sup>	2,25 ± 0,17 <sup>b</sup>

### 3.2.2. Mineralstoffzusammensetzung Larven

Die Mineralstoffzusammensetzung der Larven der Schwarzen Soldatenfliege unterscheidet sich wie beim Rohfett und Rohprotein, mit der Fütterung von unterschiedlichen Substraten (Tabelle 8). Die Calcium Gehalte der Larven liegen zwischen 3,41-29,13 g/kg TM und sind im Bereich von bereits beobachteten Gehalten (Spranghers et al., 2016). Vorangegangene Untersuchungen zeigen aber auch, dass je nach Mastsubstrat noch deutlich höhere Calcium Gehalte in den Larven möglich sind. So fand Spranghers et al. (2016) bei Fütterung von Gärresten, Gehalte von 65 g/kg TM sowie Makkar et al. 50-86 g/kg TM. Zwischen den Calcium Gehalten der Ausgangssubstrate und der Larven besteht ein starker linearer Zusammenhang ( $R^2=0,930$ ;  $p<0,001$ ), Calcium wird dabei in den Larven angereichert. Tschirner und Simon (2015) beobachteten ebenfalls eine Korrelation des Calcium Gehaltes der Larven mit dem Substrat, welches zur Aufzucht verwendet wurde. Somit müssen bei einer Anwendung der Larven als Futtermittel die möglichen Unterschiede der Calcium Gehalte, bedingt durch das Futtersubstrat, mitbedacht werden.

Die für die Futtermittelproduktion ebenfalls wichtigen Mengenelemente: Phosphor, Kalium, Magnesium und Schwefel unterscheiden sich ebenfalls in den unterschiedlichen Varianten. Jedoch ist

kein direkter Zusammenhang mit dem Mastsubstrat zu erkennen. Die Phosphor Gehalte liegen zwischen 6,92 und 11,5 g/kg TM und sind somit mit den Phosphor Gehalten von Oonincx et al. (2015b) (6,4-9,7 g/kg TM) zu vergleichen. Oonincx et al. (2015b) beobachtete in seiner Arbeit zudem eine starke Korrelation zwischen Phosphor und Rohproteingehalt der Larven. Diese kann in unserer Untersuchung nicht bestätigt werden ( $R^2=0,357$ ;  $p=0,009$ ). Die Arbeit von Spranghers et al. (2016) zeigt, dass der Phosphor Gehalt der Larven auch in einem deutlich niedrigeren Bereich liegen kann. Die Autoren konnten bei den Aufzuchtsubstraten: Gemüseabfall, Restaurantabfall, sowie Gärresten in den Larven nur Phosphorgehalte im Bereich von 4,04-4,99 g/kg TM finden. Bei der Aufzucht mit unterschiedlichen Güllen werden hingegen höher Phosphorgehalte 12,7-19,9 g/kg TM (Oonincx et al. (2015a) erreicht. Die Kalium Konzentration in den Larven beträgt zwischen 8,96-15,34 g/kg TM. Während die Gehalte von Tschirner und Simon (2015) im selben Bereich liegen (10,4-18,8), findet Spranghers et al. (2016) nur halb so hohe Gehalte (5,94-6,75 g/kg TM). Die Magnesium Gehalte variieren in der Literatur mit Werten zwischen 2,11 und 5,61 (Tschirner und Simon; 2015; Spranghers et al., 2016). Auch bei der Mast mit den in dieser Arbeit getesteten Substraten, werden Mg-Gehalte zwischen 2,4 und 4,8 g/kg TM erreicht.

Neben Calcium besteht auch bei Kupfer ein linearer Zusammenhang zwischen Ausgangssubstrat und Larven ( $R^2=0,833$ ;  $p<0,001$ ). Ebenfalls Tschirner und Simon (2015) konnten diesen feststellen und weisen auf die mögliche negative Auswirkung von zu hohen Kupfergehalten bei Fischen hin. Denn Murai et al. (1981) stellte bei Kupfergehalten von über 15 mg/kg im Futter eine reduzierte Wachstumsrate bei Kanalwelsen fest. Die Variante M13 Biertreber/Nudeln überschreitet damit den Grenzwert mit 24,7 mg/kg TM deutlich. Betrachtet man die Schwermetalle Cadmium und Blei, erkennt man eine Anreicherung von Cadmium in den Larven um den Faktor 2 und 5. Die Konzentrationen sind aber sehr gering und liegen deutlich unter dem Grenzwert für Futtermittel. Eine Anreicherung von Blei wie Tschirner und Simon (2015) beschrieben hatten, konnte in den vorliegenden Proben nicht beobachtet werden.

Tabelle 8: Mittlere Mineralstoffkonzentrationen (n= 3) in den Larven in g/kg TM bzw. mg/kg TM im Vergleich zu den Futtermitteln Extraktionsschrot und Fischmehl

