

OPTIMALISATIE VAN DE OPKWEEK VAN DE ZWARTE SOLDATENVLIEG OP KIPPENMEST

Aantal woorden: 18.518

Carl-Victor Deweer

Studentennummer: 01500919

Promotor: Prof. Dr. Gunther Antonissen

Promotor: Dr. David Deruytter

Onderdeel van de Masterproef voorgelegd voor het behalen van de graad master in de diergeneeskunde

Academiejaar: 2020 – 2021

Universiteit Gent, haar werknemers of studenten bieden geen enkele garantie met betrekking tot de juistheid of volledigheid van de gegevens vervat in deze masterproef, noch dat de inhoud van deze masterproef geen inbreuk uitmaakt op of aanleiding kan geven tot inbreuken op de rechten van derden.

Universiteit Gent, haar werknemers of studenten aanvaarden geen aansprakelijkheid of verantwoordelijkheid voor enig gebruik dat door iemand anders wordt gemaakt van de inhoud van de masterproef, noch voor enig vertrouwen dat wordt gesteld in een advies of informatie vervat in de masterproef.

VOORWOORD

Bij de keuze van het onderwerp heb ik bewust gekozen om een ander onderwerp te kiezen dan mijn afstudeerrichting: herkauwers. Ik heb een brede interesse en wil mij verdiepen in zaken waar ik weinig weet van heb. Hierdoor wilde ik mijn onderzoek graag doen over de pluimveesector. Na het lezen van een artikel waarin een Nederlandse varkensboer op zijn bedrijf varkensmest verwerkte met behulp van insecten, wilde ik dit ook uittesten, maar dan met kippenmest.

Deze masterproef is enkel tot stand kunnen komen met de hulp van verschillende mensen. Hierbij wil ik mijn 2 promotoren bedanken: prof. Dr. Gunther Antonissen en Dr. David Deruytter. Ik kon altijd met mijn vragen bij hen terecht en werd altijd goed gesteund. Zonder de gespecialiseerde klimaatruimtes, onderzoeksmateriaal en de hulp van het onderzoekscentrum Inagro in Rumbeke, was het onmogelijk om de larven op te kweken. Bij deze wil ik alle mensen van de afdeling aquacultuur & insecten via deze weg bedanken. Als laatste zou ik ook mijn vriendin en ouders willen bedanken voor de steun.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD.....	3
INHOUDSOPGAVE.....	4
SAMENVATTING	6
1. INLEIDING	7
2. LITERATUURSTUDIE.....	9
2.1. Zwarte soldatenvlieg	9
2.2. Toepassingen van BSF-larven	9
2.2.1. Afvalverwerker	9
2.2.2. Voedsel-en voederproductie.....	10
2.2.3. Andere	11
2.3. Nutritionele waarde van BSF-larven.....	11
2.3.1. Eiwitten.....	12
2.3.2. Vetten	12
2.3.3. As.....	13
2.4. Gebruik van BSF-larven in de pluimveehouderij.....	13
2.5. Ecologische impact van BSF als invasieve exoot	15
2.6. Wetgeving.....	16
2.7. Productie-eigenschappen van BSF-larven.....	17
2.7.1. Kweekinstallatie	17
2.7.2. Substraat	18
2.7.3. Temperatuur & vochtigheid	18
2.7.4. Substraathoeveelheid, larvale dichtheid en voederfrequentie	19
2.7.5. Groeiperiode & leeftijd van larven toevoegen.....	20
2.7.6. Oogsten van de larven.....	20
3. PROBLEEMSTELLING & DOELSTELLING	21
3.1. Probleemstelling.....	21
3.2. Doelstelling.....	22
4. MATERIALEN & METHODEN.....	23
4.1. Experiment 1: Massadichtheid.....	23
4.2. Experiment 2: Vochtverliescompensatie.....	26
4.3. Experiment 3: Hoeveelheid substraat per m ²	27
4.4. Weende-analyse.....	28
5. RESULTATEN	28

5.1.	Experiment 1: Massadensiteit.....	29
5.2.	Experiment 2: Vochtverliescompensatie.....	31
5.3.	Experiment 3: Hoeveelheid substraat per m ²	34
5.4.	Weende-analyse.....	36
6.	DISCUSSIE	37
6.1.	Experimenten	37
6.2.	Praktische mogelijkheden voor de opkweek	39
6.2.1.	Methode 1	39
6.2.2.	Methode 2	40
7.	CONCLUSIE	41
8.	REFERENTIELIJST.....	42
9.	BIJLAGEN	45

SAMENVATTING

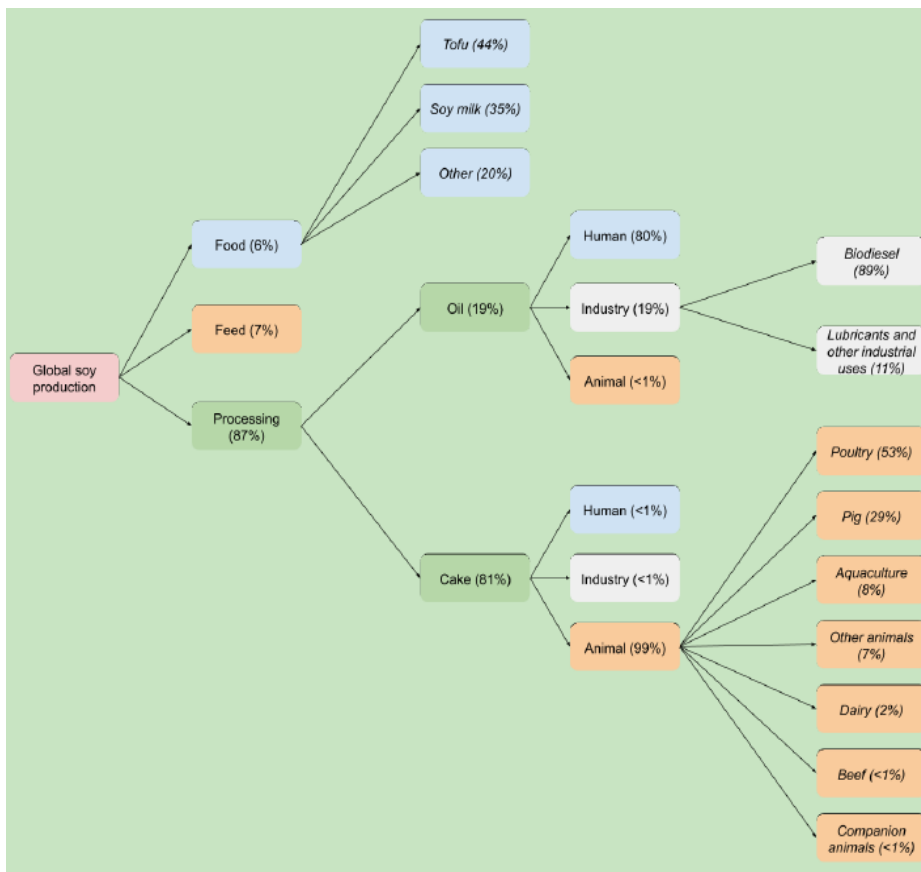
Insecten worden voorgesteld als een hoogwaardige, efficiënte en duurzame alternatieve eiwitbron voor vee. Met een toenemend aantal pluimvee, is er een overaanbod aan pluimveemest. Het doel van deze studie is om de opkweek van larven van de zwarte soldatenvlieg (BSF, black soldier fly) op kippenmest te optimaliseren, zoals het bepalen van het optimale aantal larven per hoeveelheid substraat, de optimale hoeveelheid vocht dat halverwege de groeiperiode aan het substraat wordt toegediend en de ideale hoeveelheid substraat per m² bepaald.

BSF-larven werden gekweekt in geïsoleerde kamers bij een constante temperatuur (27°C) en luchtvochtigheid (70%), in plastic bakken (52x36x10cm) gevuld met 8-10 kg mest van broilers (vleeskuikens). In een eerste experiment werd de optimale larvale dichtheid bepaald variërend van 200-3.000 larven/kg kippenmest met een DS (droge stof) gehalte van 33%. In een tweede experiment werd gekeken of extra water toevoegen halverwege de groeiperiode van de larven, een verbeterend effect had op de larven. Na 6 dagen groeien van de larven op het substraat, werd het verlies aan vocht variërend van 0-100% gecompenseerd door water toe te voegen. In een laatste experiment werd de optimale hoeveelheid substraat per m² bepaald door larven toe te voegen in 12 containers variërend van 15,9-77,8 kg VS (verse stof) substraat/m². Hierbij bevatten alle bakken 2.200 larven/kg substraat. De nutritionele samenstelling van de kippenmest, voor en na de groeiperiode van de larven en de geproduceerde BSF-larven zelf werden bepaald via de Weende-analyse.

De meest optimale omstandigheden om BSF-larven op broilermest te laten groeien waren bij een dichtheid van 2.200 larven/kg substraat, een substraatlaag van 38,3 kg VS substraat/m² en een maximale compensatie van het verlies aan vocht van 27%. BSF-larven verminderden de hoeveelheid vleeskuikenmest met $52,5 \pm 12,5\%$ op DS-basis. De FCRd (feed conversion ratio dried = aantal kg DS mest nodig voor 1 kg VS larven) was $2,76 \pm 0,63$. BSF-larven die op vleeskuikenmest werden gekweekt, bevatten $46,8 \pm 2,0\%$ eiwit, $10,9 \pm 0,24\%$ vet en $7,58 \pm 1,0\%$ chitine. De optimale productie van BSF-larven op kippenmest heeft een groot potentieel om een belangrijke nieuwe eiwitbron te worden in de toekomst.

1. INLEIDING

Door de wereldwijde stijging in welvaart en door de bevolkingsgroei, is er een toenemende vraag naar dierlijke eiwitbronnen voor humane consumptie.¹ Om aan deze vraag te kunnen voldoen, stijgt ook de productie van plantaardige eiwitbronnen voor veevoeding. De sojaproductie, die een belangrijke bron van plantaardig eiwit is voor veevoeder², is volgens FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database) wereldwijd gestegen van 136 miljoen ton in 1994 naar 349 miljoen ton in 2018.³ De teelt van soja heeft hierin een belangrijke rol als oorzaak van ontbossing van regenwouden (Fraanje en Garnett, 2020). Bijna 20% van de soja die de EU importeert uit Brazilië is afkomstig van



Figuur 1: Procentuele schatting van het globale verbruik van soja op gewicht in 2017-2019. De percentages soja, in de oranje vierkanten dienen voor veevoeder, blauwe vierkanten dienen voor humane voeding, grijze dienen voor industriële toepassing en groene dienen voor verwerking (Fraanje en Garnett, 2020).

illegale ontbossing (Rajão et al., 2020). Dit percentage is dus zonder de legale ontbossing meegerekend. Na China, is de Europese Unie de tweede grootste importeur van soja in de wereld.² Volgens het rapport van de Europese Commissie: 'Focus on EU soya beans imports from US' is in de eerste 42 weken van het handelsjaar 2018/2019 (van 30 juni 2018 tot 14 april 2019) de import van soja naar de EU gestegen tot 11.386.789 ton. Dit is een stijging van 8,9% ten opzichte van diezelfde periode in het vorige handelsjaar.⁴

¹ Departement Landbouw&Visserij, 2016. Tweede actieplan alternatieve eiwitbronnen.

<https://lv.vlaanderen.be/sites/default/files/tweede-actieplan-alternatieve-eiwitbronnen.pdf> (laatst geconsulteerd op 1 mei 2021)

² Danckaert S., 2016. Geen veevoeder zonder soja? Aandeel van de Vlaamse veehouderij in het sojaverbruik in België, Departement Landbouw en Visserij, Brussel.

https://lv.vlaanderen.be/sites/default/files/attachments/geen_veevoeder_zonder_soja_-_website.pdf (laatst geconsulteerd op 6 mei 2021)

³ FAOSTAT, 2018. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database.

<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> (laatst geconsulteerd op 28 april 2021)

⁴ Europese commissie (EC), 2019. Focus on EU soya beans imports from US.

https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/soya-import-dashboard_en.pdf (laatst geconsulteerd op 4 december 2020)

Het merendeel van de soja (87%) in de wereld verwerkt men tot sojaschroot en sojaolie. Waarbij de veevoedersector de hoofdverbruiker van sojaschroot is. De humane voedingssector en de industrie is dan weer de hoofdverbruiker van de sojaolie, zie figuur 1. Dit betekent dat de vraag naar soja enkel zal dalen als zowel de vraag naar sojaschroot als de vraag naar sojaolie daalt. Binnen de veevoedersector gaat 53% van de wereldwijde sojaschroot naar pluimveevoeding en 29% naar varkensvoer (Fraanje en Garnett, 2020). Ook in Vlaanderen is de pluimveehouderij samen met de varkenshouderij de hoofdgebruiker van sojaproducten.² Er is dus nood aan hoogwaardige eiwitbronnen, die lokaal geteeld zijn om de 'proteïn gap' te overbruggen (van Krimpen et al., 2013).

Volgens het Vlaamse Mestrapport van 2019 is de Vlaamse pluimveehouderij met 50% toegenomen in de periode van 2007 tot 2018, tot meer dan 35 miljoen dieren. Deze stijging is vooral te merken bij vleeskuikens. Dit is in tegenstelling tot het aantal varkens en runderen, waar zelfs een lichte daling te zien is. Met de stijging van het aantal kippen gaat een stijging in mestproductie gepaard. Pluimveemest is echter moeilijk te gebruiken als bemesting voor gewassen op landbouwgrond.⁵ Dit komt omdat kippenmest meer fosfaat bevat dan rundveemest en varkensmest. Daarnaast bevat het relatief minder stikstof dan rundveemest. Fosfaat is echter de limiterende factor bij het bemesten van het land. Daarom is het voor een landbouwer voordeliger om rundveemest of varkensmest te gebruiken om het land te bemesten in plaats van kippenmest.⁶

Hierdoor zijn er dus grote overschotten aan kippenmest die verwerkt moeten worden in de mestverwerking. Kippenmest wordt verwerkt via biothermisch of thermisch drogen op een temperatuur van 70°C. Hierna kan het worden verbrand of in korrels worden verwerkt. Omdat de korrels kiemvrij zijn kan het geëxporteerd worden naar het buitenland. Ondanks de sterke toename in mest is de stijging van het aantal nieuwe operationele mestverwerkingsinstallaties per jaar veel minder dan vroeger. Dit komt voornamelijk doordat er steeds minder nieuwe vergunningen worden verleend door stijgend protest van de buurt en gemeenten. Zo werden er in 2007 nog meer dan 25 nieuwe mestverwerkingsinstallaties gebouwd terwijl dit jaarlijks daalde tot slechts 4 in 2017. In 2017 telde Vlaanderen in totaal 124 operationele mestverwerkingsinstallaties.⁷

Door de stijging in de productie, de daling van export en de stijging van import van kippenmest wordt er volop gezocht naar nieuwe alternatieve methoden om mest te verwerken.^{5,7} Zo is het kweken van insecten op mest een manier om enerzijds het teveel aan mest te verwerken en anderzijds het tekort aan hoogwaardige eiwit- en vetbronnen te compenseren. De larven van de zwarte soldatenvlieg (*Hermetia illucens*) zijn hiervoor ideaal omdat ze zeer snel groeien op rottend materiaal zoals mest (Newton et al., 2005).

⁵ Vlaamse Land Maatschappij (VLM), 2019. Mestrapport 2019. https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/mestbank/Mestrapport_2019.pdf (laatst geconsulteerd op 4 maart 2021)

⁶ Vlaamse Land Maatschappij (VLM), 2020. Normen en richtwaarden 2020. https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/mestbank/bemestingsnormen_2020.pdf (laatst geconsulteerd op 15 april 2021)

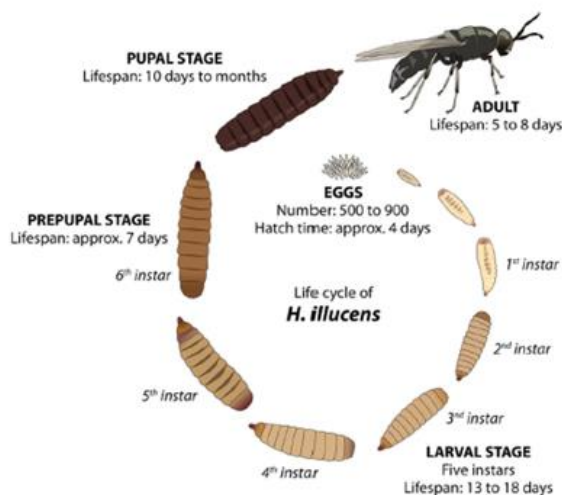
⁷ Vlaams Coördinatiecentrum Mestverwerking, 2017. VCM-ENQUETE OPERATIONELE STAND VAN ZAKEN MESTVERWERKING IN VLAANDEREN 2017. https://cdn.digisecure.be/vcm/2018911135026326_20180809-enquete-finaal.pdf (laatst geconsulteerd op 4 mei 2020)

2. LITERATUURSTUDIE

2.1. Zwarte soldatenvlieg

De zwarte soldatenvlieg of de Black Soldier Fly (BSF) genaamd, is een 2 cm grote vliegenvoer, die behoort tot de familie van de *Stratiomyidae*. Deze subtropische vlieg komt oorspronkelijk voor in het zuiden van de Verenigde Staten en Latijns-Amerika (Park, 2016). Tegenwoordig komt BSF wereldwijd al voor tussen 45° noorderbreedte en 45° zuiderbreedte (Craig Sheppard et al., 1994; Marshall et al., 2015; Dortmans et al., 2017). De levenscyclus van de vlieg verloopt als volgt (figuur 2):

Wanneer de vlieg volwassen is, blijft hij vijf tot acht dagen leven waarna hij sterft. In deze periode moeten de vliegen, onder stimulus van zonlicht, gepaard en eitjes gelegd hebben. De vrouwelijke vlieg kan in totaal meer dan 500 eitjes leggen (Diclaro en Kaufman, 2012). Doordat de volwassen vlieg een



Figuur 2: Levenscyclus van BSF (uit: De Smet et al., 2018).

weinig functionele monddeel heeft, moet hij voornamelijk overleven op zijn vetreserves die hij tijdens de larvale groei heeft opgebouwd (Newton et al., 2005). De vlieg legt de eitjes in spleten en groeven nabij rottend organisch materiaal zoals dode planten, mest en compost. Na vier dagen komen de larven uit. De larven groeien op in 5 verschillende larvale stadia. De larven doorlopen deze 5 stadia in dertien dagen (De Smet et al., 2018). De voeding van de larven bestaat uit organisch materiaal (Hall and Gerhardt, 2002).

Bij een lage omgevingstemperatuur of te weinig voedselaanbod kan de gehele larvale fase tot maanden duren. Dit toont aan dat larven zich goed kunnen aanpassen tot de omstandigheden terug ideaal zijn (Park, 2016). Eens de larven donkerder zijn verkleurd en hun maagdartractus verloren hebben, gaan ze over naar het prepupastadium. Dit wordt ook het 6^{de} larvale stadium genoemd (Newton et al., 2005; Spranghers et al., 2018; De Smet et al., 2018). Met behulp van zijn monddeel bewegen de prepoppen (of prepupae) zich voort in de zoektocht naar een geschikte, droge, hoger gelegen plaats om te kunnen verpoppen (Newton et al., 2005). Het verpoppen zelf duurt minimum 10 dagen en kan terug oplopen tot enkele maanden bij ongunstige omstandigheden (De Smet et al., 2018). Tijdens deze fase zijn de larven immobiel. Na het verpoppen is de pop een volwassen vlieg geworden die zich al na 2 dagen opnieuw kan voortplanten (Tomberlin en Sheppard, 2001). Daarna begint de cyclus terug opnieuw. Door deze korte levenscyclus en het vermogen om organisch afval in larvale massa om te zetten, worden BSF-larven voor talloze toepassingen gebruikt.

2.2. Toepassingen van BSF-larven

BSF-larven hebben op verschillende vlakken toekomstmogelijkheden. Naast de 2 hoofdtoepassingen, afval verwerken en voedsel/voederproductie, zijn er nog andere redenen om de larven massaal te kweken.

2.2.1. Afvalverwerker

De eerste hoofdtoepassing is het reduceren van allerlei soorten organisch afval (keukenafval, afgekeurde groenten, biogasdigestaat, reststromen van de voedingsindustrie, varkensmest en pluimveemest). Met een jaarlijks wereldwijde geschatte productie van 1,3 miljard ton aan organisch

afval is er voldoende substraat om BSF-larven op te kweken (Veldkamp et al., 2012a). BSF-larven zijn uitermate geschikt als mestverwerkers (Craig Sheppard et al., 1994; Newton et al., 2004, 2005; Ooninx et al., 2015). Dit komt doordat de hoeveelheid DS aan pluimveemest met 32-62% daalt nadat BSF-larven op de mest groeiden (Zhou et al., 2013). Deze daling komt door de microbiële activiteit in het substraat, het metabolisme van de larven en alsook de gewichtsaanzet van de larven zelf (Ooninx et al., 2015). Naast de hoeveelheid mest daalt de totale hoeveelheid en concentratie aan nutriënten. Zo kunnen BSF-larven, bij het opgroeien op varkensmest, de concentratie aan fosfor (P) en stikstof (N) in het substraat met respectievelijk 44,1% en 55,3% reduceren. Doordat de hoeveelheid overgebleven mest ook daalt, daalt de totale hoeveelheid N en P in de mest met ongeveer 70% (Newton et al., 2004). In de studie van Ooninx et al. (2015) daalde de totale hoeveelheid aan N met 82% voor pluimveemest, 37% voor varkensmest en 30% voor rundveemest. Opmerkelijk is dat in deze studie de hoeveelheid P minder sterk daalde. Er is dus een variatie in daling afhankelijk van de mestsoort waarop de larven groeiden (Ooninx et al., 2015).

Niet alleen de concentraties aan N en P worden door de larven gereduceerd, maar ook andere concentraties van mineralen en metalen worden door de larven gereduceerd: Zn -45,1%; Cu -45,8%; S -44,7%; Ca -56,2%; Mg -41,2%. Enkel de concentratie aan Fe blijft in het restsubstraat constant. Naast de daling in concentraties van mineralen en metalen per kg mest, daalt ook de totale overgebleven hoeveelheid mest met 56%. Dit betekent dat de totale hoeveelheid aan mineralen en metalen in mest met bijna 80% gereduceerd is nadat de larven erop groeiden (Newton et al., 2004). Wetende dat de veeteelt via de mest voor meer dan 80% verantwoordelijk is voor de accumulatie van Zn en Cu in de bodem, is dit een bijkomend voordeel voor het milieu, bij gebruik van BSF als mestverwerker (Römken en Rietra, 2008). Bijkomende effecten van het kweken van BSF-larven op mest zijn een vermindering van geur en een volledige reductie van wilde vliegenpopulaties in de mest. Larven van wilde vliegen voeden zich net als BSF-larven op mest. Wanneer BSF-larven op mest groeien zijn er geen wilde vliegenlarven aanwezig (Craig Sheppard et al., 1994; Tomberlin en Sheppard, 2001; Newton et al., 2004). Bovendien kan het overgebleven restsubstraat, als bodemverbeteraar gebruikt worden omdat N, P en vervuilende zware metalen verminderd zijn (Newton et al., 2005; Parra Paz et al., 2015). Het toevoegen van dit restsubstraat aan kleigrond en zandgrond bevordert de groei van planten (Newton et al., 2005).

