



DECENTRALE ORGANISCHE RESTSTROOMVERWERKING

RE-ORGANISE

Dit onderzoek is medegefinancierd door Regieorgaan SIA onderdeel van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO)

Urban Technology
Circulair Ontwerpen en Ondernemen
2017

DECENTRALE ORGANISCHE RESTSTROOMVERWERKING

RE-ORGANISE

AUTEURS

Yannick Schrik BSc	Aeres Hogeschool Dronten
Janne van den Akker MSc	Aeres Hogeschool Dronten
Ir. Maarten Mulder	Hogeschool van Amsterdam
Ir. Kasper van Lange	Hogeschool van Amsterdam
Drs. Marco van Hees	Hogeschool van Amsterdam
Ir. Inge Oskam	Hogeschool van Amsterdam
Dr. Ir. Han van Kasteren	Aeres Hogeschool Dronten

AFDELING

Urban Technology
Circulair Ontwerpen en Ondernemen

DATUM

4 juli 2017

TYPE PROJECT

SIA RAAK-MKB

VERSIE

1.1

© 2016 Copyright Hogeschool Amsterdam

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door print-outs, kopieën, of op welke manier dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Hogeschool Amsterdam.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	5
2.	Factsheet: compostering	8
3.	Factsheet: vergisting	12
4.	Factsheet: wormencompostering.....	18
5.	Factsheet: Insectenweek (Black Soldier Fly)	23
6.	Factsheet: Paddenstoelenweek.....	26
7.	Factsheet: biomeiler	31
8.	Factsheet: Opslag organisch materiaal	36
9.	Factsheet: Vezelwinning/dik-dun scheiding	39
	Literatuurlijst	41

1. Inleiding

Wat zijn de mogelijkheden voor de decentrale verwerking van organische reststromen? Levert het lokaal verwerken van materialen als gft-afval, snoeiafval, horeca-afval en gewasresten in brede zin meer op dan afvoer naar grootschalige verwerkers? Die vraag staat centraal in het project RE-ORGANISE, geleid door de Hogeschool van Amsterdam in samenwerking met Aeres Hogeschool Dronten, verschillende andere kennispartners en ondernemers. Twee Amsterdamse stadslandbouwlocaties fungeren hierbij als onderzoekscases: Tuinen van West (grenzend aan de wijken Geuzenveld en Osdorp) en NoordOogst (in Amsterdam Noord). Er is gekozen voor stadslandbouwlocaties, omdat hier organische reststromen vrijkomen en er tegelijk lokaal behoefte is aan de producten die uit deze reststromen gemaakt kunnen worden.

Voor de beide casuslocaties zijn casusbeschrijvingen gemaakt. Deze beschrijven de huidige situatie wat betreft de aanwezigheid en het gebruik van organische reststromen. Basis daarvoor vormen 38 interviews met ondernemers en belanghebbenden in de twee gebieden, en twee workshops waarin werd nagedacht over het verbeteren van het gebruik van deze reststromen. In het tweede (en laatste) onderzoeksjaar worden voor de twee casuslocaties verschillende scenario's uitgewerkt met bijbehorende business cases.

Voor het uitwerken van de scenario's is het onder andere noodzakelijk om een overzicht te hebben van wat er *technisch* mogelijk is met de bestaande organische reststromen. Daartoe zijn zogenaamde factsheets opgesteld per technologie, die een beschrijving omvatten van wanneer en hoe verschillende verwerkingstechnologieën decentraal toe te passen zijn op organische reststromen. De vereiste van decentrale toepasbaarheid geeft al een eerste schifting in de zeer vele verwerkingsprocessen die in principe mogelijk zijn met organische reststromen. Er zijn echter nog meer redenen waarom binnen RE-ORGANISE bepaalde technologieën wel of niet zijn aangemerkt als kansrijk en passend binnen een stadslandbouw-context, en dus waarom ze wel of niet verder zijn uitgediept. Paragraaf 3 laat de keuzen zien die hierin gemaakt zijn. Paragraaf 2 geeft eerst een algemene uitleg over verwerking en raffinage.

1. Verwerking en raffinage

RE-ORGANISE richt zich op organische afvalstromen. Deze afvalstromen zijn te classificeren als van biologische oorsprong (in de zin van: levend, of levend geweest). Denk aan bijvoorbeeld aan hout, gras en mest. De verwerking van deze afvalstromen richt zich traditioneel op biologische omzettingstechnieken zoals composteren en vergisten voor de gemakkelijk biologisch afbreekbare stromen (bijvoorbeeld gras, mest) en verbranding voor de moeilijk biologisch afbreekbare stromen (bijvoorbeeld hout). Deze technieken omvatten de eindverwerking van de organische afvalstromen. De geproduceerde compost wordt uiteindelijk ergens in de bodem gebracht, c.q. kan dienen als voedingsbodem voor de groei van nieuwe biomassa. Hetzelfde geldt voor de verbrandingsassen die overblijven na verbranding.