Variante	Komp 1	Komp 2	C	Ca	K	Mg	P	S	Al	Ba	Cd	Cu	Fe	Li	Ni	Pb	Sr	Zn	Ca:P	
	[%]		[g/kg TM]						[mg/kg TM]											
M1	Trockenschlempe/Mais	70	30	612	3,93	9,71	3,34	7,98	3,8	17,7	2,6	0,10	5,65	108	0,0	0,4	0,44	11,6	71	1:2,0
M2	Rapsextraktionsschrot/Mais	65	35	560	19,62	12,27	3,85	10,29	6,0	51,4	3,5	0,14	7,90	122	0,1	0,7	0,42	23,9	72	1:0,5
M3	Weizenkleie/Mais	65	35	577	4,79	12,25	3,66	10,11	4,8	14,3	4,1	0,16	12,36	175	0,1	0,7	0,52	14,2	123	1:2,1
M4	Kartoffel/Weizenkleie	70	30	529	4,80	12,15	3,11	8,30	4,1	626,8	7,8	0,54	11,22	475	0,7	1,3	0,50	14,4	88	1:1,7
M5	Malzkeime/Mais	60	40	574	5,25	11,43	3,02	7,84	4,6	30,1	4,4	0,13	10,74	179	0,2	0,8	0,44	17,5	85	1:1,5
M6	Brotreste/Weizenkleie	70	30	620	3,93	8,96	3,21	7,64	3,2	25,9	4,1	0,19	7,14	114	0,1	0,5	0,66	10,7	75	1:1,9
M7	Ausputz/Weizenkleie	60	40	611	7,33	11,92	2,85	7,89	4,5	24,5	6,3	0,25	14,02	135	0,0	1,6	0,37	13,8	103	1:1,1
M8	Weizenkleie/Maisquellwasser	70	30	584	5,22	15,34	4,80	11,54	6,1	9,1	8,1	0,22	15,33	139	0,0	1,2	0,16	14,0	151	1:2,2
M9	Weizenkleie/Mais	67	33	602	5,43	12,00	3,59	9,50	4,3	8,2	9,3	0,30	12,15	157	0,0	0,4	0,21	18,0	148	1:1,8
M10	Weizenkleie/Nudeln	67	33	607	5,19	12,05	3,27	9,16	4,4	9,1	10,6	0,29	14,58	154	0,1	0,5	0,24	20,5	142	1:1,8
M11	Apfeltrester/Nudeln	50	50	628	10,46	10,20	3,04	7,33	3,8	32,8	12,0	0,16	11,44	122	0,1	0,3	0,75	40,1	87	1:0,7
M12	Trockenschlempe/Nudeln	50	50	680	3,41	8,99	2,40	6,92	3,6	46,1	10,9	0,16	8,53	98	0,1	0,5	0,09	13,6	72	1:2,0
M13	Biertreber/Nudeln	50	50	634	7,13	9,97	2,63	8,04	4,4	42,2	9,2	0,19	24,67	246	0,1	0,6	0,64	23,7	107	1:1,1
M14	Rübenschnitzel/Nudeln	65	35	557	29,13	14,04	3,68	8,96	4,7	147,5	25,3	0,82	9,80	276	0,3	0,9	0,87	101	103	1:0,3
M15	Weizenkleie/Nudeln	67	33	626	3,90	13,59	3,83	10,65	4,2	13,9	9,4	0,32	13,92	177	0,1	0,5	<0,05	14,6	131	1:2,7
M16	Weizenkleie/Ausputz	55	45	610	5,76	13,82	3,35	10,82	4,0	67,9	9,4	0,26	13,28	231	0,3	0,8	<0,05	16,6	124	1:1,9
M17	Malzkeime/Nudeln	60	40	636	3,73	9,41	3,12	7,93	3,4	9,3	6,1	0,16	6,87	70	0,2	0,3	<0,05	15,8	71	1:2,1
M18	Rapsextraktionsschrot/Nudeln	68	32	586	21,20	12,61	4,08	10,06	5,3	72,4	5,7	0,24	10,45	112	0,1	0,5	0,29	28,3	95	1:0,5
<b>MIN</b>				<b>529</b>	<b>3,41</b>	<b>8,96</b>	<b>2,40</b>	<b>6,92</b>	<b>3,2</b>	<b>8,2</b>	<b>2,6</b>	<b>0,10</b>	<b>5,65</b>	<b>70</b>	<b>0,0</b>	<b>0,3</b>	<b>0,09</b>	<b>10,7</b>	<b>71</b>	<b>1:0,3</b>
<b>MAX</b>				<b>680</b>	<b>29,13</b>	<b>15,34</b>	<b>4,80</b>	<b>11,54</b>	<b>6,1</b>	<b>626,8</b>	<b>25,3</b>	<b>0,82</b>	<b>24,67</b>	<b>475</b>	<b>0,7</b>	<b>1,6</b>	<b>0,87</b>	<b>100,7</b>	<b>151</b>	<b>1:2,7</b>
Sojaextraktionsschrot <sup>2</sup>				474	5,96	23,00	1,42	1,27	3,3			0,13	3,83				1,26			
Fischmehl <sup>1</sup>				468	24,6-44,7		1,6-2,4	18,3-29	7,8			0,52	3,9-12				0,04			

<sup>1</sup>Spannweite von Nährstoff-Gehalten aus unterschiedlicher Literatur (Schneider et. al, 2004; Slawski et.al, 2011; feedinamics, Main constituents, Tschirner und Simon, 2015; Zhang Cheng et.al, 2016)

<sup>2</sup> Nährstoffgehalt aus beweka –Rohstofflexikon; DLG-Tabelle

### 3.3. AP6: Ökologische Analyse: Untersuchung zur Verwertbarkeit und Qualität des Restsubstrates

Die unterschiedlichen Varianten des Restsubstrates unterscheiden sich naturgemäß in ihrer Mineralstoffzusammensetzung, da es bereits große Differenzen in der Zusammensetzung bei den eingesetzten Ausgangssubstraten gegeben hat (Tabelle 13). Die Stickstoffgehalte der Restsubstrate liegen zwischen 18,3 und 62,2 g/kg TM. Die hohen Stickstoffgehalte von über 6 % sind dabei auf die beiden Varianten M2 und M18, welche beide als Hauptkomponente Rapsextraktionschrot beinhalteten, beschränkt. Alle restlichen Restsubstrate besitzen im Mittel einen Stickstoffgehalt von 3,6 %. Bei den Mengen- und Spurenelementen kommt es bis auf Calcium zu einer Anreicherung der Konzentration im Restsubstrat im Vergleich zum Ausgangssubstrat. Hierbei gibt es mehr oder weniger starke lineare Zusammenhänge zwischen Ausgangssubstrat und Restsubstrat. Die Zusammenhänge der einzelnen Elemente sind in Tabelle 14 angegeben. Die Schwankungsbreite ist bei allen Elementen, ausgenommen bei den Schwermetallen (Cd und Pb) aufgrund ihrer allgemein niedrigen Konzentration, zwischen den Varianten sehr groß (Tabelle 13).