2.2.2. Voedsel-en voederproductie

Als tweede hoofdtoepassing vormen de larven een interessante alternatieve bron van eiwitten en vetten. Mede dankzij het goede aminozuurprofiel zijn BSF-larven uitermate geschikt als veevoeder (Veldkamp et al., 2012a; Makkar et al., 2014; Spranghers et al., 2018; Danieli et al., 2019). BSF-larven kunnen dienen als hoofdingrediënt of als aanvulling op een voederrantsoen. Ze hebben zich al reeds bewezen als varkensvoer, kippenvoer en visvoer (St-Hilaire et al., 2007; Al-Qazzaz et al., 2016; Moula et al., 2018; Spranghers et al., 2018).

Indien BSF-larven, een te hoge concentratie aan vetten bevatten om als hoofdingrediënt gevoederd te worden, zou er een extractie van de vetten kunnen plaatsvinden (Newton et al., 2005; Spranghers et al., 2017b; Wong et al., 2019). Na het scheiden van de vetten uit de larven zou de eiwitrijke koek kunnen gebruikt worden als veevoeder. Deze larvenkoek zou voor meer dan 60% uit ruw eiwit bestaan. De AZ-samenstelling is zelfs interessanter als veevoeder dan die van sojaschroot. Hierdoor kan BSF-larvenkoek een grotere economische waarde hebben dan sojaschroot (Spranghers et al., 2017b). Bij gespeende biggen en pluimvee is al gebleken dat ontvette larven goede resultaten geven (Moula et al., 2018; Spranghers et al., 2018). Een nadeel van deze extractie is een stijging van het percentage ruwe as, wat bij te hoge concentratie nadelig is voor vee. Zo kan een te hoge concentratie aan calcium, bacteriële infecties veroorzaken doordat de maag-pH stijgt (Spranghers et al., 2017b). Wanneer de larven als voeder voor pluimvee zouden dienen zou bij hoge concentratie aan ruwe As (=anorganische

stof) in de larven, de mest van het pluimvee ook hogere concentraties bevatten (Römkens en Rietra, 2008).

2.2.3. Andere

Zoals hierboven al vermeld, kan men olie uit de larven extraheren. Deze geëxtraheerde vetten kunnen in biobrandstof omgezet worden wat de vraag naar sojaolie kan doen dalen (Newton et al., 2005; Spranghers et al., 2017b; Wong et al., 2019). Een andere belangrijk nutriënt die de larven bevatten is chitine. Hierbij wordt chitine eerst omgezet tot chitosan door deacetylisatie (Elieh-Aili-Komi et al., 2017). Dit is een belangrijk stof die diverse industriële toepassingen kent (Newton et al., 2005). Voorbeelden hiervan zijn: afvalwaterbehandeling, wondverbanden, antimicrobiële middelen, bioactieve coatings tot zelf nanocarriers om geneesmiddelen of vaccins in het lichaam te transporteren (Elieh-Aili-Komi et al., 2017). Een voordeel om chitine te extraheren uit de larven is dat chitine een negatieve invloed zou hebben op de vertering van nutriënten bij pluimvee en vissen. Zelfs kleine hoeveelheden zouden dit effect reeds induceren (Spranghers et al., 2017b).

2.3. Nutritionele waarde van BSF-larven

De nutritionele waarde van BSF-larven is sterk afhankelijk van het substraat waarop ze groeien (St-Hilaire et al., 2007; Spranghers et al., 2017b; Danieli et al., 2019). De concentratie aan ruw eiwit en de aminozuursamenstelling van de larven blijven relatief constant ongeacht de verschillende diëten waarop ze groeien. Larven die een proteïnerijk plantaardig dieet krijgen zullen dus niet automatisch een beter gehalte aan ruw eiwit hebben (Danieli et al., 2019). Hoewel men binnen studies beweert dat het percentage ruw eiwit van de larven op DS-basis relatief constant blijft, zijn de percentages tussen de studies wel verschillend (Spranghers et al., 2017b; Danieli et al., 2019). Dit varieert namelijk van 22,2% tot 55,9%, zie tabel 1. Het percentage ruw As en ruw vet van de BSF-larven verschilt daarentegen wel naargelang het dieet (Spranghers et al., 2017b). Larven die op een vezelarm koolhydratenrijk dieet groeien hebben een hogere concentratie aan vet en verzadigde vetten (Spranghers et al., 2017b; Danieli et al., 2019). Interessant is dat bij een dieet, rijk aan onverzadigde vetzuren, de larven ook een hogere concentratie onverzadigde vetzuren bevatten (Spranghers et al., 2017b; St.Hilaire et al., 2017).

Tabel 1: Impact van het substraat op de nutritionele samenstelling (%) van BSF-prepoppen o.b.v. DS-gehalte.

Substraat:	DS	Ruw eiwit	Chitine	As	Ether extractie (Ruw vet)	Bron:
Varkensmest	/	43,2	/	16,6	28,0	(Newton et al., 2005)
/	18,8	55,9	/	8,1	18,6	(Al-Qazzaz et al., 2016)
Visafval	/	40,0	/	/	30,0	(St-Hilaire et al., 2007)
Kippenvoeder	/	40,9	/	5,0	41,0	(Spranghers et al., 2017a)
Planten	33,3-34,4	22,2-34,7	7,7-9,3	5,5-11,0	31,9-46,9	(Danieli et al., 2019)
Kippenvoeder	/	31,9-46,3	8,7	/	/	(Diener et al., 2009)
Kippenmest	/	42,1	/	14,6	34,8	(Newton et al., 2005)
Plantenafval	38,1-41,0	39,9-43,1	5,7-6,7	2,7-19,7	21,8-38,6	(Spranghers et al., 2017b)

2.3.1. Eiwitten

BSF-larven bestaan voor meer dan 40% uit ruw eiwit op basis van het DS-gehalte, zie tabel 1. Bij dit percentage moet rekening gehouden worden dat het ruw-eiwitpercentage een overschatting is van het werkelijk eiwitpercentage. Bij het ruw-eiwit hoort namelijk een deel van het chitinepercentage. Chitine is een polysaccharide en dus geen eiwit. Chitine bestaat, net zoals eiwitten, uit stikstof. Doordat

Tabel 2: Aminozuursamenstelling van BSF-prepoppen (%) o.b.v. DS-gehalte. De vetgedrukte aminozuren zijn essentieel voor pluimvee.

Bron:	(Newton et al., 2004)	(Al-Qazzaz et al., 2016)	(Spranghers et al., 2017b)
Opkweek-substraat	Varkensmest	/	Plantenafval
Alanine	/	5,25	2,52
Arginine	1,77	9,33	2,03
Asparaginezuur	/	4,81	3,78
Cysteïne	/	8,92	0,25
Glutaminezuur	/	6,58	4,19
Glycine	/	1,09	2,26
Histidine	0,96	1,48	1,36
Isoleucine	1,51	1,22	1,72
Leucine	2,61	3,73	2,86
Lysine	2,21	2,86	2,34
Methionine	0,83	2,65	0,76
Phenylalanine	1,49	1,63	1,70
Proline	/	3,67	2,25
Serine	/	3,23	1,66
Threonine	1,41	2,24	1,64
Tryptofaan	0,59	0,05	0,67
Tyrosine	/	2,70	/
Valine	2,23	2,19	2,41

het ruw-eiwitpercentage bepaald wordt aan de hand van de N-fractie wordt de chitine-N-fractie gemeten als ruw-eiwit. Deze overschatting kan gecorrigeerd worden door de hoeveelheid chitine te bepalen en aanvullend de N-fractie van chitine te meten. Bijvoorbeeld, BSF-larven gekweekt op restaurantafval bevatten 43,1% ruw-eiwit en 6,7% chitine. Na omrekenen blijkt dat het percentage gecorrigeerd eiwit nog 40,7% is (Spranghers et al., 2017b). Niet alle studies berekenen het chitinegehalte waardoor de studies met elkaar vergeleken worden op basis van het ruw-eiwitgehalte. BSF-larven bevatten tussen de 5,7 en 9,3 % chitine op DS-basis, zie tabel 1.

BSF-larven hebben een ideaal aminozuur (AZ) patroon om als veevoeder te dienen voor vleesvarkens en pluimvee (Makkar et al., 2014). BSF-larven bevatten veel essentiële aminozuren voor pluimvee zoals isoleucine, methionine (+cystine), arginine en lysine, zie tabel 2 (Schutte, 1996; Newton et al., 2004; Al-Qazzaz et

al., 2016). Voornamelijk methionine en lysine zijn belangrijk voor broilers omdat deze mede voor een betere voederconversie en groei zorgen (Schutte, 1996; Al-Qazzaz et al., 2016). De aminozuurconcentraties zijn gelijklopend tussen de verschillende diëten, zie tabel 2 (Newton et al., 2004; Al-Qazzaz et al., 2016)

2.3.2. Vetten

BSF-larven hebben een groot potentieel om verzadigde vetzuren (VZ) op te slaan. Het grootste deel van het vet van de BSF-larve bestaat namelijk uit verzadigde VZ. Dit varieert van 648,2 tot 828,0 g per kg vetzuur methyl esters. Het merendeel van deze verzadigde VZ bestaan uit laurinezuur (C12:0). BSF-larven bevatten een continu hoge concentratie aan laurinezuur, zelfs bij een laurinezuur-arm dieet. Dit komt doordat koolhydraten dan omgezet worden in vetten (Spranghers et al., 2017b).

De *apparent bioconcentration factor* (aBCF) of de mate waarin de larve een bepaalde voedingsstof opneemt, is echter laag voor onverzadigde VZ. Dit betekent dat er een inefficiënte opname is van onverzadigde VZ in het lichaam van de larve (Spranghers et al., 2017b; Danieli et al., 2019). Toch is de concentratie aan onverzadigde VZ in de larven afhankelijk van het substraat waarin de larven groeien. Hoe rijker het substraat aan onverzadigde VZ, hoe rijker de larven. Bijvoorbeeld, indien het substraat

waarin de larven groeien, voor 10% uit omega3 rijk visafval en 90% uit rundveemest bestaat, bestaan de larven op DS-basis voor 30% uit vet. Hiervan bestaat 3% van het vet uit omega3 VZ. Het vet van het substraat bestond uit 2,9% omega3 VZ. De controlegroep die op 100% zuivere rundveemest heeft gegroeid, bevatte daarentegen slechts 20% vet op DS-basis waarvan 0,2% van het vet uit omega3 VZ bestonden. Het vet van het substraat bestond toen uit 0,23% omega3 VZ (St-Hilaire et al., 2007).

De totale concentratie aan vetten en de concentratie aan onverzadigde VZ in de larven is dus afhankelijk van de concentratie van het substraat waarin ze groeien (St-Hilaire et al., 2007; Danieli et al., 2019). Een hoge concentratie aan onverzadigde VZ in larven is interessant als veevoeder omdat de concentratie in het vlees hoger is (St-Hilaire et al., 2007). Daarnaast kunnen BSF-larven efficiënt verzadigde VZ opnemen maar geen onverzadigde VZ (Spranghers et al., 2017b; Danieli et al., 2019). De hoge concentratie aan onverzadigde vetzuren in de larven worden dus niet verkregen door een efficiënte opname, maar door een hogere blootstelling in het substraat.

2.3.3. As

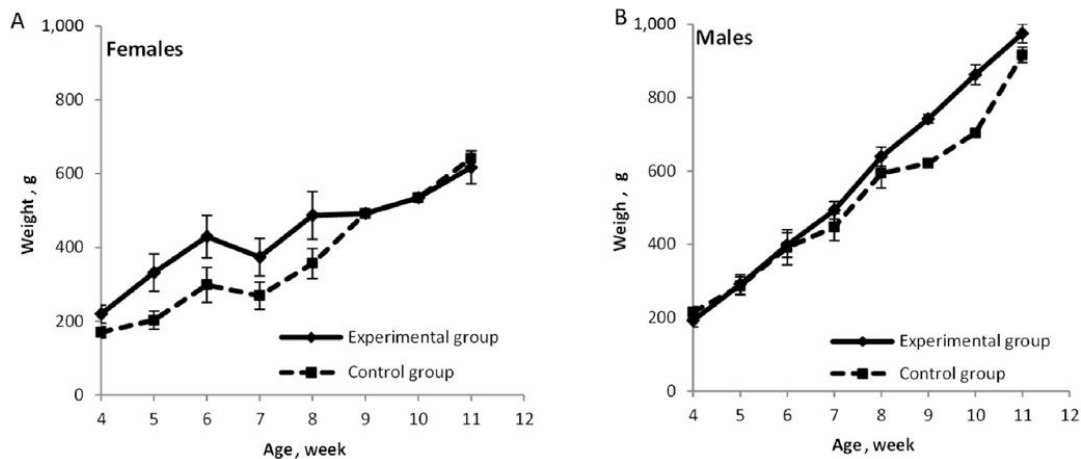
Door het verassen van de larven bij 550°C bepaalt men het percentage ruwe As. Ruwe As bestaat uit mineralen en metalen. Binnen en tussen studies blijkt het percentage ruwe As sterk te verschillen, zie tabel 1. BSF-larven bevatten tussen de 5 en 15% ruwe as. Dit komt doordat het as-percentages in de larven sterk gecorreleerd zijn met het as-percentages in het substraat waarop ze groeien. Enkel de Ca-concentratie in de larven varieert onafhankelijk van de concentratie van het dieet. Andere mineralen zoals Cu, Mg, K, Na en P zijn wel gecorreleerd met de concentratie van het substraat waarop ze groeien. BSF-larven kunnen veel Ca bevatten, wat hen een geschikte Ca-bron maakt als veevoeder. Zo bevatten ze tot 28,7g Ca/kg DS larven. Afhankelijk van de beschikbaarheid, kan dit voordelig zijn voor leghennen, maar een teveel aan Ca is negatief doordat dit de pH van de maag doet stijgen (Spranghers et al., 2017b). BSF-larven hebben dus een gunstige nutritionele waarde voor pluimvee. De vraag luidt dan ook wat de invloed is van BSF-larven op de productie van (pluim)vee.

2.4. Gebruik van BSF-larven in de pluimveehouderij

BSF-larven zijn reeds op experimentele schaal gebruikt als veevoeder. Dit hoofdstuk gaat over de invloed van BSF-larven die als pluimveevoeder worden gebruikt. Meer specifiek gaat het over de invloed op de productiewaarden van pluimvee en de ei/karkas-kwaliteit.

Bij leghennen die gevoederd werden met 1% en 5% BSF-larven (op DS-basis), werd geen invloed op de voederopname, de gewichtstoename, de eiwitkwaliteit en het uitkippercentage ondervonden. Het aantal eieren per dag per legghen steeg zelf dankzij de BSF-larven. Daarnaast waren er nog extra voordelen zoals: het voorkomen-, de textuur-, de smaak- en de appreciatie van de eieren. Het voeder met BSF-larven heeft echter een beperkte negatieve invloed op de FCR (=feed conversion ratio) van het ei, de ei-grootte, de schaaldikte, het gewicht van de eischaal, de kleur van het eigeel, de vruchtbaarheid van de leghennen en de ei-massa (Al-Qazzaz et al., 2016).

Bij traag groeiende Ardeense vleeskippen, waarvan 2% van de DS-opname uit BSF-larven bestond, steeg de hoeveelheid poly-onverzadigde VZ in het vlees met 27,1% (Moula et al., 2018). Voor de rest is er geen verschil in hoeveelheid eiwit, verzadigde en mono-onverzadigde vetzuren op te merken in vergelijking met gewoon voeder. De gewichtsaanzet van de vleeskippen met BSF-voeder verschilde wel. Hierbij wogen de BSF-gevoederde kippen de eerste weken meer dan de controlekippen, zie figuur 3. Het eindgewicht bleef gelijk. Hierdoor is er geen verschil in FCR waargenomen. Merk op dat men bij dit experiment traag groeiende vleeskippen gebruikte, die tot 12 weken groeiden. Dit is langer dan de gebruikelijke broilers die maar 6 weken groeien (Moula et al., 2018).



Figuur 3: Het gemiddeld gewicht van vrouwelijke (A) en mannelijke (B) Ardeense vleskippen, waarvan het rantsoen uit 2% BSF-larven (experimental group) en 0% BSF-larven (control group) op DS-basis bestond, ten opzichte van de leeftijd van de vleskippen (uit: Moula et al., 2018).

Naast pluimvee, worden BSF-larven ook gebruikt als voeder bij varkens. Biggen, die deels BSF-larven in het voeder kregen, ondervonden geen negatieve effecten op dagelijkse groei, voederopname en voederconversie. Daarnaast was er geen significant verschil in verteerbaarheid van het voer. Er werd ook geen impact van het voederen van BSF-larven op de intestinale histomorfologie waargenomen (Spranghers et al., 2018). Laurinezuur, waar BSF-larven rijk aan zijn, heeft bovendien in vitro een onderdrukkend effect op D-streptokokken en *Clostridium perfringens*. Deze kiemen zijn verantwoordelijk voor respectievelijk endocarditis en necrotische enteritis bij pluimvee (Chadfield et al., 2004; Mathis et al., 2018; Spranghers et al., 2018).

De vraag luidt of het beter is om zuivere larven of bewerkte larven te voederen aan vee. Het verwerken van larven zou een negatieve invloed hebben op de smakelijkheid voor pluimvee. Daarnaast zou bij het malen van de larven sneller ranzigheid optreden (Moula et al., 2018). Anderzijds hebben oven gedroogde larven een hoger eiwitgehalte (Aniebo en Owen, 2010). Een ander voordeel van de larven te bewerken is dat er meer toepassingsmogelijkheden zijn om de larven te gebruiken (zie 2.2 Toepassingen van BSF-larven) en kunnen anti-nutritionele factoren eventueel verminderd worden. Indien de larven levend gevoederd worden, zijn de toepassingen beperkter.

2.5. Ecologische impact van BSF als invasieve exoot

BSF-larven komen van nature niet voor in Noordwest-Europa. De massale kweek van BSF-larven als veevoeder staat in contrast met de toenemende aandacht om invasieve exoten uit onze regio's weg te houden (Spranghers et al., 2017a). Er zijn talloze voorbeelden van diersoorten die in Europa geïntroduceerd werden voor functionele doeleinden zoals, de Amerikaanse stierkikker (productie van kikkerbillen), de wasbeer (pels) en de muskusrat (pels). Daarnaast werden er ook insecten geïntroduceerd zoals het Aziatisch lieveheersbeestje met als doel luizenplagen onder controle te houden in serres.⁸ Tot nu toe wordt BSF niet gezien als een invasieve exoot. Doordat BSF geen functioneel monddeel heeft en dus niet kan steken, gaat men er van uit dat het geen ziektes kan overdragen naar de mens (Spranghers et al., 2017a). Of BSF ziektes kunnen overdragen naar andere insecten is niet geweten. Het is maar de vraag of BSF in West-Europa in het wild kan overleven en wat de invloed is op het milieu en de mens indien hij hier overleeft?

De grootste uitdaging voor de vlieg is om de koude winters te overleven. Om te weten wanneer insecten onderkoeld zijn, wordt het SCP (supercooling point) berekend. SCP is de temperatuur waarbij een insect niet meer in staat is om het bevriezen van zijn lichaam te vermijden, hierdoor zal hij uiteindelijk sterven. Het SCP van BSF-larven is vanaf -7,3 °C en bij BSF-poppen vanaf -13,7°C. Algemeen geldt dat hoe energierijker het substraat waarop de larven groeien, hoe lager de temperaturen waarop de larven kunnen overleven (Spranghers et al., 2017a). Dit bevestigt nogmaals dat het substraat de fysiologie van BSF sterk beïnvloedt (St-Hilaire et al., 2007; Spranghers et al., 2017a, 2017b; Danieli et al., 2019). Daarnaast kunnen BSF-prepoppen 23 dagen overleven bij 5°C alvorens 50 procent van de prepopen sterven. In vergelijking, bij de roofkever (*Delphastus catalinae*) is dit rond de 9 dagen terwijl dit bij de roofwants (*Dicyphus hesperus*) en de roofmijt (*Neoseiulus californicus*) rond de 60 dagen is. Deze insectensoorten zijn allemaal exoten die gebruikt worden tegen insectenplagen in de tuinbouw (Bale en Hayward, 2010). Men concludeert dat het onder de huidige klimatologische omstandigheden weinig waarschijnlijk is dat BSF-larven kunnen overwinteren in Noordwest-Europa, maar dat het dieet en de acclimatisatie deze weerbaarheid kan beïnvloeden (Spranghers et al., 2017a). Indien het klimaat verder blijft opwarmen, moet onderzocht worden wat de invloed hiervan is op de overleving van BSF.⁹

De huidige wetgeving over het kweken van BSF-larven blijft zeer streng, mede doordat zo weinig gekend is over de invloed van BSF op mens en milieu.

⁸Onze natuur, 2020

<https://www.onzenatuur.be/artikel/veroveren-invasieve-soorten-onze-natuur> (laatst geconsulteerd op 9 mei 2021)

⁹Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI), 2019

<https://www.meteo.be/nl/klimaat/klimaatverandering-in-belgie/klimaatrends-in-belgie> (laatst geconsulteerd op 4 april 2021)

2.6. Wetgeving

De voornaamste reden dat er nog niet op grote schaal gekweekt wordt met BSF-larven op mest zijn de wettelijke beperkingen. Insecten worden vandaag gezien als niet-herkauwende landbouwhuisdieren wanneer men ze teelt voor voeder- en voedseldoelinden. Dit zorgt ervoor dat het substraat waarop de insecten groeien, moeten voldoen aan de wetgeving voor veevoerders. Bijgevolg mag het groeisubstraat geen dierlijke bijproducten (DBP) bevatten. Dit was oorspronkelijk om overdraagbare spongiforme encefalopathieën (OSE) uit te roeien. Het is dus verboden om eiwitten van herkauwers, afval, vleesbeendermeel en mest als voeder voor insecten te gebruiken. Slechts enkele DBP mogen uitzonderlijk toch als veevoeder dienen (Verordening (EG) 999/2001 van 22 mei 2001). Melk, honing en vismeel zijn enkele voorbeelden van DBP die wel toegelaten zijn als veevoeder voor insecten. Deze uitzonderingen moet men eerst behandelen volgens verordening (EG) nr. 1069/2009 (de “dierlijke bijproducten verordening”) alvorens men ze gebruikt als veevoeder. Het is belangrijk om te weten dat de wetgeving over de DBP zowel geldt voor het pluimveemest die aan BSF-larven worden gevoederd als voor BSF-larven die aan pluimvee worden gevoederd. Dit komt doordat zowel pluimveemest als BSF-larven, voor DBP worden aanzien en zowel pluimveemest als BSF-larven voor veevoeder worden gebruikt.