Daarnaast kunnen organische stromen geraffineerd worden, d.w.z. fracties ervan kunnen na opwerking geschikt gemaakt worden voor een nuttige toepassing of zelfs moleculair teruggebracht worden tot basisgrondstoffen. Zo kunnen vezels uit de organische fractie afgescheiden worden (denk bijvoorbeeld aan stro uit mest) en gebruikt worden voor vezeltoepassingen (bijvoorbeeld voor papier, karton, verpakkingen). Het is ook mogelijk om middels technieken zoals pyrolyse en vergassing de organische moleculen te kraken tot eenvoudige moleculen zoals CO en waterstof die weer als grondstof kunnen dienen voor de productie van grotere organische moleculen. Hiervoor zijn – gegeven de huidige stand der techniek en veiligheidseisen - een grootschalige aanpak en specialistische kennis vereist.

2. Afbakening

Eerste afbakening: inputs

De eerste selectie in RE-ORGANISE moet de technische toepasbaarheid zijn op input-stromen die ook daadwerkelijk aanwezig zijn binnen een stadslandbouw-context. Dat geldt bijvoorbeeld voor gewasresten in het algemeen, voor mest of voor horeca-afval. Technologieën waarvoor de inputstroom zeer voorspelbaar moet vrijkomen en zeer homogeen van samenstelling moet zijn – zoals reststromen uit de voedingsindustrie – vallen daarom af. Dit geldt voor bijvoorbeeld de productie van veel fijne chemicaliën en farmaceutica. Bij die technologieën geldt bovendien dat de investeringskosten zo hoog zijn dat de kosten alleen maar uit kunnen als zeer grote inputstromen verwerkt worden. Zie verder bij “investering”. De technologieën moeten bovendien toe te passen zijn op kleine volumes van organische reststromen. Hiervoor is gekeken naar de huidige stand van de techniek. Als een technologie aan deze eis nog (net) niet voldoet maar er wel zicht is op technologische ontwikkeling waardoor kleinschalige toepasbaarheid in de nabije toekomst beter mogelijk wordt, dan is de technologie ook meegenomen.

Tweede afbakening: investering

In stadslandbouwgebieden worden de investeringen vaak gedaan door individuele ondernemers. Deze zijn niet kapitaalkrchtig genoeg voor verschillende installaties op het gebied van bioraffinage. In principe is het mogelijk dat een partij als een gemeente een dure, grootschalige verwerkingsinstallatie zou realiseren op bijvoorbeeld een bedrijventerrein grenzend aan de stadslandbouwlocatie. Deze zou dan echter alleen financieel rendabel zijn als hij zeer grote volumes aan inputstromen zou verwerken. Het aandeel van die inputstroom dat dan nog uit het stadslandbouwgebied zou komen, is dan zeer klein. Daarom zijn de zeer kostbare technologieën in RE-ORGANISE buiten beschouwing gelaten.

Derde afbakening: kennisniveau

Veel bioraffinage-processen, zoals pyrolyse en vergassing, vereisen – zoals boven beschreven - gecompliceerde chemische reacties, waarvoor specialistische kennis nodig is. In RE-ORGANISE is gekozen voor technologieën die realiseerbaar zijn met de kennis die er in een gemiddeld stadslandbouwgebied is. Wel is aangenomen dat er mensen bereid zouden zijn enige studie te doen om zich bepaalde vaardigheden eigen te maken die nodig zijn voor het gebruiken van voor hen nieuwe technologie.

Vierde afbakening: ruimtebeslag

Technologieën waarvoor een grootschalige of bijvoorbeeld zeer hoge en zichtbare installatie nodig is zijn buiten beschouwing gelaten. Deels omdat zij ook al afvallen vanwege bovenstaande eisen, maar deels ook vanwege hun landschappelijke impact die in dit project als niet passend werd beschouwd in een stadslandbouwcontext.

Vijfde afbakening: vraag naar product

Tenslotte zijn alleen die technologieën uitgediept die een product opleveren waar ook daadwerkelijk vraag naar is in een stadslandbouwgebied, waarnaar vraag gecreëerd zou kunnen worden, of dat verkoopbaar zou kunnen zijn als lokaal product.