Prinzipiell könnte Restsubstrat aufgrund des Gehaltes an organischer Trockensubstanz (Glühverlust über 85 % TM) und der Inhaltsstoffe sowohl als Kompost (oder Ausgangsmaterial für Kompost) oder als organischer Dünger verwendet werden. Die Anwendung ist in beiden Fällen an gesetzliche Richtlinien und Qualitätsanforderungen geknüpft, welche anhand der Kompostverordnung (BGBl. II Nr. 292/2001) als auch nach der Düngemittelverordnung (BGBl. II Nr. 100/2004) geprüft wurden.

Die Analysenergebnisse zeigten, dass das Restsubstrat und die daraus produzierten Düngerpellets als organischer Dünger nach der Düngemittelverordnung (BGBl. II Nr. 100/2004) geeignet sind. Der Mindestgehalt von mindestens 20% organischer Trockensubstanz, sowie der erforderliche Mindestgehalt einer der genannten Gehalte, 1 % Gesamtstickstoff (N), 1 % Phosphoroxid ( $P_2O_5$ ) und 1 % Kaliumoxid ( $K_2O$ ) werden eingehalten und liegen sogar weit darüber (Tabelle 9).

Der Gesamtstickstoffgehalt im Restsubstrat bzw. in den Pellets beträgt 2,76 bzw. 4,34 % und liegt hauptsächlich als organischer Stickstoff vor. Der Gehalt an mineralischem Stickstoff (N<sub>min</sub>) macht 0,42 bzw. 0,75 % aus und liegt fast ausschließlich als Ammonium-Stickstoff vor.

Das Restsubstrat und die Düngerpellets zeichnen sich vor allem durch die hohen Phosphorgehalte aus. Im Vergleich zu den meisten organischen Düngemitteln aus pflanzlicher Herkunft wie Vinasse, Treber oder Trester, bei denen die Phosphorgehalte zwischen 0,3 und 1,2 % P in TM liegen (Möller und Schultheiß, 2014), sind die Phosphorgehalte der untersuchten Proben mit 2,0 bzw. 2,8 % deutlich höher. Vergleicht man den Phosphorgehalt mit Wirtschaftsdüngern wie Rinder- und Schweinegülle oder Rinder- und Geflügelmist, besitzen nur die Schweinegülle und der Geflügelmist ähnlich hohe Phosphorgehalte zwischen 1-2 % P in TM (KTBL, 2014 und LK NRW, 2021). Die ebenfalls im CAL Extrakt ermittelten Phosphorgehalte, welche als pflanzenverfügbar gelten, zeigen, dass über 65% des Gesamtphosphorgehaltes leicht verfügbar ist. Daher eignet sich der Restsubstratdünger besonders für Blühpflanzen mit einem erhöhten Phosphorbedarf.

Der Kaliumgehalt beträgt 1,86 bzw. 1,95 % K in TM und liegt eher im Bereich von organischen Düngemitteln aus pflanzlicher Herkunft. Wobei die Bandbreite der Kaliumgehalte auch dort sehr hoch ist. So besitzt Vinasse beispielsweise im Durchschnitt Kaliumgehalte über 7 %, Traubentrester hingegen Kaliumgehalte unter 1 %. Düngemittel aus Trockenschlempe, Klee gras, Ackerbohnen oder Leindotterkuchen befinden sich im selben Bereich wie das Restsubstrat der Larven (Möller und

Schultheiß, 2014). Wirtschaftsdünger sind mit höheren Kaliumgehalte von 3-8 % in TM gekennzeichnet. Ausschließlich Geflügelmist besitzt Kaliumgehalte in einem ähnlichen Bereich zwischen 1-2 % in TM. Die Schwermetallkonzentration im Restsubstrat als auch in den Düngerpellets ist sehr gering (Tabelle 15). Es findet keine Überschreitung der Grenzwerte nach der Düngemittelverordnung (BGBl. II Nr. 100/2004) statt. Wie schnell die Nährstoffe des Düngers freigesetzt werden können, wird durch das C/N Verhältnis beeinflusst. Organisches Material mit einem engen C/N-Verhältnis (10) wird schnell abgebaut und mineralisiert und die Nährstoffe rasch freigesetzt. Dünger mit sehr weiten C/N Verhältnis (über 30) tragen eher zum Dauerhumus bei. Das C/N Verhältnis der Restsubstrate in dieser Untersuchung liegen im Mittel bei 13, wodurch die Nährstoffe gut freigesetzt werden können. Nur das Restsubstrat der Variante M4 besitzt ein weites C/N Verhältnis von 25. Ein Vergleich der Hauptnährstoffe der Düngerpellets mit anderen organischen Handelsdünger aus Möller und Schultheiß (2014) ist in Tabelle 16 aufgelistet.

Tabelle 9: Hauptnährstoffe im unbehandelten Restsubstrat sowie in den entsprechenden Düngerpellets (Mischung Ausgangssubstrat: Weizenkleie/Nudeln)

Parameter	Einheit	Analysenergebnis Restsubstrat	Analysenergebnis Düngerpellets
Glühverlust	% TM	91,0	88,9
organischer Gesamtkohlenstoff (TOC)	% TM	52,7	51,6
Stickstoff	% TM	2,76	4,34
Kohlenstoff/Stickstoff Verhältnis	C/N	19	12
Calcium (Ca)	g/kg TM	0,49	4,12
Calcium als Oxid (CaO)	% TM	0,07	0,58
Kalium (K)	g/kg TM	18,60	19,45
Kalium als Oxid (K <sub>2</sub> O-gesamt)	% TM	2,24	2,34
Magnesium (Mg)	g/kg TM	7,67	8,51
Magnesium als Oxid (MgO)	% TM	1,27	1,41
Phosphor (P)	g/kg TM	20,65	28,00
Phosphor als Oxid (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -gesamt)	% TM	4,73	6,42