Sinds 1 juli 2017 zijn insecten enkel toegelaten als voeder voor de aquacultuur en hobbydieren.¹⁰ Tot nu toe zijn vissen dus de enige voedselproducerende dieren waar insecten aan gevoederd mogen worden. Er zijn slechts een beperkt aantal insectensoorten toegelaten als veevoeder voor de aquacultuur: de zwarte soldatenvlieg (*Hermetia illucens*), de huisvlieg (*Musca domestica*), de meeltor (*Tenebrio molitor*), de piepschuimkever (*Alphitobius diaperinus*), de huiskrekel (*Acheta domestica*), de dierentuinkrekel (*Gryllodes sigillatus*) en de steppenkrekel (*Gryllus assimilis*). Alvorens insecten als dierlijke eiwitten gevoederd kunnen worden aan voedselproducerende dieren, dienen ze verwerkt te worden volgens de al eerder vermelde Europese regels. Aan niet-herkauwende, niet-voedselproducerende dieren (bv. een reptiel als huisdier) mogen larven uitzonderlijk levend gevoederd worden. Voor het restsubstraat dat overblijft nadat de larven op het substraat groeien zijn ook regels opgesteld. De mogelijkheden van het restsubstraat zijn afhankelijk van het voeder waarop de larven groeien. Restsubstraat dat nog insectenresten bevatten moeten altijd gepasteuriseerd worden.¹¹ Er zijn dus tal van beperkingen om insecten op mest te kweken als veevoeder. Deze beperkingen zijn een momentweergave van de huidige wetgeving. In de toekomst, kan de wetgeving veranderen en toepassingen uitbreiden of beperken. Verder onderzoek moet uitwijzen wat mogelijk is om insecten te kweken die veilig zijn voor de volksgezondheid.

¹⁰ Europese Commissie, 2017. VERORDENING (EU) 2017/893 VAN DE COMMISSIE van 24 mei 2017 tot wijziging van de bijlagen I en IV bij Verordening (EG) nr. 999/2001 van het Europees Parlement en de Raad, en van de bijlagen X, XIV en XV bij Verordening (EU) nr. 142/2011 van de Commissie wat de bepalingen inzake verwerkte dierlijke eiwitten betreft. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0893&from=NL> (laatst geconsulteerd op 4 mei 2021)

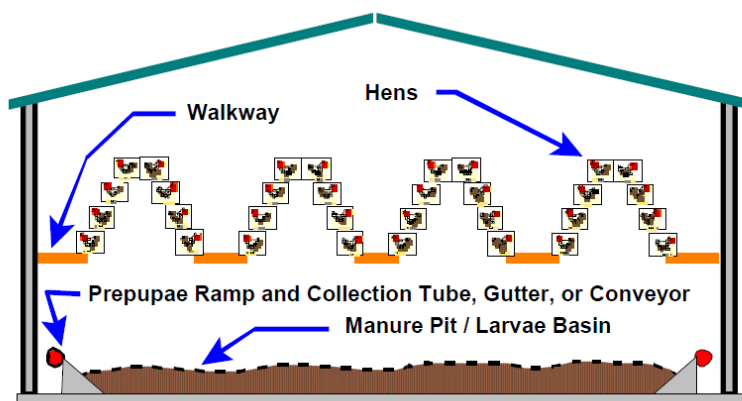
¹¹Nota restsubstraat van insecten gebruikt als landbouwhuisdieren voor de productie van Food, Feed of technische toepassingen. https://www.favv-afvsa.be/dierlijkeproductie/dierenvoeding/insekten/documents/restsubstraatinsectenapril2019_NL.pdf (laatst geconsulteerd op 4 mei 2021)

2.7. Productie-eigenschappen van BSF-larven

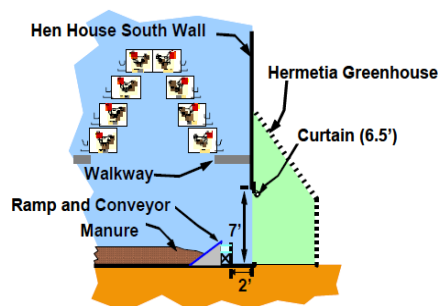
In het verleden zijn er al talloze manieren gebruikt om BSF-larven te kweken. De groei van de larven wordt sterk bepaald door de keuze van het substraat, de omgevingstemperatuur, de substraatvochtigheid, de luchtvochtigheid, de frequentie van voederen, de totale hoeveelheid substraat per larve, de dichtheid aan larven, de duur van de groei, de leeftijd van de larven toegevoegd aan het substraat en de manier om de larven te oogsten.

2.7.1. Kweekinstallatie

De traditionele manier om BSF-larven op te kweken is door het substraat buiten te laten enten met wilde BSF-populaties afkomstig uit de natuur. Dit is de meest eenvoudige methode. De vrij



Figuur 4: Een BSF-mestverwerking geïntegreerd onder een leghennenstal (uit: Newton et al., 2004).



Figuur 5: Een BSF-mestverwerking geïntegreerd onder een leghennenstal met serresysteem voor reproductie van de vliegen (uit: Newton et al., 2004).

Aan de buitenkant van de stal zijn serres voorzien waar volwassen vliegen zich kunnen voortplanten (figuur 5). Deze serres staan in verbinding met de mestkelder waardoor de vrouwelijke vliegen hun eitjes in de mest kunnen leggen (Newton et al., 2004). Een variant op dit systeem is dat de larven, via schuin geplaatste plankjes, door de roostervloer omhoog kruipen. Hierdoor kunnen de kippen zelf de larven tussen de roosters opeten (Craig Sheppard et al., 1994). Als laatste methode kunnen de larven in een aparte huisvesting opgekweekt worden in zo genaamde 'insectenboerderijen'.

rondlopende kippen kunnen daarna zelf de larven opeten. De voordelen hiervan zijn, dat er minder kosten en minder arbeid nodig zijn. De nadelen zijn: een laag rendement, een variërende opbrengst, het is niet toepasbaar op grote schaal en het is enkel mogelijk in gebieden waar BSF voorkomt (Newton et al., 2004).

Een andere manier is om de larven te laten groeien in een mestkelder die zich onder het vee bevindt. De mest van het vee valt door de roostervloer in de mestkelder. Wanneer de larven in hun prepopen fase zijn, migreren de larven hoger op via schuine wanden aan de zijkant van de mestkelder. Hierbij vallen de larven in een opvangbak.

Een voorbeeld hierop is het kweken van BSF-larven onder een



Figuur 6: Klimaatruimtes met gestapelde bakken waarin BSF-larven in het substraat groeien (uit: Dortmans et al., 2017).

Hierbij groeien de larven in gestapelde bakken in gecontroleerde klimaatruimtes, zie figuur 6. Dit zorgt ervoor dat alle factoren (zoals klimaat, luchtvochtigheid, temperatuur) beter onder controle zijn (Dortmans et al., 2017).

2.7.2. Substraat

Het dieet waarop de BSF-larven groeien heeft naast de reeds beschreven invloed op de nutritionele samenstelling van BSF-larven ook invloed op de overlevingsgraad van de larven (Danieli et al., 2019). Zo is de overlevingsgraad van de larven die zich voeden op kippenmest ($82,2 \pm 13,5\%$) lager in vergelijking met larven die op rundveemest ($97,0 \pm 4,73\%$) en varkensmest ($87,8 \pm 5,00\%$) groeiden. Er is geen significant verschil in grootte van de larven die op kippenmest, varkensmest of rundveemest groeiden ($0,068-0,083$ g / larve). De totale productie van larven is dus hoger op rundveemest dan op kippenmest. Daarnaast heeft een substraat die te rijk is aan eiwitten een negatieve invloed op de larvale ontwikkeling en overleving. Door een te hoge eiwitconcentratie in het substraat, hebben de larven een hoger energieverbruik nodig om het eiwitstikstof te detoxificeren (Danieli et al., 2019).

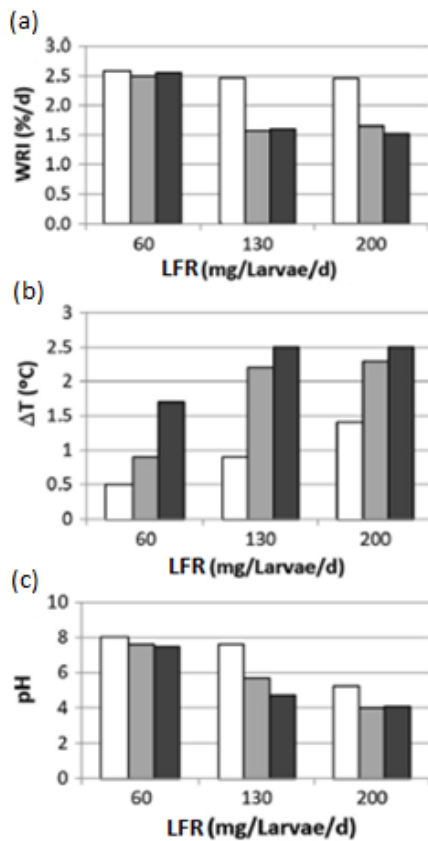
Naast de samenstelling van het substraat heeft ook het voorbehandelen van het substraat een invloed op de resultaten van de larven. In de meeste studies wordt het voorbehandelen van de mest voornamelijk beperkt tot het mixen van de mest. Dit dient om een homogeen substraat te verkrijgen, wat beter opneembaar is voor de larven. Het is afgeraden de mest te drogen of te steriliseren op hoge temperatuur (Yu et al., 2011; Oonincx et al., 2015). Dit heeft een negatief effect op de nutritionele waarde van de mest voor bijvoorbeeld hittegevoelige vitamine B (Oonincx et al., 2015). Bijkomend verdwijnt de bacteriële flora die nodig is voor de larven bij het steriliseren (Yu et al., 2011; Oonincx et al., 2015). De bacteriële flora van het substraat is zeer belangrijk om de groei te bevorderen. Zo zijn stalvliegen (*Stomoxys calcitrans*) gekweekt op een steriel substraat, niet in staat om zich volledig te ontwikkelen (Yu et al., 2011).

Er kunnen ook probiotica toegevoegd worden aan het substraat om de productieresultaten te verbeteren (De Smet et al., 2018). Bij het toevoegen van bacteriën (4 stammen van *Bacillus subtilis* en 1 stam van *Bacillus natto*) aan kippenmest steeg het gewicht van de larven met 22%. Dit komt doordat *B. subtilis* het eiwit al verteert en de organische fosfor omzet in oplosbare vorm. Daarnaast zorgt *B. natto* voor een fermentatie van het substraat (Yu et al., 2011). Een mogelijkheid zou kunnen zijn om de mest eerst te steriliseren en dan gecontroleerd probiotica toe te voegen.

2.7.3. Temperatuur & vochtigheid

De groei en de duur van de BSF-cyclus is sterk afhankelijk van de temperatuur. De ideale temperatuur om BSF-larven op te kweken is 27°C (Tomberlin et al., 2009). Daarnaast hebben de larven nood aan een hoge relatieve luchtvochtigheid, tussen de 70% tot 85% (Oonincx et al., 2015; Park, 2016). Het substraat van de larven moet zeer vochtig zijn zodat de larven het substraat beter kunnen opnemen. De larven zuigen als het ware het substraat op. Hierbij is een substraatvochtigheid van 67% aangeraden (Oonincx et al., 2015).

2.7.4. Substraathoeveelheid, larvale densiteit en voederfrequentie



Figuur 7: Invloed van de LFR (=larval feeding rate) (mg/larve/dag) en de larvale densiteit (witte balken = 2 larven/cm², grijze balken = 4 larven/cm², zwarte balken = 6 larven/cm²) op de pH, temperatuurverschil (°C) en WRI (= waste reduction index) (%/dag) (Naar: Parra Paz et al., 2015).

De substraathoeveelheid per larve beïnvloedt in sterke mate de groei van de larven, de mestreductie, substraat-pH en de temperatuur van het substraat. Bij een tekort aan substraat zullen de larven pas verpoppen wanneer ze een minimumgewicht van 35 mg VS per larve bereikt hebben (Diener et al., 2009). Dit betekent dat hoe lager de dagelijkse beschikbare hoeveelheid substraat per larve (LFR= larval feeding rate), hoe langer het duurt om het prepopstadia te bereiken en hoe lager het gewicht van de larve. De LFR wordt uitgedrukt in mg/larve/dag (Diener et al., 2009; Parra Paz et al., 2015). Doordat de LFR de groei van de larven beïnvloedt, zal de LFR ook de reductie aan substraat beïnvloeden. Deze reductie aan substraat wordt uitgedrukt aan de hand van de WRI (Waste Reduction Index). De WRI is het gemiddelde percentage reductie aan substraat per dag. Bij een LFR van 60 mg DS substraat/larve/dag is de WRI het hoogst, zie figuur 7 (Parra Paz et al., 2015). Bij een dagelijkse substraatvoorziening tussen 12,5 en 100 mg DS substraat/larve/dag is de mestreductie op basis van VS tussen de 37,3% en 43,2%. Wanneer dit stijgt naar 200 mg DS substraat/larve/dag daalt de reductie tot slecht 26,2%. Een te hoge hoeveelheid substraat per larve is dus negatief voor de substraatreductie (Diener et al., 2009).

Een stijging van de LFR doet de temperatuur van het substraat stijgen. Hoe meer substraat per larve beschikbaar is hoe hoger de warmteproductie. Daarnaast zal een hogere LFR de pH van het substraat doen dalen door vorming van anaerobe condities (Parra Paz et al., 2015).

In de literatuur beschrijft de larvale densiteit het aantal larven per cm². Hoe hoger de larvale densiteit hoe langer de kweektijd duurt. Dit komt doordat er minder substraat is per larve. Er is dan meer competitie tussen de larven. Hierbij is er een langere ontwikkelingstijd nodig. De meest ideale WRI is bij een lage larvale densiteit (1,2-3 larven/cm²). Een hoge larvale densiteit in combinatie met een hoge LFR moet vermeden worden. Hierbij daalt de WRI en de pH. Bij een hoge larvale densiteit zal de temperatuur stijgen door overbezetting en warmtegeneratie door beweging en metabolisme, zie figuur 7. Dit kan nuttig zijn wanneer de omgevingstemperatuur suboptimaal is (Diener et al., 2009; Parra Paz et al., 2015).

De voederfrequentie of het aantal keer dat men de larven voedert, heeft ook indirect een invloed op de larvale groei. In verschillende studies wordt gekozen om over meerdere keren de larven te voederen. Dit doet men omdat het startsubstraat te snel zal uitdrogen, wat een negatieve invloed heeft op de larvale groei. Hoe kleiner het volume substraat hoe meer vocht het substraat verliest. Het meerdere keren voederen van de larven vergt meer arbeid (Ooninx et al., 2015).

2.7.5. Groeiperiode & leeftijd van larven toevoegen

De duur van de groeiperiode wordt bepaald door het tijdstip van oogsten. In de literatuur is er geen consensus over het optimale oogsttijdstip van de larven. Veel experimenten oogsten op het tijdstip wanneer de larven in de prepofase zitten (Craig Sheppard et al., 1994; Yu et al., 2011; Spranghers et al., 2017b). Andere studies oogsten vroeger, voordat de larven prepoppen zijn geworden (Bosch et al., 2014; Oonincx et al., 2015). De eerste reden om larven als prepoppen te oogsten is het verlies aan darmtractus. Dit heeft als voordeel dat er geen substraat inwendig in de larve aanwezig is (Newton et al., 2005; De Smet et al., 2018). Ten tweede is het vetgehalte het hoogst bij prepoppen. Dit komt omdat prepoppen vetreserves nodig hebben om te verpoppen en zich voort te planten als vlieg (Newton et al., 2004; Craig Sheppard et al., 1994). Als laatste zijn prepoppen op hun maximaal gewicht (Newton et al., 2005). Een nadeel om prepoppen te oogsten is dat ze een lagere verteerbaarheid hebben dan larven. Hierdoor kan men opteren om de larven te oogsten op het moment dat de eerste prepoppen zichtbaar zijn waardoor enkel larven geoogst worden (Bosch et al., 2014). Een andere mogelijkheid is om te oogsten wanneer 50% van de larven prepoppen zijn (Parra Paz et al., 2015).

Door larven pas op latere leeftijd, en dus niet vanaf de eerste dag na uitkomst op het doelsubstraat toe te voegen, kan de duur van groeiperiode sterk ingekort worden. Dit gebeurt door de larven de eerst dagen op te kweken op bevochtigd pluimveevoeder, om dan op latere leeftijd op mest te laten groeien. Vaak duurt deze pre-opkweek 5 dagen. Doordat de larven de eerste dagen nog zeer klein zijn, kweekt men de larven op een kleinere oppervlakte wat ruimte bespaart.

2.7.6. Oogsten van de larven



Figuur 8: Machinale zeef om larven te oogsten (uit: Dortmans et al., 2017).

Er zijn twee manieren om de larven te oogsten. De eerste manier is dat de larven zichzelf oogsten met behulp van hun migratiedrang om naar een geschikte verpopplingsplaats te migreren. Dit is een groot voordeel van BSF t.o.v. andere insecten. Hierbij maakt men gebruik van een schuine wand om de larven te oogsten, zie figuur 4. Dit heeft als grote voordeel dat zuivere larven geoogst worden zonder contaminatie van mest. Het nadeel hiervan is dat de groeiperiode langer duurt. Dit omdat de larven zichzelf pas oogsten wanneer ze in de prepofase zitten. Niet alle larven oogsten zichzelf op hetzelfde moment. Hierdoor blijven er nog veel larven achter in het substraat

(Craig Sheppard et al., 1994 ; Newton et al., 2004). De tweede manier om larven te oogsten is machinaal te zeven, zie figuur 8. Hierbij worden eerst alle substraatpartikels kleiner dan de larven weggezeefd. Daarna worden alle substraatpartikels groter dan de larven weggezeefd. Wat overblijft zijn larven en substraatdeeltjes even groot als de larven. Machinaal zeven zorgt er dus voor dat er vroeger kan geoogst worden onafhankelijk van het prepopstadium (Dortmans et al., 2017). Het nadeel is dat het substraat voldoende droog moet zijn om te kunnen zeven. Indien het substraat te vochtig is, kan de zeef verstopten (Danieli et al., 2019).

3. PROBLEEMSTELLING & DOELSTELLING

3.1. Probleemstelling

De groeiende pluimveesector in Vlaanderen zorgt dus voor een toenemende import van soja en een stijging van de mestproductie.^{2,5} Het gebruik van alternatieve eiwitbronnen om de sector te verduurzamen is noodzakelijk.¹ Hierbij zijn circulaire systemen aan te raden zoals het kweken van BSF-larven op kippenmest waarna de larven weer kunnen dienen als eiwitbron voor veevoeder. Op die manier is er een extra afzet voor het mestoverschot en is er een extra vorm van eiwitproductie. In het verleden zijn er al studies gebeurd die BSF-larven kweekten op experimentele schaal op kippenmest. Deze studies beperkten zich enkel over het kweken van BSF-larven op leghennenmest en niet op vleeskippenmest.

Er stelt zich het probleem dat er nog geen optimale manier is om insecten te kweken op grote schaal. In de gekende studies werden de larven gekweekt in bakken die tussen de 49-203 cm² groot waren, zie bijlage 1. Dit is klein in vergelijking met het kweken van de larven op grote industriële schaal. Doordat de larven gevoelig zijn voor de substraatvochtigheid, beïnvloedt de grootte van de hoeveelheid substraat de resultaten (Dortmans et al., 2017).

In de literatuur wordt de larvale densiteit enkel beschreven als het aantal larven per cm². Het aantal larven per cm² vertelt enkel iets over de densiteit per oppervlakte en niet over de densiteit per massa substraat. Bij dezelfde oppervlakte kan de hoeveelheid substraat verschillen doordat de dikte van de substraatslaag kan variëren. Larven groeien in een 3 dimensionele matrix en niet in een 2 dimensionele matrix zoals varkens en kippen. Daarom zal in deze masterproef het onderscheid gemaakt worden tussen oppervlaktedensiteit en massadensiteit. Oppervlaktedensiteit is dus het aantal larven per oppervlakte en massadensiteit is het aantal larven per massa aan substraat. De LFR (mg substraat/larve/dag) zegt onrechtstreeks iets over het aantal larven per kg VS substraat, maar is ook afhankelijk van het aantal dagen dat de larven erop groeien. Er is nood om op een eenvoudige manier de densiteit aan larven te kunnen uitdrukken.

In veel studies wordt gekozen om de larven te oogsten wanneer ze in de prepofase zitten (Craig Sheppard et al., 1994; Yu et al., 2011; Spranghers et al., 2017a). Dit omwille van de reeds gekende voordelen (zie 2.7.5 Groeiperiode & leeftijd van larven toevoegen). Dit zorgt er echter voor dat de kweek langer duurt. Hoe langer de kweek van de larven duurt, hoe lager de rendabiliteit. Daarnaast leggen eerdere studies de nadruk op het gewicht per larve, de nutritionele samenstelling en de overlevingsgraad van de larven. Er wordt te weinig nadruk gelegd op de FCR. Zo wordt in bepaalde studies veel aandacht besteed aan het volwassen laten komen van de gekweekte larven om zo de langleeftbaarheid van de volwassen larven te meten. Dit is allemaal belangrijk voor de reproductie van BSF, maar minder belangrijk voor het afmesten van BSF-larven. Wanneer larven op industriële schaal gekweekt zullen worden, zullen er net zoals bij vee, vermeerderingsbedrijven en afmestbedrijven ontstaan, zie figuur 9. Daarnaast zijn er nog heel wat technische uitdagingen om de productie op grote schaal mogelijk te maken. Doordat insecten kweken arbeidsintensief is, is automatisering van de productie noodzakelijk (Dortmans et al., 2017).