3. Overzicht factsheets

Biomeiler, Vergisting

Compostering

Insectenweek

Paddenstoelenweek

Wormenweek

Vezelwinning

Bewaring van organische fractie

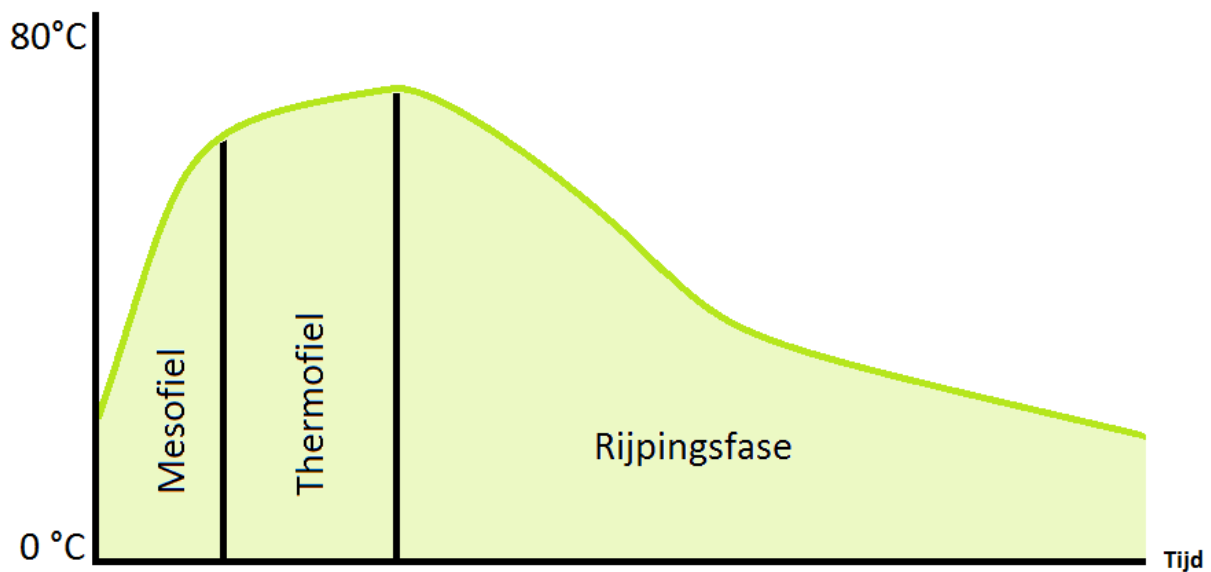
2. Factsheet: compostering

Compostering is de afbraak van organisch materiaal onder zuurstofrijke omstandigheden door micro-organismen. Het eindproduct van compostering is compost: een stabiele vorm van organisch materiaal dat gebruikt kan worden als meststof en bodemverbeteraar.

2.1 Procesbeschrijving

Tijdens compostering wordt organisch materiaal afgebroken door micro-organismen. Voor deze afbraak is zuurstof en vocht nodig. Tijdens de compostering ontstaat warmte en waterdamp. Het eindproduct van compostering is compost: een stabiele vorm van organisch materiaal dat gebruikt kan worden als meststof en bodemverbeteraar.

Om het organisch materiaal goed te hygiëniseren (vrijmaken van ziektekiemen en onkruidzaden) is het van belang dat de compostering een zogenaamde thermofiele fase doormaakt. Tijdens deze fase loopt de temperatuur in de compostbult op tot zo'n 65 graden Celsius. Het is van belang om de compostbult niet té warm te laten worden: te hoge temperaturen zorgen ervoor dat de micro-organismen afsterven en er veel nutriënten verloren gaan door vervlieging en uitspoeling.



Figuur 1: De drie fasen van compostering

In de compostbult moet continu genoeg zuurstof en vocht beschikbaar zijn. Als de afbraak zuurstofarm of zelfs –loos verloopt, gaan het organisch materiaal rotten. Door de compost tijdens het proces regelmatig te keren en met water nat te maken, blijft het proces vochtig genoeg en goed belucht.

2.1.1 Procesparameters

In de volgende tabel zijn de procesparameters van compostering weergegeven¹:

Procesparameters:	Streefwaarde:	Opmerking
Zuurstofgehalte in de lucht	>5%	Regelmatige omzetting zorgt voor meer zuurstof in de compost.
Vochtgehalte	50%-60%	Het vochtgehalte moet rond de 60% liggen.
Structuur (deeltjesgrootte)	0,5-1,0 cm	De structuur moet open genoeg zijn om lucht in de compost toe te laten maar dicht genoeg om te veel verdamping te voorkomen.
Temperatuur	50°C-60°C	Temperaturen boven de 60°C remmen de microbiële activiteit. Temperaturen onder de 40°C zorgen voor slechte hygiënisering.
C:N-ratio	25:1-30:1	De C:N-ratio moet tussen de 20:1 en 30:1 liggen om een optimale compostering met zo veel mogelijk vastlegging van stikstof te realiseren.