Tabelle 10: Kurzfristig verfügbare Gehalte von Stickstoff, Phosphor und Kalium im unbehandelten Restsubstrat sowie in den entsprechenden Düngerpellets (Mischung Ausgangssubstrat: Weizenkleie/Nudeln)

Parameter	Einheit	Analysenergebnis Restsubstrat	Analysenergebnis Düngerpellets
Nitratstickstoff (NO <sub>3</sub> -N)	mg/l FM	0,00	15,5
	% TM	0,00	0,00
Ammoniumstickstoff (NH <sub>4</sub> -N)	mg/l FM	1106	2266
	% TM	0,75	0,41
Nmin	mg/l FM	1106	2281
	% TM	0,75	0,42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> im CAL Extrakt	mg/l FM	5955	22944
	% TM	4,04	4,18
K <sub>2</sub> O im CAL Extrakt	mg/l FM	3419	12720
	% TM	2,32	2,32

Bei der Überprüfung der Eignung des unbehandelten Restsubstrates zur Kompostanwendung zeigte sich, dass die Restsubstrate verglichen mit üblichen Biotonne- und Grünabfallkomposten sehr nährstoffreich sind (Tabelle 10). Die C/N-Verhältnisse sind mit Ausnahme von Variante M4 ebenfalls für Komposte sehr eng. Die Leitfähigkeit und der Salzgehalt der Restsubstrate sind im Vergleich zu

Kompost sehr hoch. Erhöhte Salzgehalte im Kompost können bei salzempfindlichen Kulturen zu Problemen führen, daher sollte Kompost die als Bestandteil von Substratmischungen eingesetzt werden, auch den Gehalt von 4 g/l nicht übersteigen. Verantwortlich für den erhöhten Salzgehalt sind unter anderem die verfügbaren Kaliumgehalte, welche deutlich über jenen von Komposten liegen. Der Gesamt-Kaliumgehalt liegt bei Kompost üblich zwischen 0,6 und 1,5 % (BLW, 2010). Bis auf Variante M12, M13 und M17 besitzen jedoch alle Restsubstrate deutlich höhere Kalium Gesamtgehalte. Die Bandbreite von Phosphor bei Kompost beträgt 0,13-0,52 % in TM und liegt somit ebenfalls deutlich unter jenen des Restsubstrates. Auch der Stickstoff kommt im Restsubstrat und in den Düngerpellets in einer höheren Konzentration vor (Tabelle 10). Weiters zeigen Parameter, wie die aerobe biologische Aktivität, DOC wasserlöslich, Solvita-Index und Reifepunkte, welche die Stabilität von Komposten beurteilen, dass das Material noch sehr umsatzaktiv und instabil ist (Tabelle 12). Auch die enorm hohen  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalte, sowie das Verhältnis von  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_x\text{-N}$  weisen darauf hin. Eine Überschreitung der Grenzwerte der Schwermetallkonzentrationen findet auch nach der Kompostverordnung (BGBl. II Nr. 292/2001) nicht statt (Tabelle 15). Die Verwendung des Restsubstrates als Ausgangsstoff für die Kompostierung ist aufgrund seiner Eigenschaften möglich und vorstellbar. Die direkte Anwendung als Kompost ist aufgrund der hohen Nährstoffgehalte und der Instabilität nicht zu empfehlen. Die Analyseergebnisse zeigen, dass das Restsubstrat eher als Dünger geeignet ist.

Tabelle 11: Nährstoffgehalte im unbehandelten Restsubstrat sowie in den entsprechenden Düngerpellets (Mischung Ausgangsubstrat: Weizenkleie/Nudeln) im Vergleich zu Komposten (BFL,2010)

Parameter	Einheit	Analysenergebnis Restsubstrat	Analysenergebnis Düngerpellets	Spannweite der Nährstoffgehalte von Komposten
Stickstoff	% TM	2,76	4,34	0,6-2,3
Calcium als Oxid (CaO)	% TM	0,07	0,58	2,4-19
Kalium als Oxid (K <sub>2</sub> O-gesamt)	% TM	2,34	2,34	0,5-3
Magnesium als Oxid (MgO)	% TM	1,27	1,41	1-5,4
Phosphor als Oxid (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -gesamt)	% TM	4,73	6,42	0,3-1,9

Tabelle 12: Parameter zur Bestimmung der Kompost- reife und -stabilität (Solvita-Index, aerobe biologische Aktivität, wasserlöslicher Corg, NH4-N, NO3-N und Reifepunkte) in unterschiedlichen Restsubstraten

		M1	M2	M3	M4	M5	M6
		Trockenschlempe/ Mais	Rapsextraktions- schrot/Mais	Weizenkleie/Mais	Kartoffel/ Weizenkleie	Malzkeime/Mais	Brotreste/ Weizenkleie
Allgemeine Kompostparameter	WG [%]	34,8	57,7	54,2	58,8	57,2	38,3
	Leitfähigkeit [mS/cm]	7,1	9,9	6,5	5,7	6,5	12,6
	Salzgehalt [g/l]	13,3	12,2	4,9	8,6	5,6	16,8
	pH [H <sub>2</sub> O]	7,74	8,08	8,21	8,81	8,28	7,80
Kompostreifeparameter	NH <sub>4</sub> -N im CaCl <sub>2</sub> Extrakt [g/kg TS]	8,13	13,88	7,29	3,24	6,90	11,14
	NO <sub>3</sub> -N im CaCl <sub>2</sub> Extrakt [g/kg TS]	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
	DOC im wässrigen Extrakt [mg/l]	4839	5430	5008	6657	2791	6042
	O <sub>2</sub> -Verbrauch [mmolO <sub>2</sub> /kgOM/h]	55,1	34,4	27,2	75,0	39,5	59,7
	Solvita Index	2	2	4	2	3	1
	Reifepunkte	0,5	0,5	0,7	0,6	1,4	0,4