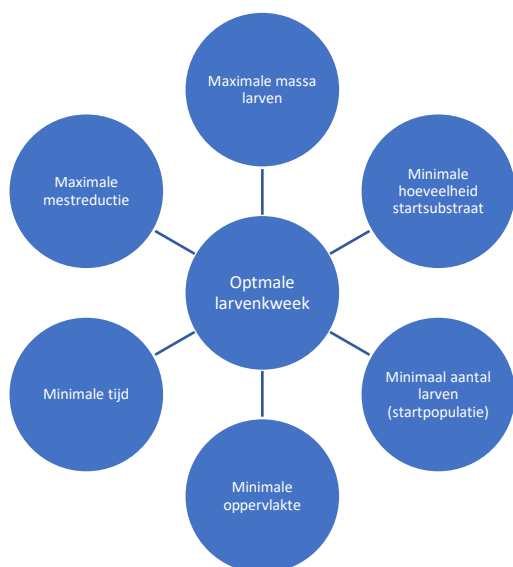
Figuur 9: Schematische weergave van de kweek van BSF. Hierbij is er een vermeerderingsfase en afmestfase.

BSF-larven zijn de oplossing op tal van problemen. De vraag luidt niet of BSF-larven een geschikte potentiële eiwitbron/afvalverwerker zijn, maar hoe BSF-larven op een praktische grote schaal optimaal kunnen opkweken.

3.2. Doelstelling

De doelstelling van deze masterproef is om de opkweek van BSF-larven op kippenmest als potentiële nieuwe eiwitbron voor veevoeder te optimaliseren. Dit onderzoek beperkt zich tot de 'afmestfase' van BSF-larven, zie figuur 9. Hierdoor wordt de nadruk gelegd op het kweken van een **maximale massa larven**, op een **minimale hoeveelheid substraat**, met een **minimaal aantal larven als startpopulatie**, op een **minimale oppervlakte**, in een **zo kort mogelijke periode** en waarbij er een **maximale mestreductie** plaatsvindt, zie figuur 10. Het belang van deze doelen is afhankelijk van de kostprijs per

doel. Het ene doel zal dus meer doorwegen dan het andere.



Figuur 10: De 6 doelen voor een optimale larvenkweek.

doel. Het ene doel zal dus meer doorwegen dan het andere. Om een maximale hoeveelheid larven te kweken met een minimale hoeveelheid substraat moet de FCRd (aantal kg DS mest nodig voor 1 kg VS larven) zo laag mogelijk zijn. Om een maximale hoeveelheid larven op een minimale oppervlakte te hebben moet de netto larvale opbrengst per m² (g VS larven/m²) zo groot mogelijk zijn. De netto-opbrengst van de larven is het gewicht van de totale hoeveelheid geogste larven min het gewicht aan totale hoeveelheid larven toegevoegd op dag 1. Het vochtgehalte van het restsubstraat bepaald de duur van de groeiperiode in het substraat. Hoe sneller de larven het substraat (67% vochtgehalte) kunnen uitdrogen hoe sneller de larven geogst kunnen worden. Om een maximale reductie aan mest te hebben, moet de mestreductie (%) zo groot mogelijk zijn. De mestreductie door BSF-larven is niet enkel van belang op basis van DS, maar ook op

basis van VS. Dit komt doordat de kostprijs om mest te transporteren (naar het veld of naar de mestverwerkingsinstallatie) per ton VS mest wordt bepaald en niet per ton DS mest.

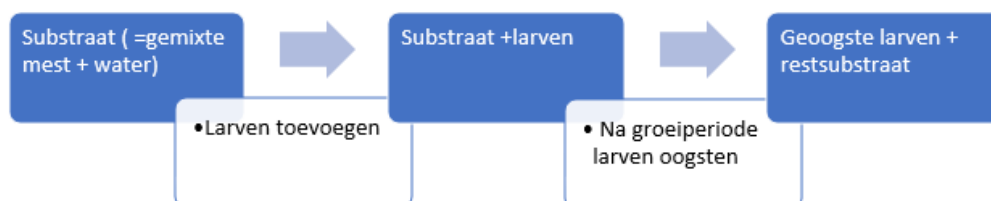
Om de optimale manier van larven kweken te omschrijven, zullen bij 3 variabelen de optimale waarde bepaald worden, rekening houdend met de 6 doelen van een optimale larvenkweek. Ten eerste zal het optimale aantal larven per kg VS substraat bepaald worden. Daarna wordt bepaald hoeveel vocht moet toegevoegd worden aan larven die al enkele dagen op het substraat groeien, zodat de groei van de larven optimaal verbetert. Als laatste moet de ideale hoeveelheid substraat per m² worden bepaald. Daarnaast zal de nutritionele waarde van de gekweekte larven geanalyseerd en vergeleken worden met conventionele eiwitbronnen in pluimveevoeder.

4. MATERIALEN & METHODEN

Alle experimenten van deze masterproefstudie werden uitgevoerd in het onderzoekscentrum voor land- en tuinbouw Inagro (Rumbeke, België). Inagro heeft verschillende klimaatkamers om insecten te kweken. De geïsoleerde kamers hadden, tijdens alle experimenten, een constante temperatuur van 27°C en een luchtvochtigheid van 70%. De broilermest en leghennenmest, die in alle proeven gebruikt werden als substraat, waren afkomstig van 2 *Salmonella*-vrije commerciële pluimveebedrijven in de buurt van Inagro. In alle experimenten groeiden de larven op een substraat met 33% DS-gehalte. De BSF-larven werden opgekweekt in bakken van 56 cm lang, 36 cm breed en 10 cm hoog. De totaal oppervlak van iedere bak was 2.016 cm². Bij alle experimenten kregen de larven, bij de start van de proef, de volledige substraathoeveelheid voor de volledige duur van het experiment. Bij het oogsten van de larven, werd van elke bak: het totaal gewicht aan larven met substraat, de temperatuur van het substraat, de hoeveelheid larven gemeten en het gewicht per larve (mg) berekend.

4.1. Experiment 1: Massadensiteit

In dit experiment werd de optimale massadensiteit bepaald bij 10kg VS substraat (33% DS) per bak. De proef bestond uit 8 bakken met broilermest en 8 bakken met leghennenmest, zie tabel 3. Het aantal larven per bak was respectievelijk 2.000; 6.000; 10.000; 14.000; 18.000; 22.000; 26.000 en 30.000 larven. Het substraat waarin de larven groeiden bestond uit kippenmest en werd aangevuld met leidingwater om zo een substraatvochtgehalte van 67% te bereiken. Het verloop van het experiment is weergegeven in figuur 11.



Figuur 11: Proefopzet om BSF-larven op te kweken op mest.

Tabel 3: Overzicht van opstelling experiment 1: massadensiteit.

Broilermest								
Baknummer	1	2	3	4	5	6	7	8
Massadensiteit (larven/kg VS substraat)	200	600	1.000	1.400	1.800	2.200	2.600	3.000
Aantal larven/bak	2.000	6.000	10.000	14.000	18.000	22.000	26.000	30.000
Oppervlaktedensiteit (aantal larven/cm ²)	1,0	3,0	5,0	6,9	8,9	10,9	12,9	14,9
Gewicht VS larven startpopulatie & groeimedium/bak (g)	35	105	176	246	316	386	456	527
Gewicht VS larven startpopulatie/bak (g)	8	24	40	56	72	88	104	120
Leghennenmest								
Baknummer	1	2	3	4	5	6	7	8
Massadensiteit (larven/kg VS substraat)	200	600	1.000	1.400	1.800	2.200	2.600	3.000
Aantal larven/bak	2.000	6.000	10.000	14.000	18.000	22.000	26.000	30.000
Oppervlaktedensiteit (aantal larven/cm ²)	1,0	3,0	5,0	6,9	8,9	10,9	12,9	14,9
Gewicht VS larven startpopulatie & groeimedium/bak (g)	35	105	176	246	316	386	456	527
Gewicht VS larven startpopulatie/bak (g)	8	24	40	56	72	88	104	120

Het substraat waarin de larven groeiden, werd bereid als volgt: De mest werd eerst gemixt (Blixer 30, Robot Coupe, Frankrijk), zie figuur 12. Zo kon een homogeen staal genomen worden van de mest om het vochtgehalte te bepalen (MA160 moisture analyzer, Sartorius, Duitsland). De leghennenmest had een vochtgehalte van 64,96% en de broilermest had een vochtgehalte van 50,45%. In de opkweekbakken was er 10 kg substraat nodig. Het substraat bestond enkel uit mest en leidingwater. Via vergelijking 1 werd berekend dat 9,43 kg leghennenmest nodig was om een substraat van 33% DS te bereiken. Bij de mest werd 0,57 kg leidingwater toegevoegd. Dit werd gewogen met een digitale weegschaal (ICS689, Mettler Toledo, Zwitserland) die tot 0,01 kg nauwkeurig is. Bij de broilermest was er 6,66 kg broilermest en 3,34 kg leidingwater nodig.

Vergelijking 1:

$$g = \frac{s \cdot G}{m} \quad g = \text{gewicht VS mest} \quad G = \text{gewicht VS substraat (10 kg)}$$

$$s = \text{gewenste DS\% substraat (33\%)} \quad m = \text{DS \% mest}$$



Figuur 12: Mixer gebruikt tijdens de experimenten (Blixer 30, Robot Coupe, Frankrijk).

De larven, die aan de mest toegevoegd werden, hadden een leeftijd van 6 dagen. De larven hadden deze eerste 6 dagen kunnen groeien op een groeimedium bestaande uit kuikenmeel en leidingwater. Om de gewenste massadensiteit te verkrijgen werden een bepaald aantal larven toegevoegd aan het substraat, zie tabel 3. Daarom werd de concentratie aan larven in het groeimedium bepaald. Om het aantal larven per hoeveelheid groeimedium te bepalen werd eerst het totale gewicht aan groeimedium bepaald met een digitale weegschaal (ICS 425, Mettler Toledo, Zwitserland) die tot 0,0001kg nauwkeurig is. Vervolgens werd hiervan een representatief staal (26,512 g) genomen door de bak eerst vier maal te vergieten naar een andere bak. Hierdoor was de inhoud homogeen gemengd. Dit werd gewogen met een andere digitale weegschaal (ME, Mettler Toledo, Zwitserland) die tot 0,001 g nauwkeurig is. Daarna werd manueel geteld hoeveel larven er in het staal aanwezig waren. In dit staal zaten 1.510 larven. Dit betekende dat de concentratie 56,66 larven per gram groeimedium was. Het correct aantal larven werd vervolgens in de

bakken uitgestrooid. Hierna werden de bakken gestapeld per 4, waarbij er telkens één lege bak bovenaan en één onderaan werd geplaatst. Dit om te voorkomen dat er invloeden waren door de positie van de bak in de ruimte. Er werden reservestalen van de mest en de larven in bij -20°C bewaard.

Tussentijdse meting:

Bij de tussentijdse meting waren de larven reeds 8 dagen aan het groeien op het substraat. Het was niet mogelijk om meerdere tussentijdse metingen te doen omdat de gelaagdheid van het substraat dan te veel verstoord zou worden. De bovenste laag van het substraat bestond uit droge grote partikels mest. De onderste laag was een meer homogenere, vochtigere laag. De larven bevonden zich in de onderste vochtige laag. Bij elke bak werd eerst de temperatuur van het substraat genomen. De temperatuur werd altijd op de bodem, in het midden van de bak gemeten via een digitale thermometer (Digital Thermometer SCALA®, Gefu, Duitsland) om variatie tussen de verschillende substraatlagen te vermijden.

Het gewicht van het substraat met de larven werd bepaald, waarna het gehomogeniseerd werd om een representatief staal te nemen. Het totaal gewicht van het representatief staal werd bepaald. Hierna werden de larven manueel met een pincet gescheiden van de mest en geteld. Het gewicht van het totaal aantal larven in het staal werd hieruit bepaald waardoor het gewicht per larve berekend werd. Om het totale gewicht aan larven per bak te berekenen werd volgende vergelijking gehanteerd.

Vergelijking 2:

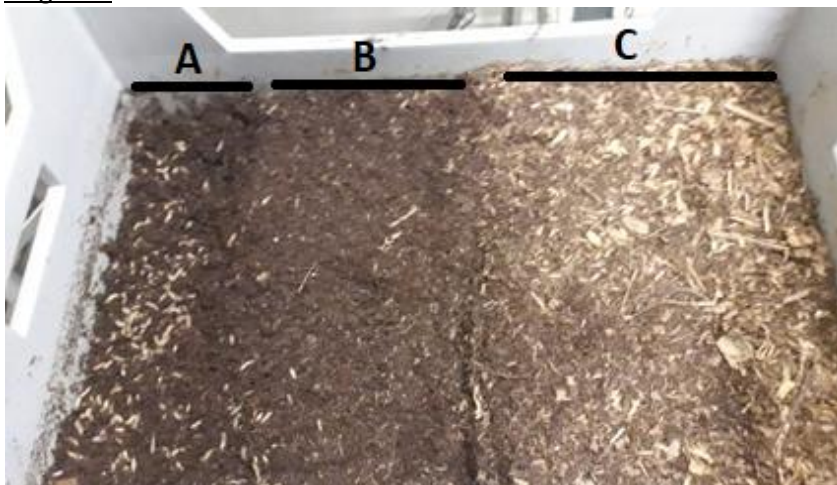
$$L = \frac{a \cdot g}{s} * S \quad L = \text{totaal gewicht larven} \quad a = \text{aantal larven sub-staal}$$

$$g = \text{gewicht/larve sub-staal} \quad s = \text{gewicht sub-staal}$$

$$S = \text{totaal gewicht substraat + larven}$$

Als laatste werd 1 liter water toegevoegd aan de bak met leghennenmest met 3.000 larven/kg VS-substraat. De reden hiervan was om te weten of de larven in deze bak beter zouden groeien door het extra water dan de rest.

Oogsten:



Figuur 13: De gelaagdheid van het substraat na 11 dagen groeien van BSF-larven: op de bodem van de bak (zone A) bevinden zich de witte larven tussen het vochtig substraat, in de middelste laag (zone B) bevindt zich vochtig substraat zonder larven en op de oppervlakte (zone C) bevindt er zich zeer droog substraat zonder larven.

Na een groeiperiode van 11 dagen werden de larven geoogst omdat het substraat voldoende uitgedroogd was. Hoe droger het substraat, hoe eenvoudiger het is om de larven zo zuiver mogelijk, machinaal te zeven. De gelaagdheid van het substraat was nog duidelijker toegenomen dan tijdens de tussentijdse meting, zie figuur 13. De temperatuur werd net als in de tussentijdse meting van elke bak bepaald. Om de



Figuur 14: Elektrische zeef (Finex separator, Russell, Verenigd-Koninkrijk): In de verticale buis links belanden de insecten, rechts belandt het restsubstraat.

larven eenvoudiger te kunnen zeven werd de bovenste droge laag van het substraat manueel verwijderd. Daarna werd de rest van het substraat geleidelijk uitgegoten in de elektrische zeef (Finex separator, Russell, Verenigd-Koninkrijk), zie figuur 14. De zeefopening was 3,5 mm. De larven bleven op de zeef en de mestdeeltjes kleiner dan 3,5 mm vielen erdoor. Indien er te veel larven door de zeef vielen werd er gekozen voor een kleinere zeefopening (3mm). De mestpartikels groter dan 3,5 mm werden gescheiden met behulp van een manuele zeef. Hierbij vielen de larven door de zeef en bleven de grotere mestdelen achter op de zeef. Omdat de larven nog altijd niet volledig zuiver waren, werd er een sub-staal genomen waarna het gewicht per larve manueel werd bepaald. Het totale gewicht aan larven werd berekend op dezelfde manier als vergelijking 2. Deze manier van zeven

lukte voor alle bakken behalve de bak met 200 larven per kg broilermest. Het substraat van deze bak was te vochtig om te zeven. Als oplossing hierop werd een sub-staal genomen waarbij het aandeel aan larven berekend werd.

4.2. Experiment 2: Vochtverliescompensatie

Opzet:

Experiment 2 werd op dezelfde manier opgesteld als beschreven in experiment 1. In experiment 2 werd nagegaan wat het effect was, van een verschillende hoeveelheid water toe te voegen op 12 identieke bakken na een groeiperiode van zes dagen. Deze proef werd enkel met broilermest uitgevoerd omdat broilermest betere resultaten gaf dan leghennenmest in experiment 1.

Er werd gekozen om 8 kg substraat i.p.v. 10 kg substraat per bak te gebruiken doordat er onvoldoende larven ter beschikking waren. Het vochtpercentage van de broilermest was 42%. Om 8 kg substraat te hebben aan 33% DS was er 4,55 kg mest nodig, zie vergelijking 1. Iedere bak bevatte dus 2,639 kg DS mest. De rest werd aangevuld met leidingwater. Uit de vorige proef bleek dat 2.200 larven per kg VS-substraat de beste resultaten gaven. Dit betekent dat iedere bak 17.600 larven bevatten. De larven die aan het substraat toegevoegd werden zijn 5 dagen oud en wogen 5,08 mg per larve. De oppervlaktedensiteit bedroeg 9,0 larven/cm².

Tabel 4: Proefopzet proef 3: Vochtverliescompensatieproef.

Baknummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vochtverliescompensatie op dag 6 (%)	0,0%	9,1%	18,2%	27,3%	36,4%	45,5%	54,5%	63,6%	72,7%	81,8%	90,9%	100,0 %
Water toegevoegd op dag 6 (ml)	0	317	633	950	1.266	1.583	1.899	2.216	2.532	2.849	3.165	3.482

Tussentijdse meting:

Na 6 dagen groeien, werden alle bakken gewogen en de temperatuur van het substraat bepaald. Het substraat (inclusief larven) wogen gemiddeld 3,482 ± 0,200kg minder dan bij de proefopzet op dag 1. Er werd verondersteld dat dit verlies aan gewicht vooral door uitdrogen kwam. Hierdoor werd het vochtverlies van 3.482 ml de maximum waarde om water toe te voegen en werd dit gelijk gesteld als

100% vochtverliescompensatie (tabel 4). Als minimum waarde werd 0 ml water toegevoegd wat gelijk is aan 0% vochtverliescompensatie. De andere waarden van vochtverliescompensatie werden gelijk oplopend verdeeld tussen 0% en 100%, zie tabel 4. Ook werd van bak 1 en 10 het gewicht per larve bepaald met behulp van een representatief mengstaal.

Oogsten:

De bakken met een lage vochtverliescompensatie waren zeer droog op dag 8, maar de bakken met een hoge vochtverliescompensatie waren nog te vochtig. Om het zeven vlotter te laten verlopen werd beslist om nog een dag te wachten zodat het substraat droger werd. Als alternatief werden er sub-stalen genomen van het substraat (inclusief larven). Hieruit werd het gewicht per larve bepaald van alle bakken. Op dag 9 werd beslist om de larven te oogsten. Bak 1 tot 5 werd machinaal gezeefd. Voor de andere 7 bakken was dit onmogelijk. Als oplossing werd een sub-staal genomen. Van alle bakken werd het totaal gewicht aan restsubstraat, de temperatuur van het substraat, het gewicht per larve en het totaal gewicht aan larven bepaald. Opvallend is dat zowel op dag 8 als dag 9 in totaal 512,6 gram larven of 7.138 larven ontsnapt waren uit de vochtigste bakken. Door dit verlies aan larven wordt verwacht dat de totale hoeveelheid en aantal larven in de vochtigste bakken lager zal zijn.

4.3. Experiment 3: Hoeveelheid substraat per m²

Opzet:

Experiment 3 werd op dezelfde manier opgesteld als beschreven in voorgaande experimenten. In dit experiment werd de ideale hoeveelheid substraat per m² nagegaan bij een gelijke massadensiteit (2.200 larven per kg VS-substraat). De hoeveelheid substraat per bak is dus de variabele waardoor bij een gelijke massadensiteit ook het aantal larven per bak varieert. De proef bestond uit 12 bakken met volgend aantal larven per bak: 7.000; 9.500; 12.000; 14.500; 17.000; 19.500; 22.000; 24.500; 27.000; 29.500; 32.000 en 34.500 larven per bak. Het substraat (33% DS) bestond uit broilermest en leidingwater. De mest had een vochtgehalte van 43,5%. Na omreken via vergelijking 1 kwam dit overeen met volgende hoeveelheid mest per bak, zie tabel 5. De oppervlaktedensiteit varieerde van 3,47 tot 17,11 larven/cm².

Tabel 5: Proefopzet experiment 3: hoeveelheid substraat per m².

Baknummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aantal larven/bak	7.000	9.500	12.000	14.500	17.000	19.500	22.000	24.500	27.000	29.500	32.000	34.500
Gewicht VS substraat/m ² (kg)	15,8	21,4	27,1	32,7	38,3	44,0	49,6	55,2	60,9	66,5	72,2	77,8
Gewicht VS mest/bak (g)	1.858	2.522	3.186	3.850	4.513	5.177	5.841	6.504	7.168	7.832	8.496	9.159
Gewicht DS mest/bak (g)	1.050	1.425	1.800	2.175	2.550	2.925	3.300	3.675	4.050	4.425	4.800	5.175
Gewicht VS substraat/bak (g)	3.182	4.318	5.455	6.591	7.727	8.864	10.000	11.136	12.273	13.409	14.545	15.682
Gewicht VS larven startpopulatie & groeimedium/bak (g)	32	43	55	66	77	89	100	111	123	134	145	157
Gewicht VS larven startpopulatie/bak (g)	26	36	45	55	64	74	83	93	102	112	121	130
Oppervlaktedensiteit (aantal larven/cm ²)	3,5	4,7	6,0	7,2	8,4	9,7	10,9	12,2	13,4	14,6	15,9	17,1



Figuur 15: Proefopstelling van experiment 3: hoeveelheid substraat per m², met rechtsboven de rode bakken 11 en 12.

Doordat bak 11 en 12 veel substraat per bak bevatten (respectievelijk 15,545 kg en 15,682 kg) werd het substraat in hogere, rode bakken gedaan, zie figuur 15. De oppervlakte van de hogere bakken blijft gelijk, namelijk 2.016 cm². De larven in alle bakken, waren 4 dagen oud en wogen 3,78 mg per larve.

Tussentijdse meting:

Op dag 6 werd de temperatuur van het substraat gemeten.

Oogsten:

Op dag 8 werd bekeken of het substraat droog genoeg was om te oogsten. Doordat de bakken met een hoge hoeveelheid VS substraat (bak 10,11 en 12) nog zeer vochtig aanvoelden, werd gewacht om de larven te oogsten tot dag 10. Het zeven van bak 1 tot 5 ging zeer vlot. Het zeven van bak 6 t.e.m. bak 10 ging moeizamer. Enkel bak 11 en 12 waren onmogelijk te zeven waardoor een representatief staal genomen werd in de plaats.