Tabel 1 Procesparameters compostering

2.2 Reststromen als input

Voor een effectieve compostering wordt er een aantal eisen gesteld aan het inputmateriaal. Veelal voldoen organische reststromen op zichzelf niet aan al deze eisen en worden verschillende reststromen met elkaar gemengd om zo een geschikte samenstelling te realiseren.

Bij het samenstellen van de compost moet getracht worden een stikstofrijke stroom te mengen met een koolstofrijke stroom. Afhankelijk van de fysische eigenschappen van beide stromen dient er eventueel ook een stroom toegevoegd worden die uit grovere delen bestaat om zo de structuur van de compostbult opener te maken. De ideale mix heeft C:N-ratio van 30:1, bestaat voor 40%-65% uit vocht en heeft een pH niet lager dan 6. Als indicator voor structuur van de bult kan de bulkdichtheid gebruikt worden; deze dient maximaal zo'n 750 kg per kuub materiaal te zijn.

Het composteren van organische reststromen met veel onkruidzaden is op kleine schaal niet altijd aan te raden: als de compostbult niet overal goed op temperatuur komt blijven er onkruidzaden kiemkrachtig.

Materiaal	C:N-ratio
Bladmateriaal	30:1 – 80:1
Stro	40:1 – 150:1
Houtsnippers	100:1 – 500:1
Zaagsel	200:1 – 700:1
Dierlijke mest	5:1 – 20:1
gft-afval	30:1 – 40:1
Groente-afval	10:1 – 20:1
Koffieprut	20:1
Grasmaaisel	15:1 – 25:1

Tabel 2 Typische C:N-verhouding van veel gebruikte compost-inputs

2.3 Kwaliteit en kwantiteit van de output

Door de CO₂-uitstoot van de micro-organismen gaat er relatief veel koolstof verloren tijdens de compostering (tot zo'n 65%). Dit resulteert in een aanzienlijk verlies in totale massa (tot zo'n 50%). Door vervliesing en uitspoeling gaan er bovendien nutriënten verloren (tot zo'n 30% van de totale NPK).

Om de bemestende waarde van de compost te meten kan deze chemisch geanalyseerd worden. In Nederland is er een aantal laboratoria die dergelijke analyses aanbieden. Om de biologische en fysische waarde van compost te bepalen, kan er gebruik gemaakt worden van verschillende beoordelingsmethoden.

In de volgende tabel is de chemische samenstelling voor verschillende composten weergegeven.

Compost	Organische stof in kg / ton	Stikstof (N kg / ton)	Fosfaat (P ₂ O ₅ kg / ton)	Kalium (K ₂ O kg /ton)	C:N-ratio
gft-compost	242	12,8	6,3	11,3	11:1
Groencompost	179	5,0	2,2	4,2	20:1
Champost	211	7,6	4,5	10,0	15:1

Tabel 3 Typische samenstelling compostsoorten²

De stikstof in compost is voor 90% aanwezig in organisch gebonden vorm. Dit betekent dat de compost eerst afgebroken moet worden door het bodemleven voordat deze stikstof beschikbaar komt voor de plant. Hoe lager de C:N-ratio is hoe sneller deze afbraak plaatsvindt. Gemiddeld zal per jaar 10% van de aangevoerde stikstof beschikbaar komen voor de planten.

Compost die gedurende het composteringsproces te warm geworden is en hierdoor verast is, zal grijs zijn van kleur. De geur van de compost is een goede indicator voor de kwaliteit van het composteringsproces. Een goede compost ruikt naar humusrijke grond, zoals bosgrond. Van een compost die zurig ruikt of zelfs naar rotte eieren is het composteringsproces niet goed verlopen.

2.3.1 Toepassing

Doordat de bemestende waarde van compost sterk afhangt van hoe makkelijk de compost verteerd wordt, is jaarlijkse aanvoer van compost aangeraden. Door veel organisch gebonden mineralen in de bodem aan te brengen ontstaat na verloop van een tijd een dynamiek in de bodem waarbij planten continu nutriënten tot hun beschikbaarheid hebben. Bovendien fungeert compost als voedsel voor het bodemleven. Hiermee zorgt compost, samen met de fysische eigenschappen van organische stof, voor een betere bodemstructuur.