Tabelle 13: Mittlere Mineralstoffkonzentrationen im Restsubstrat (n= 3) in g/kg TM bzw. mg/kg TM

Ausgangssubstrat-Mischungen (Komponente 1/Komponente 2)		Komp 1	Komp 2	TM	C	N	Ca	K	Mg	P	S	Ba	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Sr	Zn	C/N- Verhältnis
		[%]		[%]	[g/kg TM]															
M1	Trockenschlempe/Mais	70	30	65,2	487	36,2	0,33	15,67	5,14	12,30	5,0	3,9	<0,05	9,20	215	0,96	0,18	1,81	70	13
M2	Rapsextraktionsschrot/Mais	65	35	42,3	456	62,2	6,13	25,71	14,02	32,65	15,5	10,6	0,05	8,07	486	2,30	0,19	15,35	121	7
M3	Weizenkleie/Mais	65	35	45,8	466	33,8	0,58	23,26	10,92	28,36	4,4	18,0	<0,05	20,70	316	1,77	<0,05	3,67	134	14
M4	Kartoffel/Weizenkleie	70	30	41,2	450	18,3	0,28	26,25	4,45	10,13	3,2	8,3	<0,05	13,26	738	1,80	0,47	1,51	61	25
M5	Malzkeime/Mais	60	40	42,8	483	37,2	0,66	19,43	5,56	13,93	4,4	15,0	<0,05	16,25	450	1,45	0,44	4,76	115	13
M6	Brotreste/Weizenkleie	70	30	61,7	473	34,2	0,46	14,69	5,28	13,29	4,5	12,7	<0,05	14,78	329	1,37	1,20	2,31	106	14
M7	Ausputz/Weizenkleie	60	40	42,0	465	44,0	1,55	44,10	11,07	26,05	6,2	16,5	<0,05	33,49	494	5,63	0,33	5,60	183	11
M8	Weizenkleie/Maisquellwasser	70	30	41,4	427	44,8	1,18	54,91	19,81	38,41	12,7	16,1	0,06	29,99	360	2,99	0,27	4,90	284	10
M9	Weizenkleie/Mais	67	33	39,5	470	39,1	0,79	28,06	11,00	25,27	4,2	18,3	<0,05	26,74	317	1,43	0,23	4,11	176	12
M10	Weizenkleie/Nudeln	67	33	33,8	471	34,2	0,61	28,92	11,08	25,62	4,3	20,2	<0,05	27,22	317	1,47	0,23	3,94	166	14
M11	Apfeltrester/Nudeln	50	50	34,5	538	32,1	0,80	17,30	2,88	6,51	3,5	19,2	<0,05	23,93	699	1,07	2,23	2,41	68	17
M12	Trockenschlempe/Nudeln	50	50	61,4	497	47,2	0,45	10,73	4,01	11,41	7,6	12,0	<0,05	15,96	328	0,84	0,39	2,40	109	11
M13	Biertreber/Nudeln	50	50	54,8	508	37,9	0,91	3,48	3,69	9,98	5,7	20,0	<0,05	63,75	485	0,64	1,26	4,53	123	13
M14	Rübenschnitzel/Nudeln	65	35	62,0	442	34,5	7,98	37,89	5,49	6,68	8,5	41,8	0,06	13,25	1209	3,31	2,76	31,69	97	13
M15	Weizenkleie/Nudeln	67	33	40,4	454	28,8	0,49	30,08	9,87	25,21	3,7	22,3	<0,05	21,19	274	1,24	0,21	2,65	120	16
M16	Weizenkleie/Ausputz	55	45	48,7	454	30,1	0,80	34,00	11,10	25,85	3,9	24,0	<0,05	23,20	460	2,25	0,30	4,39	118	15
M17	Malzkeime/Nudeln	60	40	54,7	491	40,1	0,60	11,80	2,25	6,93	4,5	7,5	<0,05	9,38	121	0,74	0,31	3,10	59	12
M18	Rapsextraktionsschrot/Nudeln	68	32	48,8	439	61,6	4,95	29,23	11,83	24,94	14,2	12,3	<0,05	8,70	453	3,05	0,52	14,36	113	7
<b>MIN</b>				<b>33,8</b>	<b>427</b>	<b>18,3</b>	<b>0,28</b>	<b>3,48</b>	<b>2,25</b>	<b>6,51</b>	<b>3,2</b>	<b>3,9</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>8,07</b>	<b>121</b>	<b>0,64</b>	<b>0,18</b>	<b>1,51</b>	<b>59</b>	<b>7</b>
<b>MAX</b>				<b>65,2</b>	<b>538</b>	<b>62,2</b>	<b>7,98</b>	<b>54,91</b>	<b>19,81</b>	<b>38,41</b>	<b>15,5</b>	<b>41,8</b>	<b>0,06</b>	<b>63,75</b>	<b>1209</b>	<b>5,63</b>	<b>2,76</b>	<b>31,69</b>	<b>284</b>	<b>25</b>

Tabelle 14: Überprüfung der Korrelation der Mineralstoffgehalte zwischen Ausgangssubstrat und Restsubstrat

	Pearson Coefficient	R <sup>2</sup>	N	T-Statistic	p-Value
<b>C</b>	0,676	0,457	18	3,67	0,002
<b>N</b>	0,802	0,644	18	5,38	<0,001
<b>Ca</b>	0,956	0,914	18	13,06	<0,001
<b>K</b>	0,916	0,839	18	9,12	<0,001
<b>Mg</b>	0,927	0,860	18	9,90	<0,001
<b>P</b>	0,929	0,863	18	10,05	<0,001
<b>S</b>	0,909	0,826	18	8,72	<0,001
<b>Ba</b>	0,869	0,755	18	7,03	<0,001
<b>Cu</b>	0,954	0,909	18	12,66	<0,001
<b>Fe</b>	0,890	0,792	18	7,81	<0,001
<b>Ni</b>	0,908	0,824	18	8,66	<0,001
<b>Pb</b>	0,891	0,794	17	7,60	<0,001
<b>Sr</b>	0,979	0,958	18	19,15	<0,001
<b>Zn</b>	0,935	0,875	18	10,59	<0,001