4.4. Weende-analyse

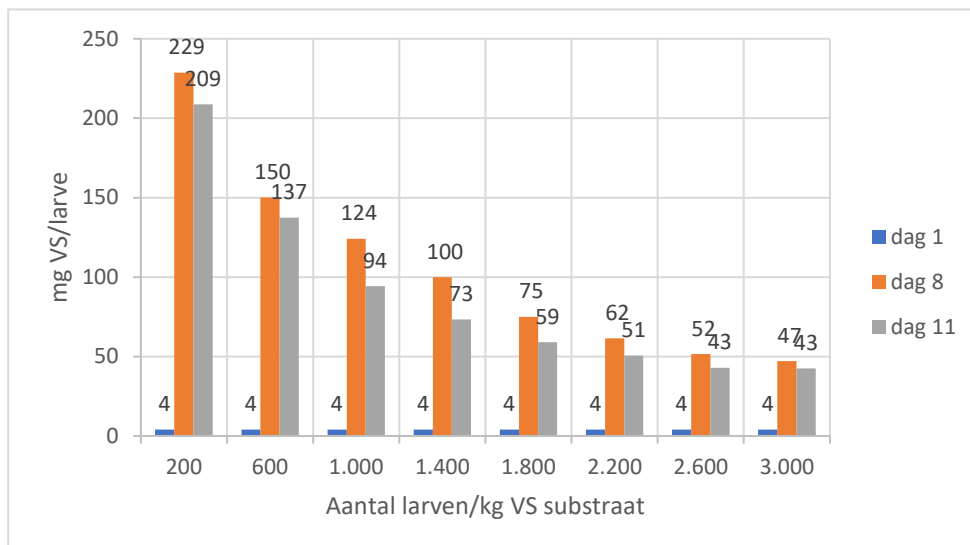
De stalen, genomen tijdens experiment 1, werden gebruikt voor de Weende-analyse. Dit werd uitgevoerd op de broilermest en leghennenmest voordat de larven er op groeiden en op het restsubstraat wat overbleef nadat de larven er op groeiden. Zo kon het verschil tussen broilermest en leghennenmest achterhaald worden alsook het verschil in mest nadat de larven er op groeiden. Daarnaast werden de larven zelf geanalyseerd. De Weende-analyse werd uitgevoerd door het labo Diervoeding van de Faculteit Diergeneeskunde aan de Universiteit Gent, België. Hierbij werden volgende analyses uitgevoerd:

Op de stalen werd een N-bepaling volgens Kjeldahl uitgevoerd om het ruw eiwitgehalte te kunnen bepalen. Via de Soxhlet methode werd het ruw vetgehalte bepaald. Het DS-gehalte werd bepaald door de stalen 4 uur bij 103°C te drogen. Het percentage As (=anorganische stof) werd bepaald door de stalen te verassen bij 550°C. De hoeveelheid urinezuur werd bepaald via de uricase methode en chytine via een zure en alkalische extractie.

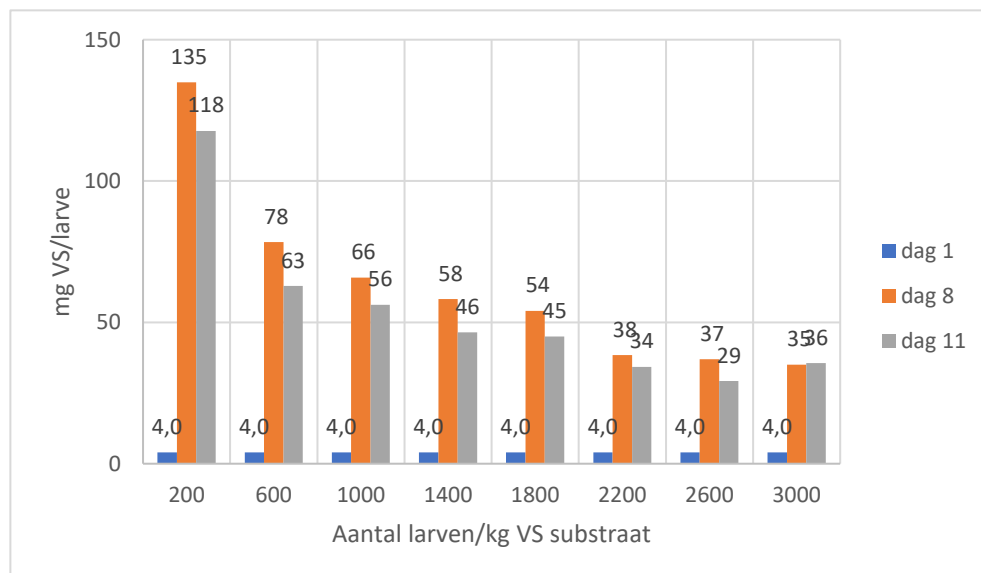
5. RESULTATEN

Tijdens alle experimenten valt de grote ammoniakproductie meteen op. Hierdoor was het nodig om extra veiligheidsmaatregelen te voorzien zoals een mondkap (06941 halfgelaatsmasker FFA1P2D, 3M, Verenigde Staten) en ventilatievoorzieningen. Zonder dit ammoniakmasker was het onmogelijk om te kunnen werken bij de larven.

5.1. Experiment 1: Massadensiteit



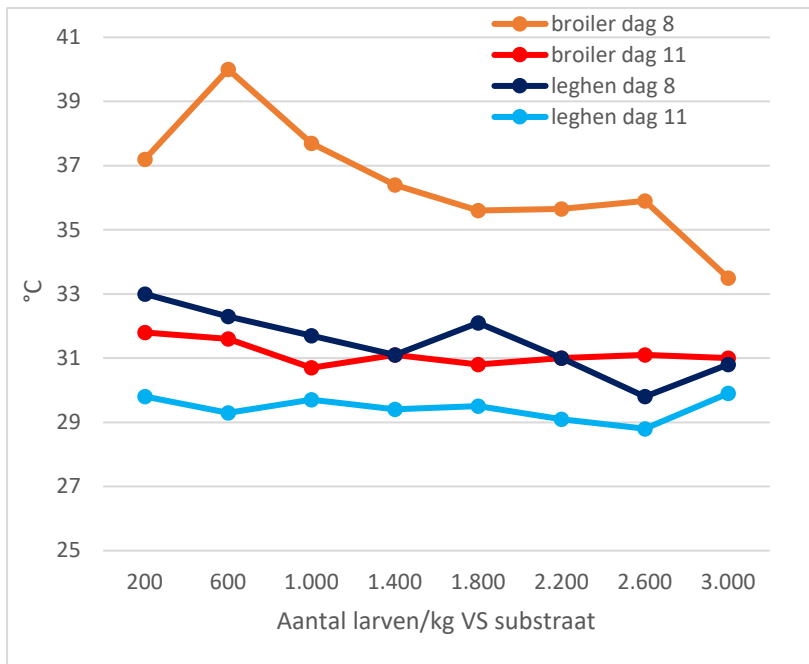
Figuur 17: Gewicht VS per larve (mg) die op broilermest heeft gegroeid per leeftijd bij een variabele massadensiteit (aantal larven/kg VS substraat).



Figuur 16: Gewicht VS per larve (mg) die op leghennenmest heeft gegroeid per leeftijd bij een variabele massadensiteit (aantal larven/kg VS substraat).

Bij een toenemende massadensiteit werd een daling van het gewicht per larve geobserveerd. Dit was zowel te merken bij de reeks op broilermest als bij leghennenmest en zowel op dag 8 als op dag 11, zie figuur 16 en 17. Opvallend is dat de larven zowel gekweekt op broilermest als op leghennenmest op dag 11 een lager VS gewicht per larve hadden dan op dag 8. Uitzondering hierop is de massadensiteit van 3.000 larven in de reeks met leghennenmest, zie figuur 17. Op dag 8 werd in deze bak 1 liter water toegevoegd. Deze larven zijn nog gegroeid van 35 mg naar 36 mg. Ook opvallend was dat het VS gewicht van de larven op broilermest, gemiddeld 65,82% zwaarder waren dan de larven op leghennenmest. Het DS-gehalte van de larven gegroeid op broilermest was $35,10 \pm 1,75\%$ en bij de leghennen $32,62 \pm 3,35\%$.

Het substraat van de broilermest was warmer dan van de leghennenmest, zie figuur 18. Op dag 8 was de broilermest gemiddeld $36,49 \pm 1,89^\circ\text{C}$ warm. Dit is $5,01^\circ\text{C}$ warmer dan de leghennenmest ($31,48 \pm 1,00^\circ\text{C}$). Op dag 11 was de broilermest nog maar $31,14 \pm 0,38^\circ\text{C}$ wat slechts $1,70^\circ\text{C}$ warmer was dan

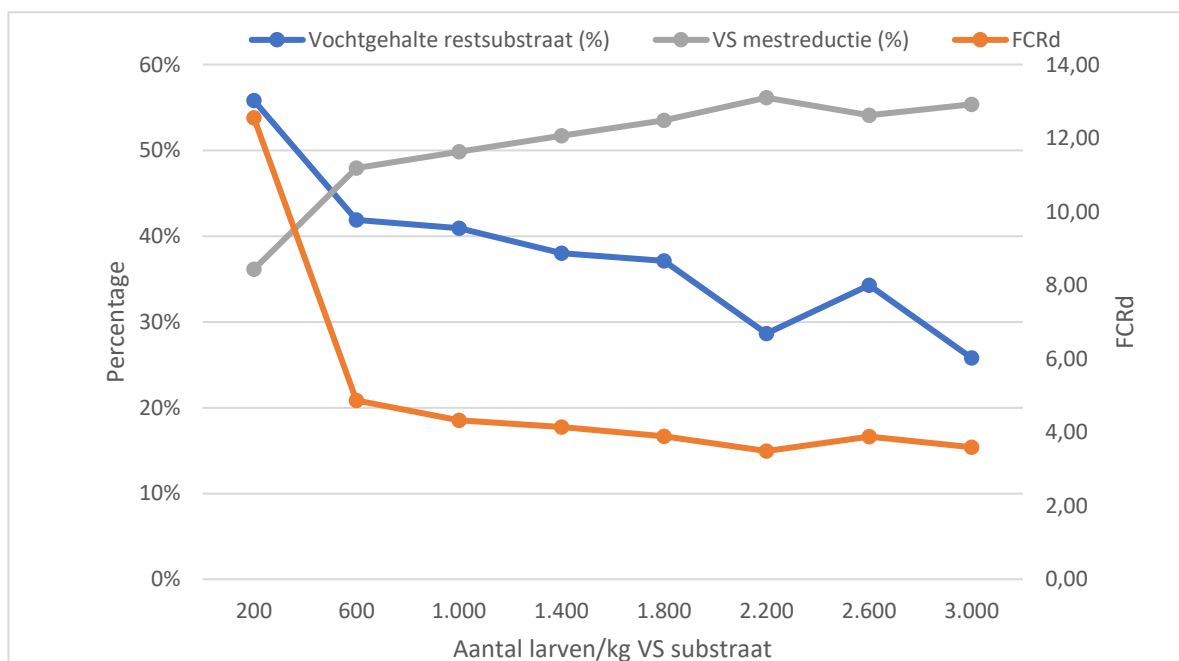


Figuur 18: Temperatuur (°C) van het substraat (broilermest of leghennenmest) op dag 8 en dag 11.

de leghennenmest ($29,44 \pm 0,37^{\circ}\text{C}$). Op dag 8 is duidelijk te zien dat het broilermest-substraat warmer is bij lage dichtheid dan bij hoge dichtheid, zie figuur 18. Voor de rest zijn er tussen de verschillende dichtheiten geen opmerkelijke verschillen in temperatuur te zien.

Een hogere massadensiteit zorgt voor een betere VS-mestreductie, een betere FCRd, een droger restsubstraat en een betere netto-opbrengst per m². De VS-mestreductie stijgt bij een toenemende massadensiteit tot maximaal 56,13% bij broilermest, zie figuur 19. De

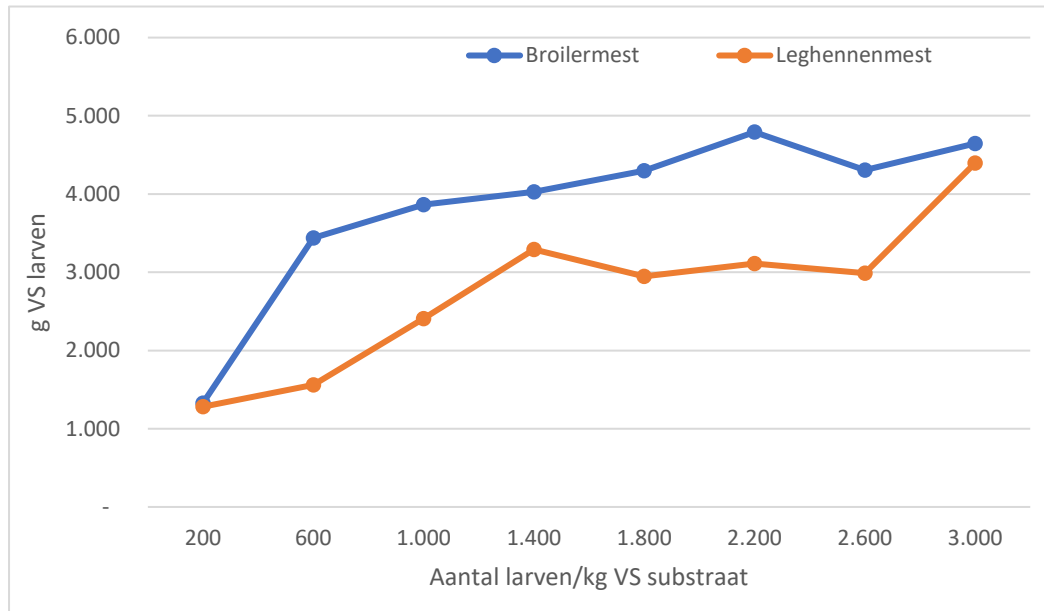
gemiddelde mestreductie bij de broilermest is op basis van VS $50,58 \pm 6,46\%$ en op basis van DS $40,12 \pm 2,90\%$. Hierbij is 56,1% DS-reductie bij 2.200 larven per kg substraat de hoogste waarde. Bij de leghennenmest was de VS-mestreductie gelijkaardig als bij de broilermest met een gemiddeld van $54,00 \pm 2,92\%$. De DS-reductie was veel lager, namelijk $26,78 \pm 8,49\%$. De FCRd en het vochtgehalte van het restsubstraat daalt bij een hogere massadensiteit aan larven op broilermest, zie figuur 19. Bij de leghennenmest was deze daling minder duidelijk. De FCRd bij de larven op broilermest was gemiddeld $5,09 \pm 3,05$ met als laagste waarde 3,49 bij 2.200 larven per kg VS substraat. Bij de larven op leghennenmest was het gemiddelde hoger, namelijk $6,89 \pm 3,11$. Ook de hoeveelheid netto geogoste larven per m² steeg bij hogere massadensiteit, zie figuur 20. Hierbij werd een maximumwaarde bereikt



Figuur 19: Vergelijken van de VS-mestreductie (%) met de FCRd en het vochtgehalte van restsubstraat (%) bij een variabele massadensiteit (aantal larven/kg VS substraat) bij larven gekweekt op broilermest.

bij 2.200 larven/kg VS, namelijk 4.792 g VS larven/m². De netto larvale opbrengst per m² was bij de larven gekweekt op broilermest, 28,36% hoger dan bij de leghennenmest.

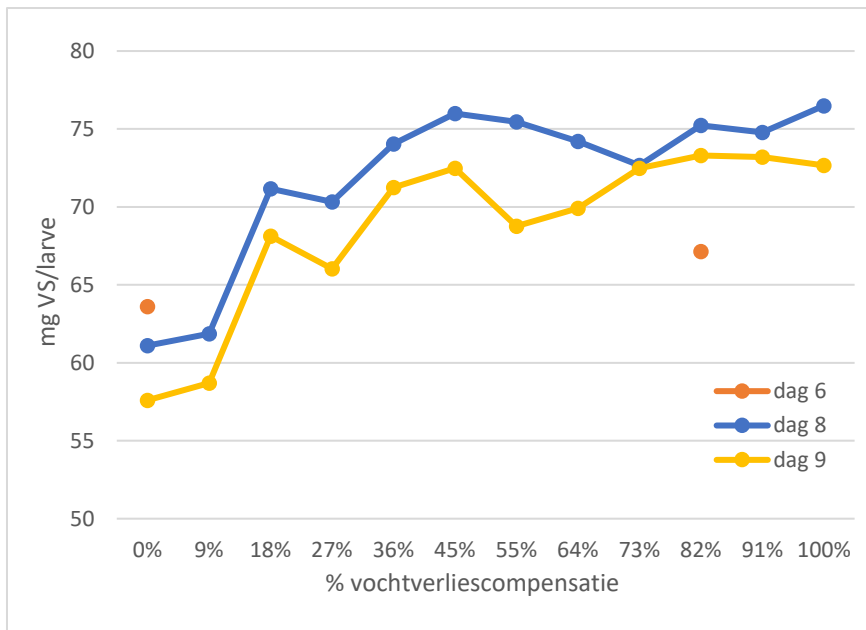
Het enige nadeel van een hogere massadensiteit was dat de larven minder efficiënt groeiden per larve waardoor er meer larven nodig waren. Ook groeiden de larven beter op broilermest dan op leghennenmest. Alle resultaten op het moment van oogsten van de larven, is te vinden in bijlage 2 voor de reeks op broilermest en bijlage 3 voor de reeks op leghennenmest.



Figuur 20: Totaal VS netto larvaal gewicht per m² (g) van larven die gedurende 11 dagen op broilermest en op leghennenmest groeiden bij een variabele massadensiteit (aantal larven/kg VS substraat).

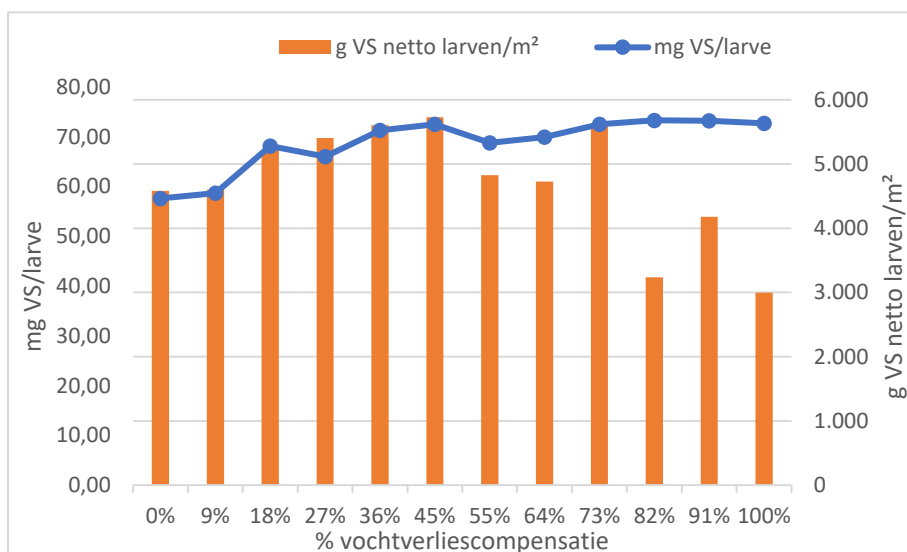
5.2. Experiment 2: Vochtverliescompensatie

Het gewicht per larve steeg met oplopende vochtverliescompensatie zowel op dag 8 als op dag 9, zie figuur 21. Deze stijging vlakt af naarmate 100% vochtverliescompensatie werd bereikt. Net zoals in experiment 1 waren de larven zwaarder bij de tussentijdse meting (dag 8) dan bij het oogsten (dag 9). Bij 0% vochtverliescompensatie valt ook op te merken dat de larven sinds dag 6 gedaald waren in gewicht, zie figuur 21. Bij 82% vochtverliescompensatie steeg het gewicht nog van dag 6 naar dag 8. Daarna daalde het gewicht terug tussen dag 8 en dag 9. Dit doet dus vermoeden dat de larven extra groeiden bij extra vocht. Het DS-gehalte van de larven was gemiddeld $27,40 \pm 0,69\%$.

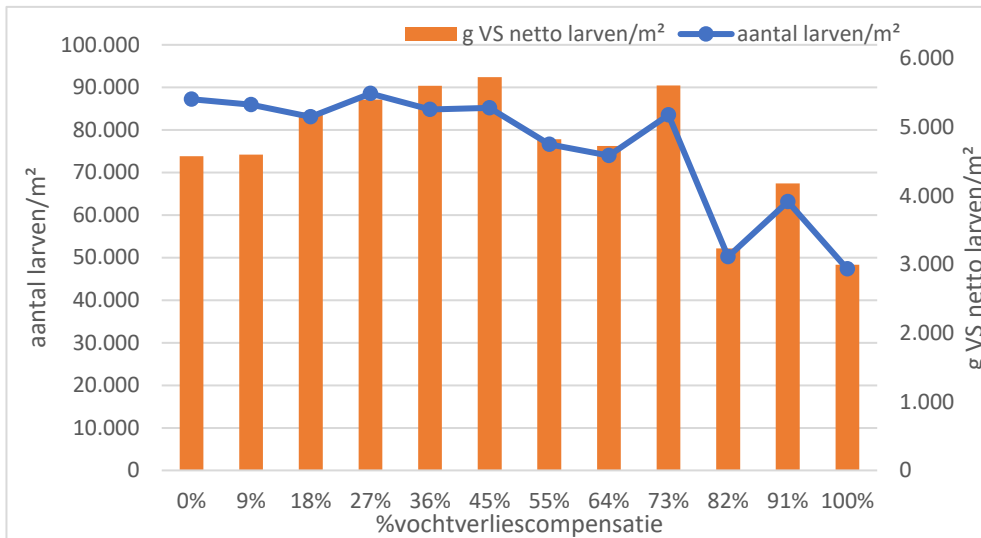


Figuur 21: Het gewicht VS per larve (mg) bij een verschillende leeftijd (dag 6, 8 en 9) met een variabele vochtverliescompensatie (%).

Tot en met 45% vochtverliescompensatie steeg het totale larvale gewicht per m² dankzij een hoger gewicht per larve. Vanaf 55% vochtverliescompensatie daalde het totale larvale gewicht per m² dankzij een daling in het aantal larven. Het gewicht per larve steeg mee met de stijging in het totaal gewicht aan larven per m² tot en met 45% vochtverliescompensatie, zie figuur 22. De daling van het totale larvale gewicht per m² kan verklaard worden doordat het totale aantal larven per m² daalde, zie figuur 23. Hier is duidelijk te zien dat t.e.m. 45% vochtverliescompensatie het aantal larven per m² constant bleef rond het aantal larven van de startpopulatie, namelijk 87.302 larven/m² (=17.600 larven/bak). Vanaf 55% vochtverliescompensatie daalde het totale larvale gewicht per m² samen met het aantal larven per m². Deze daling in aantal larven kan verklaard worden doordat er in totaal 7.138 larven ontsnapt waren. Aan de hand van de plotse daling in aantal larven per m² bij de bakken met 82%, 91% en 100% vochtverliescompensatie, werd vermoed dat de ontsnapte larven hiervan afkomstig waren. Er waren echter meer larven tekort in de laatste 3 bakken dan de 7.138 ontsnapte larven.