2.4 Mogelijkheden decentrale toepassing

Organisch materiaal kan gecomposteerd worden op kleine en op grote schaal. Op kleine schaal kan er passief of actief gecomposteerd worden. Bij passieve compostering wordt het organische materiaal op een bult gezet. Deze bult dient geregeld omgedraaid te worden met een mestvork. Een dergelijke bult moet niet groter gemaakt worden dan zo'n 1 kuub, omdat het midden anders niet voldoende zuurstof krijgt. Deze manier van composteren duurt zo'n 20 weken waarbij in de eerste 4 weken de bult wekelijks gekeerd moet worden om de bult rijk aan zuurstof te houden.

Bij actieve compostering wordt het organische materiaal bijvoorbeeld in een composteertrommel gecomposteerd. Een composteertrommel bestaat uit een luchtdoorlatende trommel die gedraaid kan worden. Omdat er continu genoeg zuurstof beschikbaar is en het organische materiaal continu gemengd wordt door het draaien, verloopt de compostering snel: in zo'n 6 weken wordt organisch materiaal omgezet tot compost. Het nadeel van dit soort systemen is de relatief lage capaciteit; kleine modellen kunnen maximaal 125 liter organisch materiaal tegelijkertijd composteren, grotere modellen tot zo'n 400 liter.

Grootschalige compostering is zwaarder gemechaniseerd. Denk hierbij aan zogenaamde compostfrezen en trekkers.

Schaal	Klein	Middel	Groot
Input	200 liter	10m ³	40 m ³
Investering	0-1.000	€1.000-€10.000	€10.000+
Kennisniveau	Basiskennis	Specialisme	Specialisme
Oppervlakte	0m ² -10m ²	10m ² -100m ²	100m ² +

Tabel 4

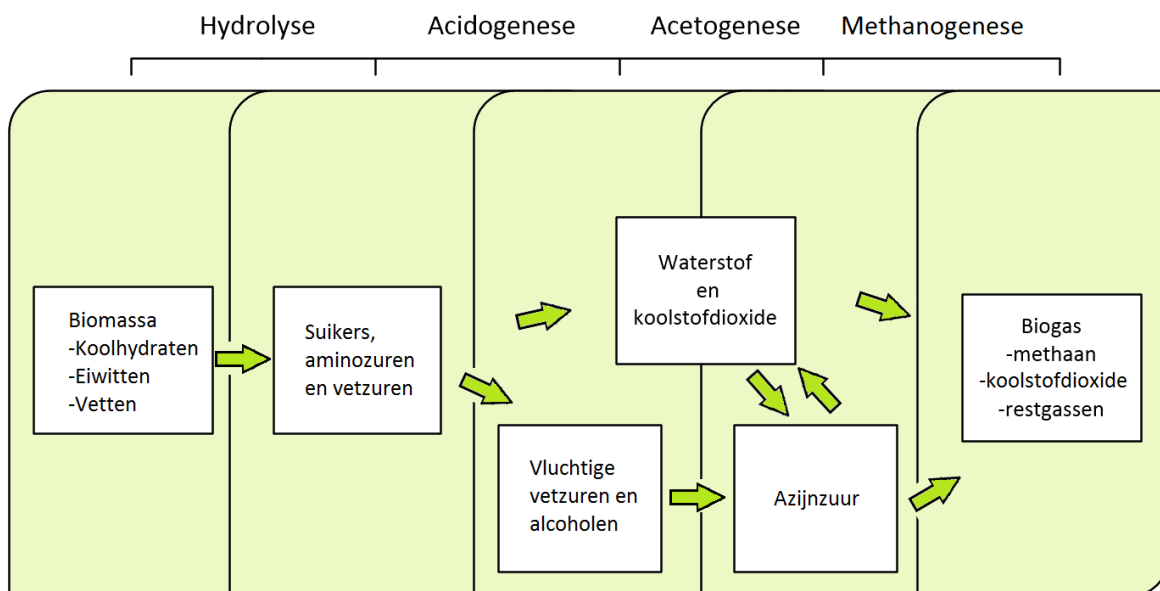
3. Factsheet: vergisting

Bij vergisting (ook wel biovergisting genoemd) worden koolhydraten, eiwitten en vetten door micro-organismen omgezet in biogas, een gasmengsel van methaan en koolstofdioxide dat als brandstof of voor elektriciteitsproductie kan worden ingezet. In Nederland vindt vergisting tot biogas plaats op voormalige afvalstortterreinen, bij de verwerking van reststromen zoals dierlijke mest, groente-, fruit- en tuinafval (gft), organische reststromen van voedingsmiddelenbedrijven en bij de afvalwaterzuivering. Bij het vergistingsproces moet warmte worden toegevoegd om een goede gasproductie te verkrijgen. Het restproduct, digestaat, kan worden ingezet als meststof. Dierlijke mest levert niet veel biogas op. Om mestvergisting financieel haalbaar te maken worden daaraan vaak makkelijk vergistbare producten toegevoegd (zoals mais en vetten)³, de zogenaamde co-vergisting.