Tabelle 15: Schwermetalle im unbehandelten Restsubstrat sowie in den entsprechenden Düngerpellets sowie die Grenzwerte nach der Düngemittelverordnung (BGBl. Nr. 1007/1994) für Düngemittel und Bodenhilfsstoffe mit einem Anteil der organischen Substanz über 20% sowie der Kompostverordnung (BGBl. II Nr. 292/2001)

Parameter	Einheit	Analysenergebnis Restsubstrat	Analysenergebnis Düngerpellets	Grenzwerte nach der Düngemittelverordnung	Grenzwerte nach der KoVO 2001 für Komposte der Klasse Qualität A+
Arsen(As)	mg/kg TM	<1,00	<1,00	40	-
Cadmium (Cd)	mg/kg TM	<0,2	<0,2	3	0,7
Chrom (Cr)	mg/kg TM	0,39	1,26	2*	70
Nickel (Ni)	mg/kg TM	1,58	2,13	100	25
Blei (Pb)	mg/kg TM	<0,9	<0,9	100	45
Kupfer (Cu)	mg/kg TM	21,70	27,29	-	70
Zink (Zn)	mg/kg TM	123,1	140,4	-	200

\* Grenzwert für Chrom VI (in den Proben wurde nur Chrom gesamt gemessen)

Tabelle 16: TM, Salzgehalt und Hauptnährstoffe der Restsubstrat- Düngerpellets (Ausgangssubstrat: Weizenkleie/Nudeln) im Vergleich zu organischen Handelsdüngern aus Möller und Schultheiß (2014)

	TM	Salzgehalt	C	Ngesamt	NH <sub>4</sub> -N	Nmin	P	K	Ca	Mg
	[%]	[g/l KCl]								
<b>Restsubstrat Düngerpellets</b>	<b>86,4</b>	<b>21,5</b>	<b>51,6</b>	<b>4,34</b>	<b>0,41</b>	<b>0,42</b>	<b>2,80</b>	<b>1,95</b>	<b>0,41</b>	<b>0,85</b>
Biosol®	90,1	4,0	47,8	7,30	-	0,24	0,61	0,52	0,40	0,07
MALTaflor®	92,7	9,1	40,7	4,33	-	0,96	0,58	4,06	0,66	0,19
Organic Plant Feed (OPF) flüssig	44,5	12,4	33,3	17,20	3,26	3,91	2,45	2,18	0,63	0,30
Kartoffelrestfruchtwasserkonzentrat (PPL)	56,8	15,5	34,6	4,60	0,67	<0,01	1,14	13,00	0,20	0,69
Vinasse	66,3	13,9	37,0	5,83	1,26	1,33	0,32	7,29	0,69	0,14
Klee gras	91,5	3,1	38,9	1,90	-	0,02	0,28	2,41	0,95	0,25
Wickenschrot	89,5	1,6	45,7	4,60	-	0,11	0,52	1,00	0,40	0,20

### 3.4. Bilanzierung von ausgewählten Nährstoffen bei der Larvenmast

Die Larven der Schwarzen Soldatenfliege nehmen Nährstoffe über das Futter (Ausgangssubstrat) auf, wandeln sie um und speichern einen Teil davon in Form von Larvenbiomasse. Ein großer Teil der zugeführten Nährstoffe wird als Restsubstrat wieder ausgeschieden. Diese Nährstoffabscheidungen bestimmen den Düngewert des Restsubstrates. Bei Kohlenstoff und Stickstoff treten durch Veratmung oder Ausgasung Verluste auf. In einer Stoffflussrechnung können die Verluste abgeschätzt werden.

In den Larven werden 10 bis 28% des angebotenen Kohlenstoffs aus dem Ausgangssubstrat in Larvenbiomasse gespeichert (Tabelle 17 und Abbildung 4). In den Varianten M12, M17 und M6 wurde der Kohlenstoff am effizientesten in den Larven eingebaut. Den geringsten Anteil an inkorporierten Kohlenstoff besitzen die Varianten M14, M5, M8 und M9. 24 bis 45 % des aufgenommenen Kohlenstoffs werden von den Larven wieder als Restsubstrat ausgeschieden. 31 bis 63 % gehen durch Atmung verloren. Die geringsten Verluste sind in Variante M17 und M1 zu verzeichnen.

Beim Stickstoff werden 22 - 54 % des angebotenen Stickstoffs im Futtersubstrat in die Larvenbiomasse eingebaut, 31 – 62 % des Stickstoffs werden ausgeschieden. Die Verluste liegen zwischen 36 % und knapp über 0 %. Dabei ist zu beobachten, dass bei meist hohen Rohproteingehalten im Ausgangssubstrat der Anteil des Stickstoffverlustes größer ist. Jedoch haben teilweise Ausgangssubstrate mit niedrigeren Rohproteingehalten, wie beispielsweise M 5 oder M 4 ebenfalls höhere Stickstoffverluste um 20 %. Daher gibt es zwischen Rohproteingehalt im Ausgangssubstrat und den Stickstoff Verlusten nur eine schwache Korrelation ( $R^2=0,548$ ;  $p=0,001$ ).