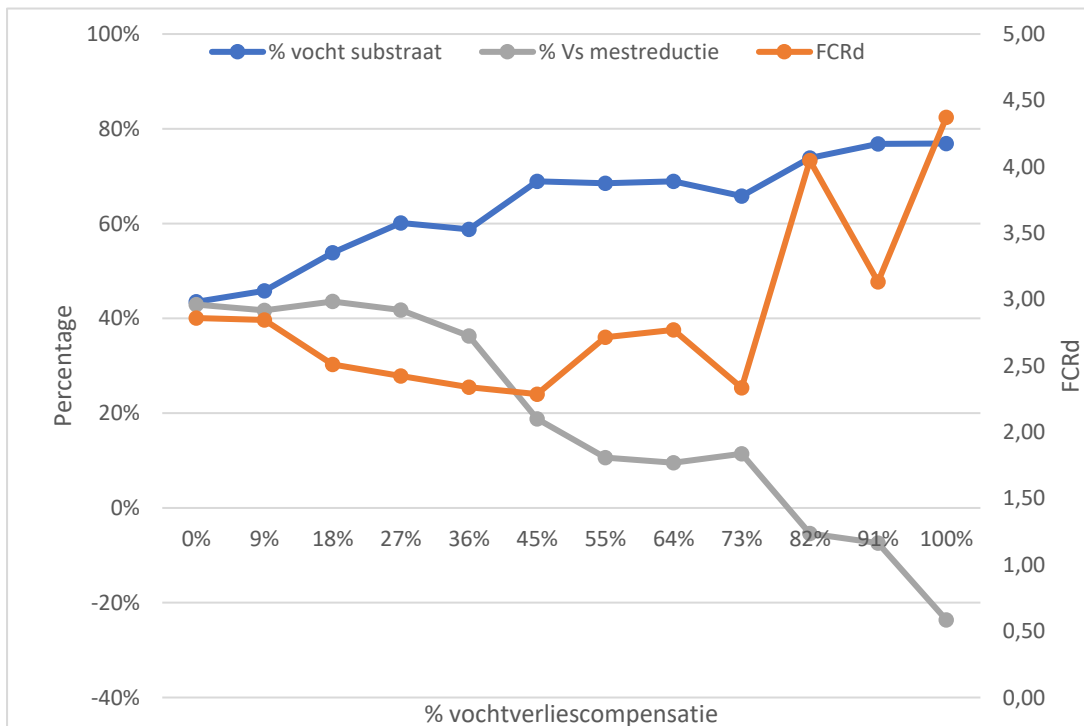
Figuur 22: Totaal VS netto larvaal gewicht per m² (g) vergeleken met gewicht VS per larve (mg) na 9 dagen groeien op broilermest, bij een variabele vochtverliescompensatie.



Figuur 23: Totaal VS netto larvaal gewicht per m² (g) vergeleken met het aantal larven per m² na 9 dagen groeien op broilermest, bij een variabele vochtverliescompensatie (%).

Het valt ook op dat in dit tweede experiment veel bakken meer dan 5.000g VS netto larven/m² oprachten. Met als hoogste waarde 5.727g/m² bij 45% vochtverliescompensatie. Dit terwijl in het eerste experiment de hoogste waarde slechts 4.792g/m² was.

Bij een stijgend vochtverliescompensatie daalt de VS-mestreductie en stijgt het vochtpercentage van het restsubstraat, zie figuur 24. Dit is te verklaren doordat bij een hoger vochtverliescompensatie meer water werd toegevoegd. Bij de hoogste vochtverliescompensaties is er zelf sprake van een negatieve vochtverliescompensatie, zie figuur 24. Dit betekent dat het gewicht aan restsubstraat groter is dan het gewicht aan mest toegevoegd op dag 1. De gemiddelde DS-mestreductie bedroeg $52,28 \pm 4,71\%$. Zelf de bakken met een negatieve VS-mestreductie hadden een DS-mest reductie van boven de 50%.

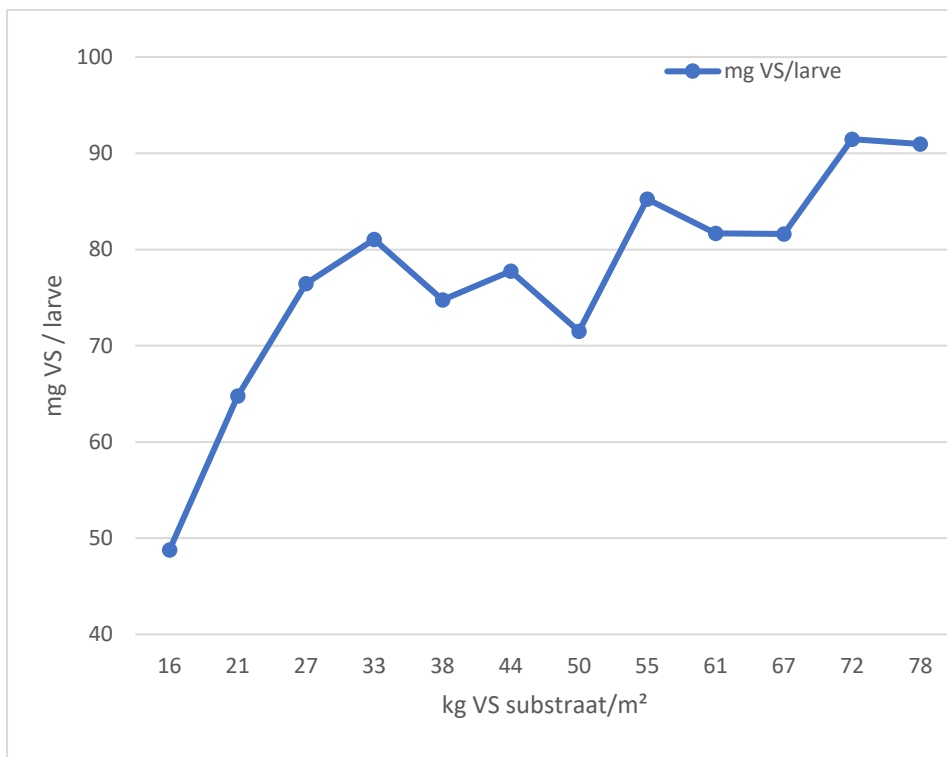


Figuur 24: Vergelijken van de VS-mestreductie (%) met de FCRd van larven en het vochtgehalte van restsubstraat (%) bij een variabele vochtverlies-compensatie (%).

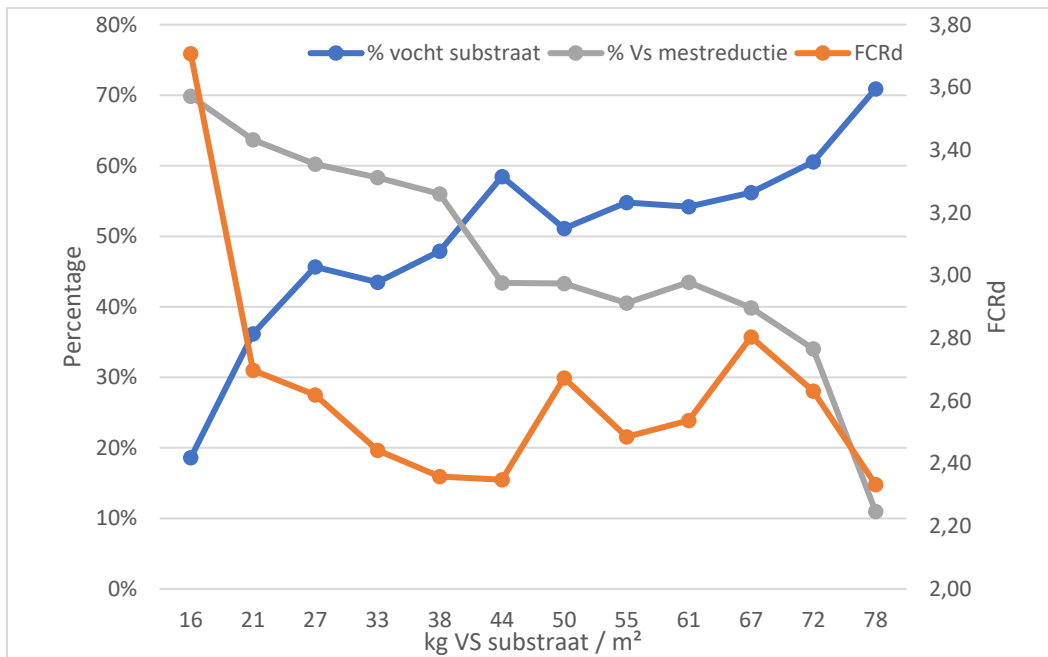
Een stijging in vochtverliescompensatie betekende aanvankelijk ook een daling van de FCRd. De FCRd van de larven daalde hierbij tot 2,29 bij 45% vochtverliescompensatie. Daarna steeg het onregelmatig bij een verdere toename van het vochtverliescompensatie. Het loont dus om in beperkte mate extra water toe te voegen halverwege de groeiperiode. Het vochtverlies compenseren t.e.m. 45% had dus een positief effect op de optimale larvengroei. Dit omdat de FCRd en larvale opbrengst per m² bij deze waarde het best zijn. Een hogere vochtverliescompensatie heeft negatieve effecten op zowel FCRd, netto larvale opbrengst per m² als VS-mestreductie. Alle resultaten op het moment van oogsten van de larven is te vinden in bijlage 4.

5.3. Experiment 3: Hoeveelheid substraat per m²

Het gewicht per larve steeg bij een stijgende VS gewicht substraat per m², zie figuur 25. Deze stijging was echter onregelmatig vanaf 38 kg VS substraat/m². Dezelfde trend is ook zichtbaar voor het DS gewicht per larve. De larven hebben een gemiddeld DS-gehalte van 30,51 ± 1,54%. Bij een stijgende hoeveelheid substraat per m² stijgt naast het larvale gewicht ook de substraattemperatuur mee. Hierbij is 24,6°C de laagste waarde bij 156 kg VS substraat/m² en 43,1°C de hoogste waarde bij 72 kg VS substraat/m².

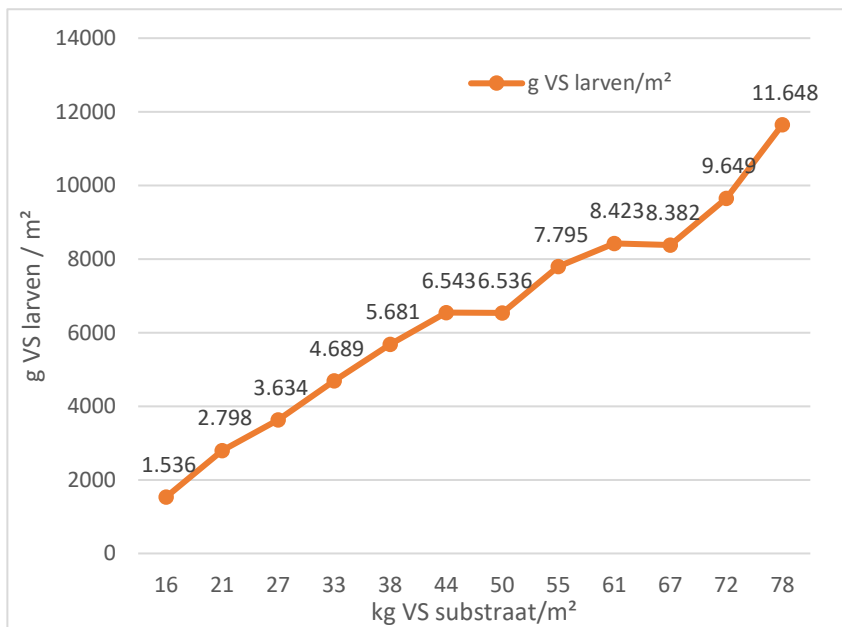


Figuur 25: Gewicht VS per larve (mg) bij een variabele VS gewicht van het substraat per m² (kg).



Figuur 26: VS-mestredutie (%) vergelijken met de FCRd en vochtgehalte van restsubstraat (%) bij een variabel gewicht aan VS substraat/m² (kg).

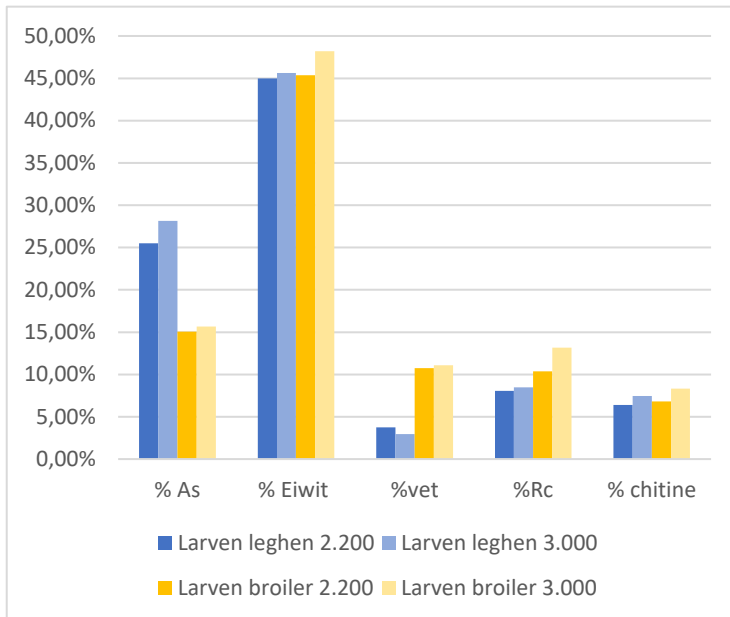
Bij een stijgende hoeveelheid substraat per m² was een daling van de FCRd (tot en met 44,0 kg VS substraat/m²), een stijging van het vochtgehalte van het restsubstraat en een daling van de VS-mestredutie te zien. De FCRd van de larven daalt eerst bij een stijgende hoeveelheid VS substraat/m², met als laagste waarde 2,35 bij 44 kg VS substraat/m². Vanaf dan stijgt de FCRd terug en is het veel onregelmatiger. Anderzijds valt op dat hoe dikker de substraatslaag per m² hoe vochtiger het restsubstraat is bij het oogsten. Hierdoor daalt ook de VS-mestredutie van 69,8% tot 11,0% bij een stijgende hoeveelheid substraat/m². De DS-mestredutie van alle bakken was gemiddeld 56,04 ± 3,32%.



Figuur 27: VS netto gewicht larven per m² (g) bij een variabel gewicht aan VS substraat/m² (kg).

per m² is dus positief voor de larvale opbrengst per m². Indien meer substraat per m² zal de FCRd dalen en wordt het substraat te vochtig en daalt de VS-mestredutie. Alle resultaten op het moment van oogsten van de larven zijn te vinden in bijlage 5.

5.4. Weende-analyse



Figuur 28: Resultaten van de Weende-analyse op basis van DS-gehalte van larven gekweekt op leghennenmest aan een massadensiteit van 2.200 en 3.000 larven/kg VS substraat (Larven leghen 2.200, Larven leghen 3.000) en op broilermest aan een massadensiteit van 2.200 en 3.000 larven/kg VS substraat (Larven broiler 2.200, Larven broiler 3.000).

Larven gekweekt op broilermest bevatten meer vet, minder As, meer RC en een hoger DS-gehalte dan larven gekweekt op leghennenmest. Naast het hogere As% bij de larven gekweekt op leghennenmest dan op broilermest (figuur 28), was ook de leghennenmest zelf hoger in As dan de broilermest. Het As% van larven gekweekt op leghennenmest was op DS-basis $26,83 \pm 1,89\%$ en van de leghennenmest zelf $29,19\%$. Dit terwijl de larven gekweekt op broilermest slecht $15,38 \pm 0,43\%$ As hadden en de broilermest $13,76\%$. Opvallend is het grote verschil in percentage eiwit en vet tussen leghennenmest en broilermest. Leghennenmest bevat op DS-basis $20,83\%$ eiwit en $1,25\%$ vet terwijl broilermest $30,87\%$ eiwit bevat en $8,70\%$ vet. Nadat de larven op het

de leghennenmest groeiden daalde het gehalte van het restsubstraat tot $14,56 \pm 0,54\%$ voor eiwit en $1,61 \pm 0,13\%$ voor vet. Bij de broilermest was dit gedaald tot $20,63 \pm 0,01\%$ voor eiwit en $1,67 \pm 0,34\%$ voor vet. Deze grote daling in vetpercentage bij broilermest vertaalt zich ook bij de larven. Zo bevatten larven gekweekt op leghennenmest $3,36 \pm 0,54\%$ vet terwijl larven op broilermest $10,90 \pm 0,24\%$ vet bevatten. Dat larven gekweekt op broilermest meer vet bevatten is ook te zien. Het % eiwit is zowel bij de larven op leghennenmest als op broilermest evenveel. Larven op leghennenmest bevatten $45,31 \pm 0,46\%$ eiwit op DS-basis, wat overeenkomt met $46,80 \pm 2,00\%$ eiwit bij de larven op broilermest.

Larven gekweekt op broilermest bevatten $11,70 \pm 1,99\%$ RC op DS-basis, wat meer is dan de $8,27 \pm 0,30\%$ RC bij larven gekweekt op leghennenmest, zie bijlage 6. Dit verschil in RC is opvallend omdat leghennenmest en broilermest een gelijk percentage RC hebben, namelijk respectievelijk $19,58\%$ en $20,50\%$. Bij een hoger gehalte aan ruwe celstof zal de structuurwaarde ook hoger zijn. Larven gekweekt op broilermest hebben een hoger DS-gehalte dan op leghennenmest, respectievelijk $32,62 \pm 0,57\%$ en $27,39 \pm 0,96\%$. Alle larven bevatten ongeveer evenveel chitine namelijk tussen de $6,41\%$ en $8,34\%$. Leghennenmest en broilermest bevatten voor de opkweek van de larven respectievelijk $1,52\%$ en $2,41\%$ urinezuur. Dit is na de kweek van larven gedaald naar respectievelijk $0,33\%$ en $0,85\%$.

6. DISCUSSIE

6.1. Experimenten

In deze masterproef werd vast gesteld dat BSF-larven in minder dan 8 dagen kippenmest kunnen verwerken. Bijkomend zijn een gunstige FCRd en larvale opbrengst per m² opgemerkt.

De larven konden al bij 8 dagen of vroeger geoogst worden, wat een belangrijke verkorting is van de productieperiode van BSF larven. De larvale groei duurde in eerdere studies ten vroegste 14 dagen en ten langste 214 dagen, zie bijlage 1. Door de hogere oppervlakedensiteit die gebruikt werd in de experimenten, droogde het substraat veel sneller uit. Hierdoor was het veel sneller zeefbaar. Nochtans is reeds beschreven dat hoe hoger de oppervlakedensiteit van de larven, hoe langer het duurt om te verpoppen. Dit komt doordat er dan minder substraat per larve aanwezig is. Hierbij zijn de larven kleiner en hebben ze dus een langere ontwikkelingstijd nodig (Diener et al., 2009; Parra Paz et al., 2015). In deze masterproef is opgemerkt dat de larven inderdaad kleiner zijn bij een lagere dagelijkse hoeveelheid substraat per larve. Echter werden de larven hierbij juist sneller geoogst doordat het substraat sneller uitdroogde. Anderen wachten met oogsten tot de larven overgingen in de prepofase (Craig Sheppard et al., 1994; Yu et al., 2011; Spranghers et al., 2017b). Dit is van belang bij de vermeerderingsfase van BSF omdat men dan prepoppen nodig heeft. Bij de afmestfase van BSF-larven, zijn prepoppen niet noodzakelijk waardoor veel vroeger kan geoogst worden.

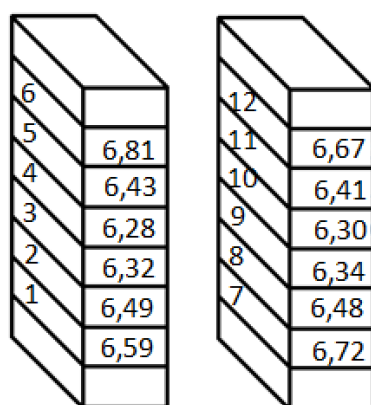
Onder optimale groeiomstandigheden werd een zeer lage FCRd van $2,76 \pm 0,63$ bekomen. Daarentegen, bij Danieli et al. (2019) varieerde de FCRd van 4,96 tot 7,11. Deze gunstige FCRd in deze masterproef kan verklaard worden door de hoge massadensiteit van de larven (2.200 larven /kg VS substraat) en hoge oppervlakedensiteit. Per kg substraat groeiden er kleinere larven, maar veel meer larven. Zo was de ideale oppervlakedensiteit in deze experimenten tussen de 8-10 larven/cm². Dit is zeer hoog in vergelijking met eerdere studies waarbij een optimale oppervlakte densiteit beschreven was van 1-3 larven/cm² (Diener et al., 2009; Parra Paz et al., 2015). Daarnaast was de DS-mestreductie $52,5 \pm 12,5\%$ wat vergelijkbaar is met Sheppard et al., 1994 die een DS-kippenmestreductie van 50% had. Andere studies hadden een DS-mestreductie van tussen de 25-62%, zie bijlage 1.

De larvale opbrengst per m² per dag (g DS larven/m²/dag) was in optimale omstandigheden 164 ± 14 g DS larven/m²/dag. Ter vergelijking, in de literatuur was een larvale opbrengst beschreven van 145 g/m²/dag en 59 g/m²/dag (Diener et al., 2009; Parra Paz et al., 2015). Deze parameter is ideaal om te bepalen welke variabele een maximale hoeveelheid larven op een minimale oppervlakte en tijd produceert. In dit onderzoek was het echter moeilijk om dit te gebruiken omdat alle bakken binnen één experiment op dezelfde dag werden geoogst. Bijvoorbeeld in experiment 3: Hoeveelheid substraat per m², had de bak met 16 kg VS substraat/m², een larvale opbrengst van 43,15 g DS larven/m²/dag terwijl de bak met 78 kg VS substraat/m² een larvale opbrengst had van 344,80 g DS larven/m²/dag. Dit is moeilijk te vergelijken omdat de eerste bak al veel vroeger oogstbaar was dan de tweede bak. Hierdoor zou de larvale opbrengst van 43,15 g DS larven/m²/dag hoger zijn. Om dezelfde reden dat de larvale opbrengst per m² per dag moeilijk te vergelijken is met de literatuur is ook de dagelijkse hoeveelheid substraatvoorziening per larve (mg DS substraat/larve/dag) met andere studies moeilijk te vergelijken. Dit omdat alle larven op dezelfde dag geoogst werden. Het oogsten van alle bakken binnen een experiment op hetzelfde tijdstip was dus niet optimaal. Het zou beter geweest zijn moest iedere bak geoogst worden vanaf het oogstbaar was. Hierbij zouden de larvale opbrengst per m² per dag en substraatvoorziening per larve per dag wel vergeleken kunnen worden.