Biovergistingsinstallaties kunnen worden ingedeeld in droge vergisters (een batchproces) en natte vergisters (een continuproces), afhankelijk van het vochtgehalte van het inputmateriaal. Droge vergisting is geschikt voor organisch materiaal met een drogestofgehalte van 15% of meer. Het inputmateriaal is niet verpompbaar. Natte vergisting is voor materiaal dat wel verpompbaar is, met een drogestofgehalte van <15%. Het chemische proces van vergisting is in beide typen vergisters hetzelfde, maar het technisch ontwerp van de vergisters verschilt wel (zie onder).

3.1 Procesbeschrijving

Bij vergisting wordt organisch materiaal afgebroken onder gecontroleerde omstandigheden en volledig anaerobe (zuurstofloze) condities. Hierbij ontstaat CO₂, CH₄, H₂O en restgassen zoals H₂S.⁴ Het vergistingsproces bestaat uit vier fasen. Deze zijn weergegeven in de onderstaande afbeelding.



Figuur 2 De vier vergistingsfasen

De verschillende fasen worden uitgevoerd door verschillende groepen micro-organismen. Iedere groep kent zijn eigen optimale milieu en dus optimale procesparameters. In de hydrolysefase worden grote moleculen afgebroken in kleinere, waardoor de inputstroom bruikbaar wordt voor de bacteriën die de

volgende fasen uitvoeren. Soms wordt de hydrolysestap uitgevoerd in een aparte unit, omdat dit het proces beter beheersbaar maakt omdat er dan niet tegelijkertijd andere biologische processen plaatsvinden.

3.1.1 Procesparameters

Belangrijke parameters bij anaerobe vergisting zijn pH, temperatuur en verblijftijd. Voor de verschillende fasen gelden verschillende streefwaardes van deze parameters.

De optimale pH in de hydrolyse-fase ligt tussen de 4,5 en de 6,3. Gedurende de methaanvormende fase moet de pH liggen tussen de 6,8 en de 7,5. Vooral voor de methaanvormende bacteriën is het belangrijk dat de pH stabiel rond de 7 is, omdat afwijkende waarden leiden tot een sterke remming van deze bacterieactiviteit. In een systeem zonder aparte hydrolyse-unit gelden de streefwaardes van enkel de methaanreactor omdat methanogene bacteriën het meest gevoelig zijn⁵. Als de verzuring te snel verloopt en de methaanbacteriën de omzetting naar methaan niet meer kunnen volhouden, dan kan dit probleem verholpen worden door de belasting van de vergister te verlagen of door kleine hoeveelheden kalk toe te voegen⁶.

Bij ieder biologisch proces is de temperatuur sterk bepalend voor de snelheid waarmee het proces zich voltrekt. Bij vergisting worden drie verschillende temperatuurbereiken onderscheiden: psychrofiel (0°C - 20°C), mesofiel (20°C-40°C) en thermofiel (40°C-65°C). Voor vergisting onder psychrofiële omstandigheden wordt zelden gekozen, omdat de methaanopbrengst heel laag is. Mesofiele vergisting is een vrij stabiel proces waardoor deze vorm van vergisting makkelijk is uit te voeren op bijvoorbeeld landbouwbedrijven. Thermofiele vergisting heeft de hoogste methaanopbrengst en de hogere temperaturen zorgen tevens voor hygiënisatie van het substraat; het proces is echter gevoeliger voor variaties in procesparameters en daarmee voor destabilisatie. Kleine afwijkingen in de temperatuur kunnen al resulteren in afname van de methaanproductie.

Belangrijk bij vergisting is een optimum te bereiken tussen verblijftijd van de biomassa in de reactor en de methaanproductie. Bij een lange verblijftijd is de methaanproductie per eenheid inputmateriaal hoger, maar kan minder volume materiaal worden verwerkt per tijdseenheid.

Tenslotte is er bij een continuvergister een bepaalde hoeveelheid organische stof die maximaal mag worden aangevoerd (in kg per m³ per dag) om te zorgen dat de bacteriën niet overvoerd raken, want dan valt het vergistingsproces stil. Deze maximale belasting is bij mesofiele vergisting ongeveer 4 a 5 kg OS/m³/dag. Met deze gegevens kan het benodigde volume van een vergister worden berekend als het volume van de beschikbare inputstromen bekend is⁵. Voor de beeldvorming: in het geval van een mesofiele mestvergister van 2500 liter en een verblijftijd van 50 dagen komt dit neer op een input van circa 50 liter per dag.