Tabelle 17: Anteil des Kohlenstoffs und Stickstoffs des Ausgangssubstrates in %, welcher in der Larven Biomasse inkorporiert wurde (C bzw. N Larven), als Restsubstrat ausgeschieden (C bzw. N Restsubstrat) oder veratmet (C bzw. N Verlust) wurde

Ausgangssubstrat-Mischungen (Komponente 1/Komponente 2)		Komp 1	Komp 2	C Larven	C Restsubstrat	C Verlust	N Larven	N Restsubstrat	N Verlust
		[%]							
[% Anteil des Ausgangssubstrates]									
M1	Trockenschlempe/Mais	70	30	22	45	33	32	47	21
M2	Rapsextraktionsschrot/Mais	65	35	19	24	57	31	40	29
M3	Weizenkleie/Mais	65	35	18	26	56	52	41	7
M4	Kartoffel/Weizenkleie	70	30	14	45	41	39	44	17
M5	Malzkeime/Mais	60	40	12	30	58	29	47	24
M6	Brotreste/Weizenkleie	70	30	27	36	37	50	50	-
M7	Ausputz/Weizenkleie	60	40	23	30	47	32	33	35
M8	Weizenkleie/Maisquellwasser	70	30	15	39	46	22	44	34
M9	Weizenkleie/Mais	67	33	16	42	42	36	62	1
M10	Weizenkleie/Nudeln	67	33	23	37	40	54	52	-
M11	Apfeltrester/Nudeln	50	50	16	35	49	53	58	-
M12	Trockenschlempe/Nudeln	50	50	28	30	42	32	32	35
M13	Biertreber/Nudeln	50	50	24	34	43	46	40	14
M14	Rübenschnitzel/Nudeln	65	35	10	27	63	33	47	20
M15	Weizenkleie/Nudeln	67	33	25	33	42	47	35	18
M16	Weizenkleie/Ausputz	55	45	22	28	50	45	31	25
M17	Malzkeime/Nudeln	60	40	27	42	31	33	52	15
M18	Rapsextraktionsschrot/Nudeln	68	32	24	26	51	31	34	36

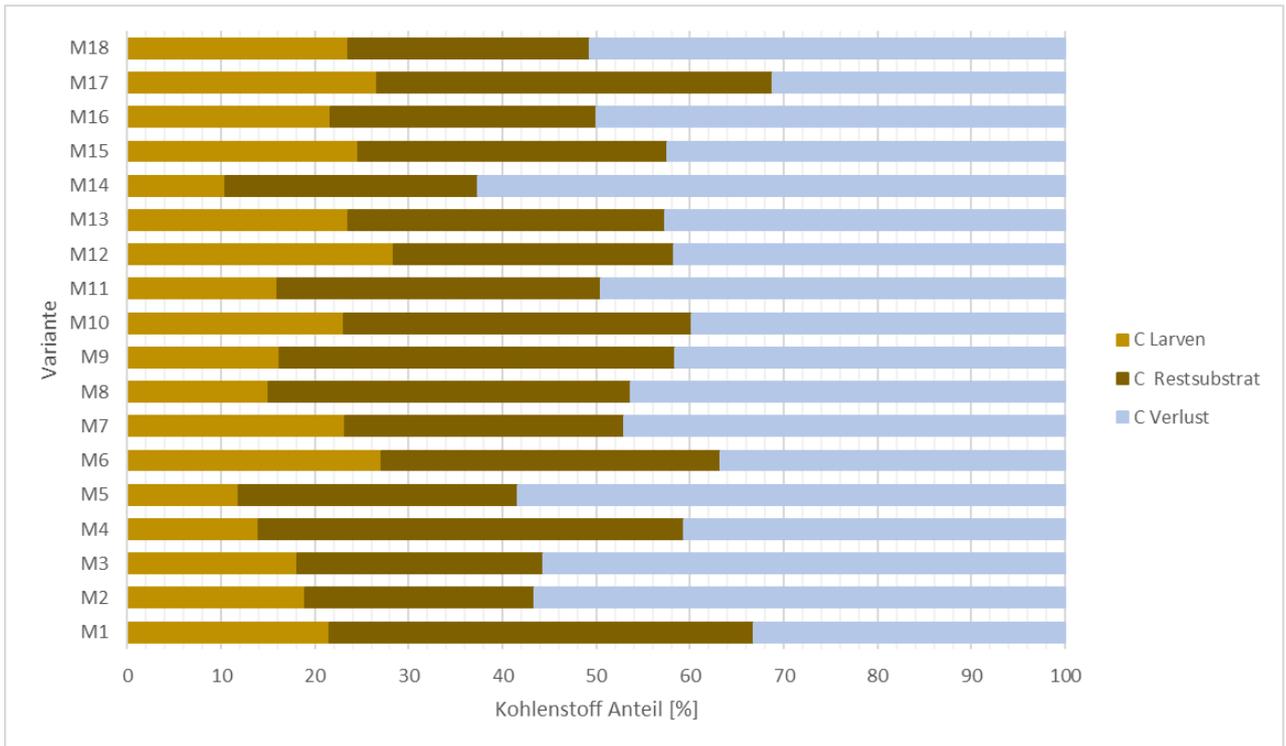


Abbildung 4: Anteil des Kohlenstoffs des Ausgangsubstrates in %, welcher in der Larven Biomasse inkorporiert wurde (C Larven), als Restsubstrat ausgeschieden (C Restsubstrat) oder veratmet (C Verlust) wurde