Tijdens de experimenten was er een zeer hoge ammoniakgeur waar te nemen. Deze enorme ammoniakproductie ontstaat doordat kippenmest veel urinezuur bevatten. Tijdens alle experimenten

werd de kippenmest bevochtigd waardoor deze urinezuren via bacteriële enzymen omgezet werden tot ureum, waarna het in ammoniak werd omgezet (Veldkamp et al., 2012b). Nadat de larven op de broilermest en leghennenmest groeiden was de hoeveelheid urinezuur gedaald van 1,52% naar 0,33% bij leghennenmest en van 2,41% naar 0,85% voor broilermest. Deze hoge ammoniakproductie werd reeds beschreven in eerdere experimenten (Oonincx et al., 2015).

Opvallend was dat de larven die op broilermest groeiden, gemiddeld 65,82% zwaarder waren dan de larven op leghennenmest. Dit zou verklaard kunnen worden doordat de leghennen 2 weken voor het collecteren van de mest, behandeld werden met foxim (Byemite, Bayer Animal Health GmbH). Foxim is zowel een insecticide als acaricide. De mest van de broilers is ook een combinatie van mest en vlasleem terwijl de leghennenmest zuiver mest was. Het zou beter geweest zijn om leghennenmest te gebruiken afkomstig van leghennen die niet behandeld waren met foxim.



Figuur 29: Weergave van de gestapelde bakken uit experiment 2: vochtverliescompensatie waarbij telkens één lege bak onderaan en bovenaan de stapel bevindt. Op de korte zijde van iedere bak is het VS gewicht (substraat + larven) per bak (kg) zichtbaar op dag 6. In de lang zijde van iedere bak staat het baknummer vermeld.

In experiment 2: vochtverliescompensatie werd op dag 6 tijdens de tussentijdse meting, enkel het gewicht per larve bepaald van de bak met 0% en 84% vochtverliescompensatie, zie figuur 21. Het zou beter geweest zijn om van alle bakken het gewicht per larve te bepalen. Dit zou beter verklaard hebben of de larven verder gegroeid zijn na het toevoegen van het extra vocht. Nu werd dit enkel verklaard doordat bij een stijgend vochtverliescompensatie de larven mee stijgen in gewicht. Opvallend in dit experiment, is dat het gewicht van het substraat (inclusief larven) per bak op dag 6 varieerde naargelang de positie van de bak, zie figuur 29. Oorspronkelijk bevatte iedere bak 8 kg VS substraat. De bakken die zich bovenaan en onderaan bevonden, wogen meer dan de bakken die zich in het midden bevonden. Dit doet vermoeden dat de larven zeer gevoelig zijn aan de positie in een geventileerde ruimte. Om dit te vermijden, werd telkens 1 lege bak bovenaan en onderaan de toren geplaatst. Blijkbaar was dit onvoldoende.

De larven in deze masterproef hadden een hoog percentage aan As en een laag percentage aan vetten. In eerdere studies varieerde het percentage As tussen 2,7% en 19,7% (tabel 1), terwijl in deze experimenten het varieerde tussen de 15,07% en 28,16 % (zie Weende analyse). Het percentage ruw vet van de larven was zeer laag, namelijk tussen 2,97% en 11,07%. In de literatuur varieerde het vetpercentage tussen de 18,6% en 46,9% (tabel 1). Het lage percentage zou kunnen verklaard worden doordat het vetpercentage van de kippenmest ook zeer laag was. Hierdoor zijn deze larven gegroeid op kippenmest, minder interessant voor vetextractie. Het ruw eiwitgehalte en het chitine percentage van de larven kwamen wel overeen met de literatuur. Het eiwit percentage van de larven en de mest zijn een overschatting omdat dit inclusief de chitine-N-fractie is. De chitine-N-fractie is in deze masterproef niet gekend.

Het gemiddelde DS-gehalte van alle larven gekweekt op broilermest was $29,64 \pm 3,30\%$. Eerdere studies hadden een DS-gehalte tussen 18,8% en 41,0%, zie bijlage 1. Opvallend is dat het DS-gehalte van de larven gekweekt op leghennenmest in experiment 1 met 2.200 en 3.000 larven/kg VS substraat, lager was dan het DS-gehalte van de andere larven in deze reeks. Bij 2.200 en 3.000 larven/kg VS substraat was het DS-gehalte respectievelijk 28,07% en 26,71%. Het DS-gehalte van deze larven werd bepaald aan de hand van de Weende-analyse. Het gemiddelde DS-gehalte van de andere larven die op

leghennenmest groeiden was $34,36 \pm 1,00\%$ wat beduidend hoger is. Deze werden gemeten via de Toledo Moister analyzer.

Wanneer de Weende analyse van de larven vergeleken wordt met dat van sojaschroot en sojabonen is te zien dat op basis van DS-gehalte de larven meer aanleunen bij sojaschroot dan bij sojabonen, zie tabel 6. Dit komt door het hogere eiwit en As percentage en het lagere vetgehalte. Het ruwe As percentage van de larven zijn duidelijk veel hoger dan van de sojabonen en sojaschroot. Het is voordeliger om larven op broilermest te kweken dan op leghennenmest. Larven gekweekt op broilermest bevatten meer vet, minder ruw as, meer RC en een hoger DS-gehalte dan larven gekweekt op leghennenmest.

Tabel 6: Ruw eiwit, ruw vet, ruw As en ruwe celstof vergeleken tussen sojaschroot, sojabonen, BSF-larven gekweekt op broilermest en BSF-larven gekweekt op leghennenmest. Alle waarden zijn uitgedrukt in procenten op basis van DS-gehalte.¹²

	Sojaschroot	Sojabonen	BSF-larven (broiler)	BSF-larven (leghen)
Ruw eiwit	55,2	39,6	46,8	45,3
Ruw vet	1,7	21,4	10,9	3,4
Ruwe as	7,3	5,7	15,4	26,8
Ruw celstof	4,4	6,2	11,8	8,3

6.2. Praktische mogelijkheden voor de opkweek

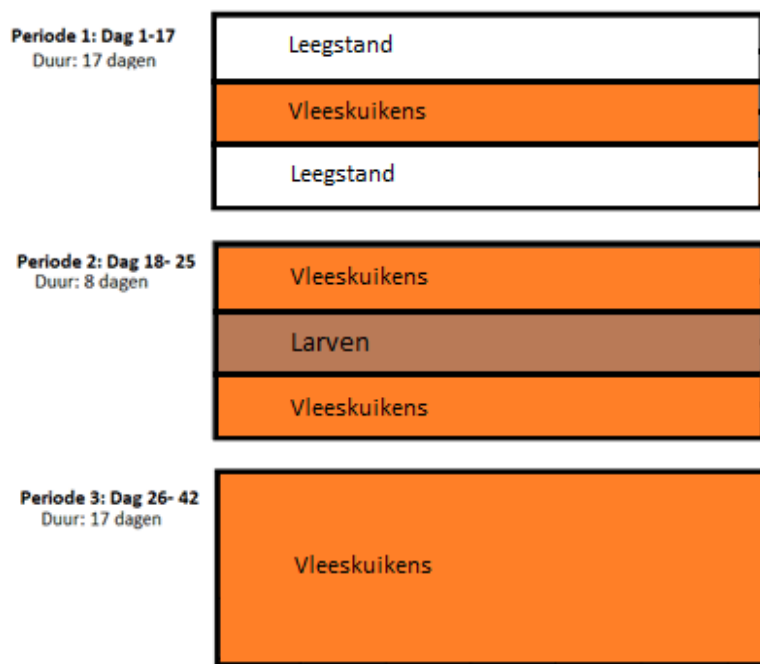
Op basis van bovenstaande bevindingen worden 2 nieuwe eigen praktische mogelijkheden om BSF-larven op industriële schaal te kweken kort voorgesteld.

6.2.1. Methode 1

Via de deze methode worden BSF-larven opgekweekt in dezelfde stal als de vleeskippen, tijdens de 6 weken durende afmestfase van de vleeskippen, zie figuur 30. De vleeskuikens zouden dan in de eerste periode opgesloten worden tot $1/3^{\text{de}}$ van de oppervlakte van de stal. Daar groeien ze de eerste 17 dagen. De mest die in deze eerste 17 dagen geproduceerd werd, bevindt zich in $1/3^{\text{de}}$ oppervlakte van de stal. In de 2^{de} periode kunnen de broilers dan verhuizen naar de overige $2/3^{\text{de}}$ oppervlakte van de stal. Tezelfdertijd zou de mest van het eerste $1/3^{\text{de}}$ oppervlakte van de stal gemixt en bevochtigd worden tot het substraat een DS-gehalte van 33% bereikt. Hierna zouden 6 dagen oude BSF-larven toegevoegd worden. Na 8 dagen van groeien op de mest en wanneer het restsubstraat uitgedroogd is, zouden de broilers de volledige stal ter beschikking krijgen en kunnen ze dan zelf scharrelen naar de larven. Als voorbeeld wordt een bestaande grote stal genomen van 2.760m^2 met 56.000 ééndagskuikens, die 90 ton aan broilermest produceren in 42 dagen tijd. Hierbij zou 26,5% van de totale hoeveelheid mest beschikbaar zijn voor de larven om op te kweken in periode 2. Hierdoor zou in theorie 5.303 kg larven kunnen geproduceerd worden die de broilers zelf kunnen opeten. Het grote voordeel van deze methode is dat de larven zeer arbeidsvriendelijk gekweekt worden, mede doordat ze zelf geogst worden door de vleeskuikens.

Daarnaast zouden er geen extra gebouwen en geen extra warmte/energie nodig zijn voor de larven omdat ze naast de kippen leven in dezelfde stal. Het klimaat dat de larven nodig hebben is vergelijkbaar met het klimaat waarin de vleeskuikens opgroeien.

¹²Feedipedia, soybean seeds, 2017 <https://www.feedipedia.org/node/42> (laatst geconsulteerd op 15 mei 2021)

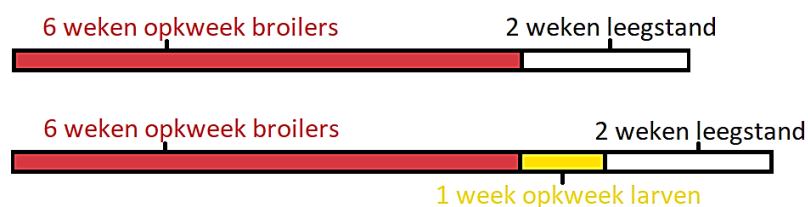


Figuur 30: Bovenaanzicht van een vleeskuikenstal. Periode 1: de eerste 17 dagen groeien de kuikens op 1/3^{de} van de staloppervlakte. Periode 2: van dag 18 tot 25 krijgen de kuikens 2/3^{de} van de staloppervlakte waarbij de larven op de 1/3^{de} van de eerste periode opgroeien. Periode 3: de vleeskuikens krijgen de volledige stal ter beschikking en kunnen zo de larven levend opeten.

bedrijfsvoering de eerste periode (tot dag 19) aan een densiteit van 56 kuikens/m² gekweekt worden. In de tweede periode (van dag 19 tot dag 26) zouden ze aan een densiteit van 31 kuikens/m² zitten. In de derde periode zouden ze de volledige stal ter beschikking krijgen waardoor er maar 21 kuikens/m² zitten. Ter vergelijking, in het Patiosysteem groeien de vleeskuikens de eerste 2 weken aan een bezetting van 70 kuikens/m² of de eerste 3 weken aan een bezetting van 56 kuikens/m². Toch blijkt dat indien kuikens op 3 weken leeftijd aan een densiteit van 15 kuikens of hoger /m² leven een negatief gedrag zichtbaar is (Jong en Workel, 2010). Een oplossing zou kunnen zijn dat de kippen enkel in de eerste periode opgesloten zitten en dat ze in de 2^{de} periode toegang krijgen tot uitloop.

6.2.2. Methode 2

Een tweede nieuwe methode is dat de BSF-larven zouden worden opgekweekt in dezelfde stal van de vleeskippen, in de periode na de opkweek van de vleeskippen, zie figuur 31. Wanneer de broilers naar het slachthuis zijn, blijft de kippenmest in de stal liggen. De mest wordt gemixt en bevochtigd waarna 6 dagen oude larven worden toegevoegd. Pluimveehouders



Figuur 31: Schematische weergave van gangbaar ronde-systeem (bovenste tijdlijn) vs. het vernieuwde ronde-systeem (onderste tijdlijn) bij vleeskippen.

kweken hun vleeskippen in een 7 week of 8 weken systeem. Bij een 8 weken systeem zijn er 6 weken opkweek van de broilers en 2 weken leegstand. Via het vernieuwde ronde-systeem zou er nog 1 week opkweek van de larven, tussen de 6 weken opkweek van de broilers en de 2 weken leegstand, toegevoegd worden. Dit betekent dat in hetzelfde voorbeeld als methode 1, een stal met 56.000 kuikens via het gangbare ronde-systeem 6,52 rondes per jaar heeft. Dit komt overeen met een

Het nadeel van deze methode is dat slechts 26,5% van de totale mest zou verwerkt worden door de larven en niet 100% van de mest. Een andere uitdaging is om de hoge ammoniakproductie die vrijkomt bij de kweek van de larven onder controle te houden. Bijkomend hierbij is er nog de ammoniakemissie van de broilers. In de eerste helft van de kweek van broilers (dag 0 -21) wordt 23% van de ammoniak geproduceerd terwijl in de tweede helft (dag 22-42) 77% van de ammoniak (Veldkamp et al., 2012b). De larvale ammoniakemissie bevindt zich tijdens periode 2, tussen dag 19 en dag 26.

Indien deze nieuwe methode toegepast wordt, zouden de kuikens afhankelijk van de

vleeskippen, in de periode na de opkweek van de vleeskippen, zie figuur 31. Wanneer de broilers naar het slachthuis zijn, blijft de kippenmest in de stal liggen. De mest wordt gemixt en bevochtigd waarna 6 dagen oude larven worden toegevoegd. Pluimveehouders

productie van ongeveer 976.000 kg kippen per jaar, zie tabel 7. Via het vernieuwde ronde-systeem zouden er maar 868.000 kg kippen worden gekweekt in 5,79 rondes per jaar. Daarnaast zouden er in theorie 125.000 kg larven gekweekt kunnen worden in datzelfde jaar. Dit komt overeen met 21.600kg larven per ronde. De broilermest zou met 60% gereduceerd zijn op VS en met 50% op DS. Dit betekent dat de mestproductie daalt van 521.000 kg VS mest per jaar naar 208.500 kg VS mest. Ter vergelijking in het voorbeeld van Sheppard et al. (1994) waarbij de larven in de mestkelder groeiden, zou een leghennenstal van 100.000 leghennen in 5 maanden tijd 48.000 kg aan BSF prepopen produceren. Via het vernieuwde ronde-systeem zou in een broilerstal voor 100.000 broilers in 5 maanden, 93.000 kg aan BSF-larven produceren wat veel meer is.

Tabel 7: Productieresultaten van een kippenstal (56.000 kuikens per ronde, 2.760m² staloppervlakte en 90 ton VS mest per ronde) bij een gangbare ronde-systeem (6 weken vleeskippen en 2 weken leegstand) vergeleken met het vernieuwde ronde-systeem (6 weken vleeskippen, 1 week larven, 2 weken leegstand).

	Gangbaar ronde-systeem	Vernieuwde ronde-systeem
Aantal rondes per jaar	6,52	5,79
Gewicht VS kip per jaar geproduceerd (kg)	976.000	868.000
Gewicht VS larven per jaar geproduceerd (kg)	0	125.000
Gewicht VS mest per jaar geproduceerd (kg)	586.600	208.500

Het grote voordeel van deze methode is net zoals in methode 1 dat er geen extra gebouwen en voorzieningen nodig zijn. De larven worden zelf op de boerderij gekweekt. Er moeten dus geen extra insectenfabrieken gebouwd worden om de larven af te mesten. Wetende dat er in Vlaanderen in 2017 ongeveer 446.858 ton pluimveemest werd verwerkt in mestverwerkingsinstallaties zou deze methode op een zeer grote schaal toegepast kunnen worden.⁷ Daarnaast moet de mest niet getransporteerd worden doordat het in hetzelfde gebouw wordt verwerkt. De ammoniak emissie naar de omgeving wordt beperkt door de luchtwassers die al aanwezig zijn in de nieuwe kippenstallen. In vergelijking met methode 1 wordt hier wel alle mest verwerkt door de larven en liggen de productieresultaten van de larven dus ook veel hoger. Daarnaast kunnen de larven eerst verwerkt worden alvorens te voederen aan de broilers of ander vee. Nadelen zijn dat de larven machinaal geoogst moeten worden en dat er 0,72 rondes aan broilers minder kan gekweekt worden per jaar. Het is de vraag of de aanwinst aan larven en de mestreductie economisch voordeliger zijn dan het verlies aan kippen. Er moet verder onderzocht worden of de leegstand kan ingekort worden nadat de larven op de mest groeiden. De mest is na de komst van de larven namelijk veel droger, minder vetzig en de larven hebben een antibacteriële werking op de mest (Yu et al., 2011).

7. CONCLUSIE

Er kan geconcludeerd worden dat BSF-larven een enorm potentieel hebben om kippenmest te verwerken. Hierbij mag niet enkel de nadruk gelegd worden om het hoogste gewicht per larve te verkrijgen, maar ook een maximale hoeveelheid larven op minimale oppervlakte en minimale productietijd zijn belangrijk. Door een hogere massadensiteit te gebruiken en halverwege de groeiperiode extra water toe te voegen, kan de FCRd sterk verlaagd worden. Het enige nadeel van een hogere massadensiteit is dat er meer larven nodig zijn als startpopulatie. De larven kunnen al geoogst worden vanaf het substraat droog genoeg is. Dit is dus veel vroeger dan wanneer gewacht wordt tot ze in het prepop stadium overgaan. De optimale manier van larven opkweken op kippenmest is van meerdere factoren afhankelijk, zoals de mestreductie, de FCRd, de larvale opbrengst per m² en het vochtgehalte van het restsubstraat. De uitdaging is om de kweek van BSF-larven praktisch haalbaar te maken. Hierbij zal de wetgeving moeten mee-evolueren, na grondig onderzoek wat het effect is van de BSF op de mens en het milieu.

8. REFERENTIELIJST

- Aniebo, A.O., Owen, O.J., 2010. Effects of age and method of drying on the proximate composition of housefly larvae (*Musca domestica* Linnaeus) Meal (HFLM). *Pakistan J. Nutr.* 9, 485–487.
- Bale, J.S., Hayward, S.A.L., 2010. Insect overwintering in a changing climate. *J. Exp. Biol.* 213, 980–994.
- Bosch, G., Zhang, S., Oonincx, D.G.A.B., Hendriks, W.H., 2014. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. *J. Nutr. Sci.* 3, 1–4.
- Chadfield, M.S., Christensen, J.P., Christensen, H., Bisgaard, M., 2004. Characterization of streptococci and enterococci associated with septicaemia in broiler parents with a high prevalence of endocarditis. *Avian Pathol.* 33, 610–617.
- Craig Sheppard, D., Larry Newton, G., Thompson, S.A., Savage, S., 1994. A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresour. Technol.* 50, 275–279.
- Danieli, P.P., Lussiana, C., Gasco, L., Amici, A., Ronchi, B., 2019. The effects of diet formulation on the yield, proximate composition, and fatty acid profile of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae intended for animal feed. *Animals* 9, 178.
- De Smet, J., Wynants, E., Cos, P., Van Campenhout, L., 2018. Microbial Community Dynamics during Rearing of Black. *Appl. Environ. Microbiol.* 84, 1–17.
- Diclaro, J.W., Kaufman, P.E., 2012. Black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta : Diptera : Stratiomyidae). *IFAS Ext.* 5.
- Diener, S., Zurbrügg, C., Tockner, K., 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Manag. Res.* 27, 603–610.
- Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., Zurbrügg, C., 2017. *Black Soldier Fly Biowaste Processing.*
- Elieh-Ali-Komi, D., Hamblin, M.R., 2016. Chitin and chitosan: production and application of versatile biomedical nanomaterials. *International journal of advanced research* 4, 411.
- Elwert, C., Knips, I., Katz, P., 2010. A novel protein source: Maggot meal of the Black Soldier fly (*Hermetia illucens*) in broiler feed. 11. *Tagung Schweine- und Geflügelernährung* 140–142.
- Fraanje, W., Garnett, T., 2020. Soy: food, feed, and land use change. *FOOD Clim. Res. Netw.* 44, 31–34.
- I-Qazzaz, M.F.A., Ismail, D., Akit, H., Idris, L.H., 2016. Effect of using insect larvae meal as a complete protein source on quality and productivity characteristics of laying hens. *Rev. Bras. Zootec.* 45, 518–523.
- Jong, I.C. De, Workel, L., 2010. Effect van bezettingsdichtheid op het gedrag van jonge vleeskuikens.
- Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuzé, V., Ankers, P., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197, 1–33.
- Marshall, S.A., Woodley, N.E., Hauser, M., 2015. The historical spread of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera, Stratiomyidae, Hermetiinae), and its establishment in Canada. *J. Entomol. Soc. Ontario* 146, 51–54.