3.2 Reststromen als input

Voor een goede vergisting wordt er een aantal eisen gesteld aan het inputmateriaal. Vergistbaar materiaal bestaat bij voorkeur uit koolhydraatrijk materiaal (suikers), eiwitten en vetten. Verder is het van belang dat het inputmateriaal geen toxische stoffen bevat die het vergistingsproces remmen.⁷ Dit betreft met name antibacteriële stoffen zoals antibiotica en schoonmaakmiddelen. Daarnaast kunnen minerale stoffen waaronder calcium, magnesium, zwavel en ammonia-houdende zouten remmend werken, afhankelijk van de concentratie. Ammonia is een belangrijke parameter, omdat lage concentraties noodzakelijk zijn voor de vergisting terwijl hoge concentraties (vanaf 200-1450 NH₃-N mg/l) remmend werken.⁸ Zwavel leidt daarnaast tot de vorming van H₂S-gas, wat sterk ruikt, toxisch is en tijdens

verbranding leidt tot de vorming van SO₂ en zwavelzuur, hetgeen corrosief werkt op metalen en zorgt voor schadelijke emissies in de uitlaatgassen van een gasmotor. Aangeraden wordt daarom om met inputmateriaal te werken dat maximaal 7 mg S/liter bevat. Zwavelwaterstof kan eventueel ook afgevangen worden door speciale installaties.

In het geval van reststromen uit landbouw of huishoudelijk afval zijn inputstromen die geschikt zijn voor een droge vergister vooral gras, gewasresten, gft-afval en keukenafval. Deze kunnen worden toegepast in monovergisters omdat ze zelfvergistend zijn. Een reststroom als stro of slootkantmaaisel kan alleen worden toegevoegd als bijproduct in kleine hoeveelheden; de verhouding tussen koolstof en stikstof is niet goed genoeg voor zelfvergisting.

3.2.1 Biogas opbrengst

Een typische verblijftijd van het inputmateriaal in de vergister is 25-40 dagen (bij een mesofiele vergister⁵). De biogasopbrengst (CH₄+CO₂) is een functie van het inputmateriaal. In onderstaande tabel is de gasproductie van verschillende inputmaterialen weergegeven zowel als hoeveelheid methaan als hoeveelheid biogas. Gasopbrengst verschilt sterk met de precieze samenstelling en versheid van het inputmateriaal en met de verblijftijd. Cijfers zijn daarom slechts een indicatie.

Inputmateriaal	Biogaspotentie in m ³ per ton product ⁹
Keukenafval	110
Gft-afval	100
Fruit perskoek	90
Gras (vers)	72
Gras (gekuild)	115
Groentenafval	72
Runderdrijfmest (vers)	40

Tabel 5 Biogaspotentie van verschillende inputmaterialen

3.3 Kwaliteit en kwantiteit van de output

3.3.1 Biogas

Het biogas dat ontstaat bij vergisting kan, sterk afhankelijk van de manier van vergisten, variëren in exacte samenstelling. De gemiddelde samenstelling is weergegeven in onderstaande tabel. Een hoge concentratie methaan is wenselijk, omdat dit de calorische waarde van het biogas bepaalt. Voor het gebruik van biogas (bijvoorbeeld om op te koken) zijn aangepaste branders nodig. Uit biogas kan in principe ook “groen gas” worden geproduceerd dat te gebruiken is als aardgas, maar dit vereist een extra biogas-opwerkingsinstallatie waarin zwavelcomponenten en CO₂ uit het gas worden verwijderd. Als alternatief kan met een WKK-installatie (warmte-kracht-koppeling) het biogas direct worden omgezet in warmte en elektriciteit.

Het proces kent in een droge vergister een gasopbrengst-piek. In natte vergistingsinstallaties is deze piek er niet omdat dagelijks nieuw materiaal wordt aangevoerd. Als er bij droge vergisting behoefte is aan een homogene gassamenstelling moeten er verschillende vergisters aan elkaar geschakeld worden.

Component	Concentratie
Methaan	45%-75%
Koolstofdioxide	24%-45%
Water	2%-7%
Zwavelwaterstof	20-20.000 ppm
Stikstof	< 2%
Zuurstof	< 2%
Waterstof	< 1%

Tabel 5 Typische samenstelling biogas⁵

De samenstelling van biogas kan variëren met verschillende inputmaterialen. Sommige inputmaterialen bevatten veel zwavel en dan zal de zwavelcomponent in het biogas ook groter zijn. Ook is het CO₂ =gehalte bij de opstartfase van droge vergisting relatief hoog.