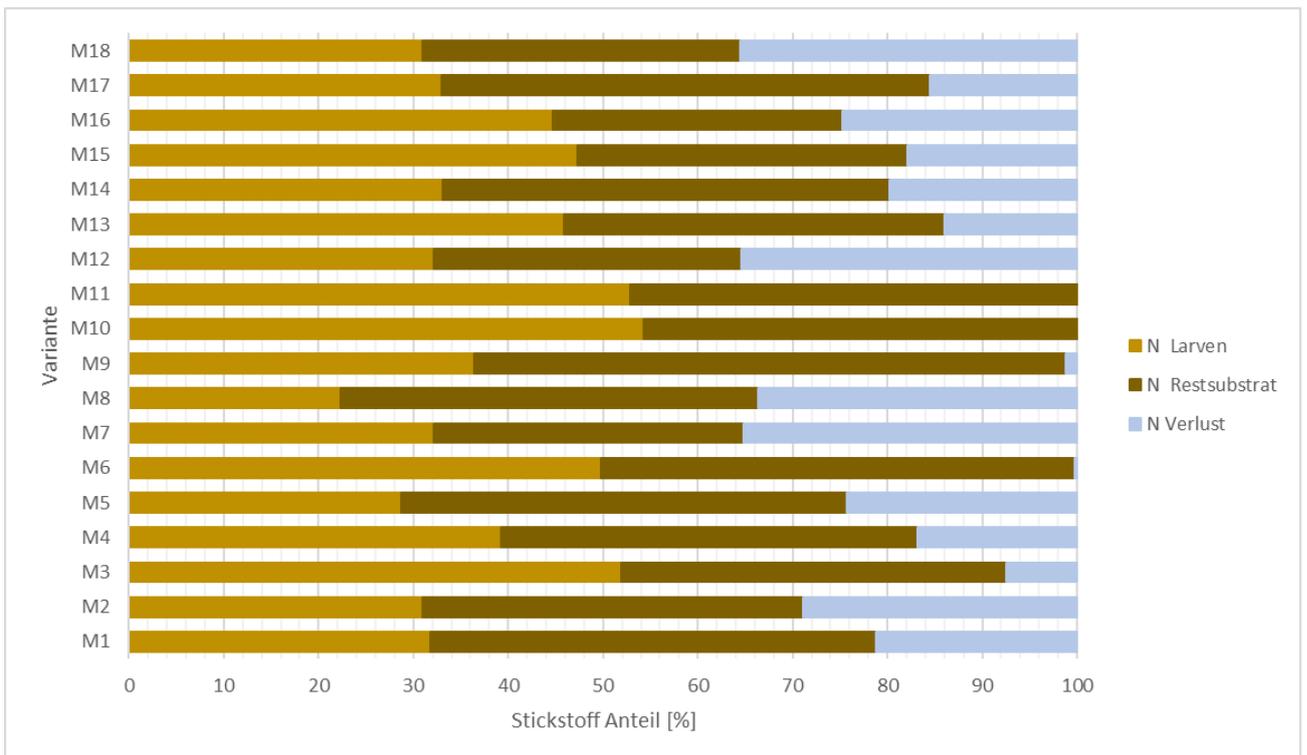


Abbildung 5: Anteil des Stickstoffs des Ausgangsubstrates in %, welcher in der Larven Biomasse inkorporiert wurde (N Larven), als Restsubstrat ausgeschieden (N Restsubstrat) oder veratmet (N Verlust) wurde

## 4. Literatur

- Barragan-Fonesca K.B., Dicke M., van Loon J.J.A. (2017): Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. In: *Journal of Insects as Food and Feed*, 3 (2), S.105-120.
- Beweka (2020): Rohstofflexikon - beweka Kraftfutterwerk GmbH. <https://www.beweka.com › service › rohstofflexikon>; 15.09.2020
- BLF (2010): Richtlinie für die Anwendung von Kompost aus biogenen Abfällen in der Landwirtschaft; Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
- Chanyasak, V., & Kubota, H. (1981): Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as measure of composting degradation. *J. Ferment. Technol.*, 59, 215-219
- Diener S., Zurbrügg C., Tockner K. (2009): Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research* 2009:27:603-610
- Ewald N., Vidakovic A., Langeland M., Kiessling A., Sampels S., Lalander C. (2020): Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) –Possibilities and limitations for modification through diet. *Waste Management* 102 (2020) 40–47
- Grunert M. (2019): Tabelle 33 Nährstoffgehalte von Einzelfuttermitteln; Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Freistaat Sachsen
- Jucker C., Lupi D., Moore C.D., Leonardi M.G. und Savoldelli S. (2020): Nutrient Recapture from Insect Farm Waste: Bioconversion with *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Research Gate, Sustainability* 2020, 12, 362
- KTBL (2014): Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau. KTBL-Schrift 499, Darmstadt.
- Liu Z., Minor M., Morel P.C.H. and Najar-Rodriguez A.J. (2018): Bioconversion of Three Organic Wastes by Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Physiological Ecology; Environmental Entomology*, 47(6), 2018, 1609–1617
- LK-NRW (2021): Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen; Was ist in Gülle enthalten; [www.landwirtschaftskammer.de](http://www.landwirtschaftskammer.de)
- Makkara H.P.S., Tranb G., Heuzéb V., Ankersa P. (2014): Review: State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 197 (2014) 1–33
- Möller K. und Schultheiß U. (2014): Organische Handelsdüngemittel tierischer und pflanzlicher Herkunft für den ökologischen Landbau – Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis; Schlussbericht BÖLN; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- Naynar J. (2017): Verwertung biogener Abfälle mithilfe der Larven der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) zur Produktion von Futtermitteln; Universität für Bodenkultur, Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt Institut für Abfallwirtschaft

Nguyen T.X., Tomberlin J.K. and Vanlaerhoven S. (2013): Influence of Resources on *Hermetia illucens*. (Diptera: Stratiomyidae) Larval Development. *Journal of Medical Entomology*, 50(4):898-906

Oonincx, D., van Huis A. and van Loon J. (2015a): Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *Journal of Insects as Food and Feed*; Wageningen Academic Publishers

Oonincx, D., van Broekhoven S., van Huis A. und van Loon J.J.A. (2015b): Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. *PLoS ONE* 10(12): e0144601. doi:10.1371/journal.pone.0144601.

RIS - Düngemittelverordnung 2004 - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 25.09.2020

RIS - Kompostverordnung - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 22.04.2021

Sprangers T., Ottoboni M., Klootwijk C., Obyn A., Deboosere S., De Meulenaer B., Michiels J., Eeckhout M., De Clercq P. and De Smet S. (2016): Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *J Sci Food Agric* 2017; 97: 2594–2600

St. Hilaire S. und Cranfill K. (2007): Fish Offal Recycling by the Black Soldier Fly Produces a Foodstuff High in Omega-3 Fatty Acids. *Journal of the World Aquaculture Society*; Vol.38, No.2; 2007

Tschirner, M. und Simon, A (2014): Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. In: *Journal of Insects as Food and Feed*, 1 (4), S.249-259.