- Mathis, G., Van Dam, J., Corujo Fernández, A., Hofacre, C., 2005. Effect of an organic acids and medium-chain fatty acids containing product in feed on the course of artificial Necrotic Enteritis infection in broiler chickens, In: Proceedings of the 15th European Symposium on poultry nutrition, Balatonfüred, Hungary, 25-29 September, 2005, pp. 372-374.
- Moula, N., Scippo, M.L., Douny, C., Degand, G., Dawans, E., Cabaraux, J.F., Hornick, J.L., Medigo, R.C., Leroy, P., Francis, F., Detilleux, J., 2018. Performances of local poultry breed fed black soldier fly larvae reared on horse manure. *Anim. Nutr.* 4, 73–78.
- Newton, G.L., Sheppard, D.C., Watson, D.W., Burtle, G.J., Dove, C.R., Tomberlin, J.K., Thelen, E.E., 2004. The Black Soldier Fly, *Hermetia Illucens*, As a manure management/resource recovery tool 0–5.
- Newton, L., Craig, S., Wes D, W., Gary, B., Robert, D., 2005. Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. *J. Korean Entomol. Appl. Sci.* 36, 17 pp.
- Oonincx, D.G.A.B., van Huis, A., van Loon, J.J.A., 2015. Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *J. Insects as Food Feed* 1, 131–139.
- Park, H.H., 2016. Black Soldier Fly Larvae Manual. *Student Showc.* 14, 1–13.
- Parra Paz, A.S., Carrejo, N.S., Gómez Rodríguez, C.H., 2015. Effects of Larval Density and Feeding Rates on the Bioconversion of Vegetable Waste Using Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae). *Waste and Biomass Valorization* 6, 1059–1065.
- Rajão, R., Soares-Filho, B., Nunes, F., Börner, J., Machado, L., Assis, D., Oliveira, A., Pinto, L., Ribeiro, V., Rausch, L., Gibbs, H., Figueira, D., 2020. The rotten apples of Brazil's agribusiness. *Science* (80-). 369, 246–248.
- Römkens, P.A.F.M., Rietra, R.P.J.J., 2008. Zware metalen en nutriënten in dierlijke mest in 2008. *Trace Elem. Anim. Prod. Syst.* 38.
- Schutte, J.B., 1996. AMINOZURENBEHOEFTE VAN LEGHENNEN EN VLEESKUIKENS.
- Spranghers, T., Michiels, J., Vrancx, J., Owyn, A., Eeckhout, M., De Clercq, P., De Smet, S., 2018. Gut antimicrobial effects and nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae for weaned piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 235, 33–42.
- Spranghers, T., Noyez, A., Schildermans, K., De Clercq, P., 2017a. Cold Hardiness of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *J. Econ. Entomol.* 110, 1501–1507. <https://doi.org/10.1093/jee/tox142>
- Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Owyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., Michiels, J., Eeckhout, M., De Clercq, P., De Smet, S., 2017b. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *J. Sci. Food Agric.* 97, 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 foodstuff high in omega-3 fatty acids. *J. World Aquac. Soc.* 38, 309–313.
- Tomberlin, J.K., Sheppard, D.C., 2001. Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Florida Entomol.* 84, 729–730.
- Tomberlin, J.K., Adler, P.H., Myers, H.M., 2009. Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. *Environmental entomology* 38, 930-934.

- van Krimpen, M., Bikker, P., van der Meer, I., van der Peet-Schwering, C., Vereijken, J., 2013. Cultivation, processing and nutritional aspects for pigs and poultry of European protein sources as alternatives for imported soybean products.
- Veldkamp, T. Star, L. van der Klis, J.D., van Harn, J., 2012. Reductie van ammoniakemissie op pluimveebedrijven via voeding 1–51.
- Veldkamp, T., van Duinkerken, G., van Huis, A., Ottevanger, E., Bosch, G., van Boekel, T., 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets : a feasibility study = Insecten als duurzame diervoedergrondstof in varkens- en pluimveevoeders : een haalbaarheidsstudie. *Food Chem.* 50, 192–195.
- Wong, C.Y., Rosli, S.S., Uemura, Y., Ho, Y.C., Leejeerajumnean, A., Kiatkittipong, W., Cheng, C.K., Lam, M.K., Lim, J.W., 2019. Potential protein and biodiesel sources from black soldier fly larvae: Insights of larval harvesting instar and fermented feeding medium. *Energies* 12.
- Yu, G., Cheng, P., Chen, Yanhong, Li, Y., Yang, Z., Chen, Yuanfeng, Tomberlin, J.K., 2011. Inoculating poultry manure with companion bacteria influences growth and development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Environ. Entomol.* 40, 30–35.
- Zhou, F., Tomberlin, J.K., Zheng, L., Yu, Z., Zhang, J., 2013. Developmental and waste reduction plasticity of three black soldier fly strains (Diptera: Stratiomyidae) raised on different livestock manures. *J. Med. Entomol.* 50, 1224–1230.

9. BIJLAGEN

Bijlage 1:

Bijlage1: Productieresultaten en productie-eigenschappen van BSF-larven uit verschillende studies.

Bron:	(Diener et al., 2009)	(Ooninx et al., 2015)			(Parra Paz et al., 2015)	(Yu et al., 2011)	(Danieli et al., 2019)
Soort substraat	Kippenvoer	Gedroogde kippenmest	Gedroogde varkensmest	Gedroogde rundveemest	Fruit en groenten afval	Leghennen mest (met <i>Bacillus natto</i> en <i>B. subtilis</i> toegevoegd)	Gerst, luzerne en graan
Oppervlakte container (cm ²)	105	203			49	120	/
Aantal larven /bak	200	/			59-294	144	/
Temperatuur kweekkamer (°C)	26	28			/	27-30	/
Relatieve vochtigheid kweekkamer (%)	67%	70%			/	80 ± 8%	/
Vochtigheid substraat (%)	60%	67%			60%	70,38 ± 0,91%	/
Kweektijd (dagen)	16-42	144	144	214	14-20	22,33-23	29-34,33
Larvale dichtheid (aantal larven/cm ²)	1,9	/			1,2-6	1,2	1,5
Voeder-frequentie	3/week	3/week			/	éénmalig	/
Gewicht DS substraat/larve/dag (mg)	40 (5-80)	245,8	238,2	238,3	163 (60-200)	26,92	12,2
Leeftijd larven bij toevoegen aan substraat (dagen)	6	1			/	5	6
Larven of prepopen geoogst?	50% prepopen	larve			50 % prepopenstadia	90%prepopen	prepopen
Gewicht VS/prepop (mg)	48	68 - 83			51-72	77,5-94,6	87,5
DS- gehalte larven (%)	40%	33%			/	29,62%	/
VS Substraat reductie (%)	41,8%	/			25-45%	/	/
WRI (waste reduction index) (%/dag)	3,8%	/			2,55%	/	/
Gewicht DS larven/dag/m ² (g)	145	/			59	/	/

Bijlage 2:

Bijlage 2: Overzicht resultaten van oogsten op dag 11 van experiment 1: massadensiteit, de reeks op broilermest waarbij de massadensiteit varieert. Het netto gewicht aan larven per bak is het totale gewicht aan larven gemeten op dag 11 min het gewicht van de startpopulatie aan larven die op dag 1 werd toegevoegd.

Aantal larven per kg substraat	200	600	1.000	1.400	1.800	2.200	2.600	3.000
Gewicht VS substraat/bak (g)	4.254,0	3.473,1	3.341,2	3.212,3	3.101,7	2.926,0	3.058,2	2.973,5
Gewicht DS substraat/bak (g)	1.880,3	2.017,8	1.974,7	1.991,6	1.950,0	2.087,7	2.009,6	2.206,6
Gewicht VS larven/bak (g)	276,0	716,9	818,8	867,7	938,3	1.054,0	971,8	1.056,5
Gewicht DS larven/bak (g)	102,7	262,9	293,0	298,7	332,5	348,0	349,8	340,4
DS-gehalte substraat (%)	44,2%	58,1%	59,1%	62,0%	62,9%	71,4%	65,7%	74,2%
DS-gehalte larven(%)	37,2%	36,7%	35,8%	34,4%	35,4%	33,0%	36,0%	32,2%
Gewicht DS substraat/larve/dag (mg)	454,5	151,5	90,8	64,9	50,6	41,3	35,2	30,6
Gewicht VS/larve (mg)	208,7	137,4	94,2	73,4	59,1	50,7	42,9	42,5
kweektijd (aantal dagen)	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
Gewicht DS substraat reductie/bak (g)	1.483,0	1.350,5	1.388,6	1.366,6	1.418,3	1.280,7	1.353,7	1.156,7
VS-mestreductie (%)	36,1%	47,9%	49,8%	51,7%	53,5%	56,1%	54,1%	55,4%
DS-mestreductie (%)	44,1%	40,1%	41,3%	40,7%	42,1%	38,0%	40,3%	34,4%
Netto gewicht VS larven/bak (g)	268,0	692,9	778,8	811,7	866,3	966,0	867,8	936,5
Netto gewicht DS larven/bak (g)	100,6	256,7	282,6	284,1	313,8	325,2	322,8	309,2
FCRw (aantal kg VS mest voor 1kg VS larven)	25,0	9,7	8,7	8,4	8,0	7,2	8,1	7,5
FCRd (aantal kg DS mest voor 1kg VS larven)	12,6	4,9	4,3	4,1	3,9	3,5	3,9	3,6
Gewicht DS larven/m ² /dag (g)	45,4	115,7	127,5	128,1	141,5	146,6	145,6	139,4
WRI= % restsubstraat/kweektijd	5,08%	5,45%	5,34%	5,39%	5,26%	5,63%	5,43%	5,96%

Bijlage 3:

Bijlage 3: Overzicht resultaten van oogsten op dag 11 van experiment 1: massadensiteit, de reeks op leghennenmest waarbij de massadensiteit varieert. Het netto gewicht aan larven per bak is het totale gewicht aan larven gemeten op dag 11 min het gewicht van de startpopulatie aan larven die op dag 1 werd toegevoegd.

Aantal larven per kg substraat	200	600	1.000	1.400	1.800	2.200	2.600	3.000
Gewicht VS substraat/bak (g)	4.773,7	4.461,0	4.144,3	3.940,5	4.274,0	4.244,6	4.213,1	4.653,8
Gewicht DS substraat/bak (g)	2.816,5	2.612,8	2.254,5	2.161,0	2.518,7	2.579,0	2.463,0	1.950,9
Gewicht VS larven/bak (g)	266,3	339,0	525,7	719,5	666,0	715,4	706,9	1.006,2
Gewicht DS larven/bak (g)	95,0	119,1	179,9	236,2	225,6	200,8	243,5	268,7
DS-gehalte substraat	59,0%	58,6%	54,4%	54,8%	58,9%	60,8%	58,5%	41,9%
DS-gehalte larven	35,7%	35,1%	34,2%	32,8%	33,9%	28,1%	34,4%	26,7%
Gewicht DS substraat/larve/dag (mg)	454,1	152,3	90,8	64,9	50,6	41,4	35,0	30,5
Gewicht VS/larve (mg)	117,7	62,8	56,2	46,4	45,0	34,3	29,3	35,6
kweektijd (aantal dagen)	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
Gewicht DS substraat reductie/bak (g)	484,3	691,5	1.053,3	1.143,3	785,6	725,3	841,3	1.356,9
VS-mestreductie (%)	49,3%	52,7%	56,1%	58,2%	54,7%	55,0%	55,3%	50,7%
DS-mestreductie (%)	14,7%	20,9%	31,8%	34,6%	23,8%	21,9%	25,5%	41,0%
Netto gewicht VS larven/bak (g)	258,3	315,0	485,7	663,5	594,0	627,4	602,9	886,2
Netto gewicht DS larven/bak (g)	92,9	112,8	169,5	221,6	206,8	177,9	216,4	237,5
FCRw (aantal kg VS mest voor 1kg VS larven)	36,6	30,2	19,7	14,5	16,3	15,5	16,2	11,1
FCRd (aantal kg DS mest voor 1kg VS larven)	12,8	10,5	6,8	5,0	5,6	5,3	5,5	3,7
Gewicht DS larven/m ² /dag (g)	41,9	50,9	76,4	99,9	93,3	80,2	97,6	107,1
WRI= % restsubstraat/kweektijd	7,76%	7,19%	6,20%	5,95%	6,93%	7,10%	6,78%	5,36%

Bijlage 4:

Bijlage 4: Overzicht resultaten van oogsten van experiment 2: vochtverliescompensatie waarbij het percentage aan vochtverlies dat op dag 6 werd gecompenseerd door vocht toe te voegen varieert. Het netto gewicht aan larven per bak is het totale gewicht aan larven gemeten op dag 9 min het gewicht van de startpopulatie aan larven die op dag 1 werd toegevoegd

Vochtverliescompensatie (%)	0%	9%	18%	27%	36%	46%	55%	64%	73%	82%	91%	100,0%
Gewicht VS substraat/bak (g)	2.597,3	2.652,7	2.569,0	2.651,3	2.901,2	3.695,9	4.067,9	4.117,4	4.029,8	4.798,2	4.888,0	5.626,6
Gewicht DS substraat/bak (g)	1.467,8	1.437,0	1.185,6	1.056,5	1.195,3	1.148,3	1.281,8	1.279,7	1.376,6	1.254,7	1.134,0	1.299,8
Gewicht VS larven/bak (g)	1.012,7	1.017,3	1.141,0	1.178,7	1.218,8	1.244,1	1.062,1	1.042,6	1.220,2	741,8	932,0	693,4
Gewicht DS larven/bak (g)	287,9	287,9	302,0	318,3	330,3	331,2	287,8	280,5	341,7	199,6	261,0	194,1
DS-gehalte substraat (%)	56,5%	54,2%	46,2%	39,9%	41,2%	31,1%	31,5%	31,1%	34,2%	26,2%	23,2%	23,1%
DS-gehalte larven (%)	28,4%	28,3%	26,5%	27,0%	27,1%	26,6%	27,1%	26,9%	28,0%	26,9%	28,0%	28,0%
Gewicht DS substraat/larve/dag (mg)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Gewicht VS/larve (mg)	57,6	58,7	68,1	66,0	71,3	72,5	68,8	69,9	72,5	73,3	73,2	72,7
kweektijd (aantal dagen)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Gewicht DS substraat reductie/bak (g)	1.172,2	1.203,0	1.454,4	1.583,5	1.444,7	1.491,7	1.358,2	1.360,3	1.263,4	1.385,3	1.506,0	1.340,2
VS-mestreductie (%)	42,9%	41,7%	43,6%	41,8%	36,3%	18,8%	10,6%	9,5%	11,5%	-5,4%	-7,4%	-23,6%
DS-mestreductie (%)	44,4%	45,6%	55,1%	60,0%	54,7%	56,5%	51,4%	51,5%	47,9%	52,5%	57,0%	50,8%
Netto gewicht VS larven/bak (g)	923,2	927,9	1.051,6	1.089,3	1.129,3	1.154,7	972,7	953,1	1.130,8	652,4	842,5	603,9
Netto gewicht DS larven/bak (g)	264,6	264,6	278,8	295,0	307,0	307,9	264,6	257,2	318,4	176,3	237,7	170,9
FCRw (aantal kg VS mest voor 1kg VS larven)	5,02	4,99	4,40	4,25	4,10	4,01	4,76	4,86	4,09	7,10	5,50	7,67
FCRd (aantal kg DS mest voor 1kg VS larven)	2,86	2,85	2,51	2,42	2,34	2,29	2,71	2,77	2,33	4,05	3,13	4,37
Gewicht DS larven/m ² /dag (g)	131,3	131,3	138,3	146,3	152,3	152,7	131,2	127,6	157,9	87,5	117,9	84,8
WRI= % restsubstraat/kweektijd	5,56%	5,44%	4,49%	4,00%	4,53%	4,35%	4,86%	4,85%	5,21%	4,75%	4,30%	4,92%

Bijlage 5:

Bijlage 5: Overzicht resultaten van oogsten van experiment 3: hoeveelheid substraat per m² waarbij het gewicht aan VS substraat per m² (g) bij de proefopzet varieert. Het netto gewicht aan larven per bak is het totale gewicht aan larven gemeten op dag 10 min het gewicht van de startpopulatie aan larven die op dag 1 werd toegevoegd. De waarden die worden uitgedrukt per kg DS mest betekent per kg DS mest bij de proefopzet op dag 1. De reden hiervan is om de resultaten met elkaar te kunnen veraelijken.

Gewicht VS substraat/m ² bij proefopzet (kg)	16	21	27	33	38	44	50	55	61	66	72	78
Gewicht VS substraat/kg DS mest (g)	533,6	642,7	704,0	737,8	778,3	1.002,0	1.003,8	1.052,7	1.000,5	1.064,5	1.167,7	1.575,2
Gewicht DS substraat/kg DS mest (g)	434,4	410,1	382,6	417,0	405,6	416,3	490,5	475,8	458,1	466,1	460,6	458,4
Gewicht VS larven/kg DS mest (g)	294,9	395,9	407,1	434,6	449,1	451,0	399,3	427,6	419,3	381,9	405,3	453,8
Gewicht DS larven/kg DS mest (g)	89,7	111,5	118,9	121,2	134,3	137,5	127,8	136,4	128,3	120,2	133,7	141,1
DS-gehalte substraat	81,4%	63,8%	54,3%	56,5%	52,1%	41,6%	48,9%	45,2%	45,8%	43,8%	39,5%	29,1%
DS-gehalte larven	30,4%	28,2%	29,2%	27,9%	29,9%	30,5%	32,0%	31,9%	30,6%	31,5%	33,0%	31,1%
Gewicht DS substraat/larve/dag (mg)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Gewicht VS/larve (mg)	48,8	64,8	76,4	81,0	74,8	77,8	71,5	85,2	81,7	81,6	91,5	91,0
kweektijd (aantal dagen)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Gewicht DS substraat reductie/kg DS mest (g)	565,6	589,9	617,4	583,0	594,4	583,7	509,5	524,2	541,9	533,9	539,4	541,6
VS-mestreductie (%)	69,8%	63,7%	60,2%	58,3%	56,0%	43,4%	43,3%	40,5%	43,5%	39,9%	34,0%	11,0%
DS-mestreductie (%)	56,6%	59,0%	61,7%	58,3%	59,4%	58,4%	50,9%	52,4%	54,2%	53,4%	53,9%	54,2%
Netto gewicht VS larven/kg DS mest (g)	269,7	370,7	381,9	409,4	423,9	425,8	374,1	402,4	394,1	356,7	380,1	428,6
Netto gewicht DS larven/kg DS mest (g)	82,9	104,7	112,1	114,4	127,5	130,7	121,0	129,6	121,5	113,4	126,9	134,3
FCRw (aantal kg VS mest voor 1kg VS larven)	6,58	4,79	4,65	4,34	4,19	4,17	4,75	4,41	4,50	4,98	4,67	4,14
FCRd (aantal kg DS mest voor 1kg VS larven)	3,71	2,70	2,62	2,44	2,36	2,35	2,67	2,49	2,54	2,80	2,63	2,33
Gewicht DS larven/m ² /dag (g)	43,2	74,0	100,1	123,4	161,3	189,7	198,0	236,3	244,0	248,9	302,2	344,8
WRI= % restsubstraat/kweektijd	4,34%	4,10%	3,83%	4,17%	4,06%	4,16%	4,91%	4,76%	4,58%	4,66%	4,61%	4,58%

Bijlage 6:

Bijlage 6: Resultaten van de Weende-analyse (op basis van DS-gehalte) die werd uitgevoerd op leghennen-en broilermest alvorens BSF-larven hierop groeiden (Mest leghen, Mest broiler), op het restsubstraat van de leghennen-en broilermest nadat BSF-larven hierop groeiden aan een massadensiteit van 2.200 of 3.000 larven/kg VS substraat (Restsubstraat leghen 2.200, Restsubstraat leghen 3.000, Restsubstraat broiler 2.200, Restsubstraat broiler 3.000), op de BSF-larven die op leghennen-of broilermest groeiden aan een massadensiteit van 2.200 of 3.000 larven/kg VS substraat (Larven leghen 2.200, Larven leghen 3.000, Larven broiler 2.200, Larven broiler 3.000).

Staal	% DS	% Vocht	% As	% Eiwit	%vet	%Rc	% urinezuur	% chitine
Mest leghen	100,00%	0,00%	29,19%	20,83%	1,25%	19,58%	1,52%	2,37%
Larven leghen 2.200	100,00%	0,00%	25,49%	44,98%	3,74%	8,06%	/	6,41%
Larven leghen 3.000	100,00%	0,00%	28,16%	45,63%	2,97%	8,48%	/	7,46%
Restsubstraat leghen 2.200	100,00%	0,00%	33,50%	14,94%	1,70%	19,48%	0,28%	2,42%
Restsubstraat leghen 3.000	100,00%	0,00%	33,26%	14,18%	1,51%	19,68%	0,15%	2,55%
Mest broiler	100,00%	0,00%	13,76%	30,87%	8,70%	20,50%	2,41%	3,70%
Larven broiler 2.200	100,00%	0,00%	15,07%	45,38%	10,73%	10,36%	/	6,82%
Larven broiler 3.000	100,00%	0,00%	15,68%	48,21%	11,07%	13,17%	/	8,34%
Restsubstraat broiler 2.200	100,00%	0,00%	18,49%	20,62%	1,91%	21,94%	0,81%	2,34%
Restsubstraat broiler 3.000	100,00%	0,00%	18,63%	20,64%	1,43%	22,62%	0,88%	2,35%

Bijlage 7:

Bijlage 7: Resultaten van de Weende-analyse (op basis van VS-gehalte) die werd uitgevoerd op leghennen-en broilermest alvorens BSF-larven hierop groeiden (Mest leghen, Mest broiler), op het restsubstraat van de leghennen-en broilermest nadat BSF-larven hierop groeiden aan een massadensiteit van 2.200 of 3.000 larven/kg VS substraat (Restsubstraat leghen 2.200, Restsubstraat leghen 3.000, Restsubstraat broiler 2.200, Restsubstraat broiler 3.000), op de BSF-larven die op leghennen-of broilermest groeiden aan een massadensiteit van 2.200 of 3.000 larven/kg VS substraat (Larven leghen 2.200, Larven leghen 3.000, Larven broiler 2.200, Larven broiler 3.000).

Staal	% DS	% Vocht	% As	% Eiwit	%vet	%Rc	% urinezuur	% chitine
Mest leghen	62,27%	37,73%	18,17%	12,97%	0,78%	12,19%	0,95%	1,48%
Larven leghen 2.200	28,07%	71,93%	7,15%	12,62%	1,05%	2,26%	/	1,80%
Larven leghen 3.000	26,71%	73,29%	7,52%	12,19%	0,79%	2,26%	/	1,99%
Restsubstraat leghen 2.200	60,76%	39,24%	20,35%	9,08%	1,03%	11,83%	0,17%	1,47%
Restsubstraat leghen 3.000	41,92%	58,08%	13,94%	5,95%	0,63%	8,25%	0,06%	1,07%
Mest broiler	55,31%	44,69%	7,61%	17,07%	4,81%	11,34%	1,33%	2,05%
Larven broiler 2.200	33,02%	66,98%	4,98%	14,99%	3,54%	3,42%	/	2,25%
Larven broiler 3.000	32,22%	67,78%	5,05%	15,54%	3,57%	4,24%	/	2,69%
Restsubstraat broiler 2.200	71,35%	28,65%	13,19%	14,71%	1,36%	15,66%	0,58%	1,67%
Restsubstraat broiler 3.000	74,21%	25,79%	13,83%	15,31%	1,06%	16,78%	0,65%	1,74%