3.3.2 Digestaat

Digestaat is de fractie die overblijft na afloop van het vergistingsproces. Digestaat bestaat uit niet-vergistbaar materiaal en dode bacteriën. Het heeft een laag drogestofgehalte. Als het drogestofgehalte tussen 1 en 5% ligt wordt het direct toegepast als verpompbare organische mest. Digestaat uit een droge vergister (DS% 10-15%) is slecht stapelbaar en wordt daarom nabehandeld. Nabehandeling kan bestaan uit drogen (het wordt door verhitting ook gehygeniseerd en dus exporteerbaar). Ook wordt het digestaat (bij plantaardige vergisting) vaak vermengd met een hoeveelheid van het gebruikte inputmateriaal en een tijd in een thermofiele compostingsfase gebracht, waardoor het voldoet aan de regelgeving om als compost verhandeld te mogen worden.

Biologische samenstelling

Als het digestaat een resultaat is van mesofiele vergisting, dient het voordat het geëxporteerd mag worden nog gehygiëniseerd te worden door het minimaal één uur te verwarmen tot 70°C. Hiervoor zijn speciale warmtevizels op de markt beschikbaar. Bijkomend voordeel hiervan is dat het digestaat hierdoor verwerkt wordt tot een dikkere, drogere fractie (30% DS).

Chemische samenstelling

De bemestende waarden van digestaat is ongeveer gelijk aan die van het oorspronkelijke substraat omdat de mineraleninhoud nagenoeg gelijk is aan de input. Doordat de vergisting een groot deel van de organische verbindingen heeft afgebroken en de mineralen zijn vrijgekomen in de oplossing, is digestaat als meststof redelijk snelwerkend.¹⁰

Als het digestaat gescheiden wordt door middel van bijvoorbeeld een warmtevizel, ontstaat er een dikke en een dunne fractie. De dunne fractie kan toegepast worden als stikstofbemesting terwijl de dikke fractie als fosfaatbemesting kan worden toegepast en als aanvoer voor organische stof.

Mest	OS (kg/ton)	N (kg/ton)	P (kg/ton)	K (kg/ton)
Rundveedrijfmest	64	4,1	1,5	5,8
Rundveedrijfmest digestaat	45	4,4	1,8	5,3

Tabel 6 Gemiddelde samenstelling mest en digestaat van rundvee.²

Doordat de organische stof in het digestaat al voor een deel is afgebroken is de organische stof stabiel geworden. Dit wil zeggen dat deze minder makkelijk afbreekbaar is. Hierdoor zal de organische stof uit digestaat redelijk lang bijdragen aan het organische-stofgehalte in de bodem.¹⁰

3.4 Mogelijkheden decentrale toepassing

Voor decentrale toepassing bestaan er zeer kleine vergisters van ca. 50 liter tot 7000 liter inhoud; deze worden microvergisters genoemd. Een voorbeeld zijn vergisters bij restaurantkeukens.¹¹ Er zijn ook grotere, tot enkele honderden m³ inhoud (dit is al een flinke koepel of >10 meter hoge cilinder). Deze verwerken ca. 2 tot 4 ton inputmateriaal per jaar. Ter vergelijking: een industriële grootschalige vergister vergist hoeveelheden in de orde van 100 ton per dag.



Figuur 3 De zeer kleinschalige biovergister op de Fruittuin van West (links) en een grootschalige mestvergister (rechts)

Voor het onderhouden van de zeer kleine vergisters is wel wat ervaring nodig, maar de tijd die er per dag aan besteed moet worden is vrij beperkt. Heel anders is dat voor een vergistingsinstallatie van enkele honderden m³, waarin vaak mest en co-vergistingsproducten worden vergist. Het voeren en onderhouden van deze installaties is een volledige dagtaak¹² vanwege de aankoop van co-vergistingsproducten en omdat er doorgaans op het bedrijf ook elektriciteit mee wordt opgewekt, die op de markt verhandeld wordt.

Schaal	Klein	Middel	Groot
Input	200 liter per jaar	20.000 liter per jaar	20.000+ liter per jaar
Investering	€1.000-€10.000	€10.000+	€10.000+
Kennisniveau	Gevorderd	Specialisme	Specialisme
Oppervlakte	0m ² -10m ²	10m ² -100m ²	100m ² +

Tabel 7 Benodigde investering, kennisniveau en oppervlakte per schaal

Digestaat heeft eenzelfde economische waarde als een andere organische meststof met de zelfde biochemische samenstelling

Op basis van de calorische waarde van aardgas heeft biogas een waarde van zo'n €0,40 per kuub (juni 2017),

4. Factsheet: wormencompostering

Wormencompostering is de afbraak van organisch materiaal onder zuurstofrijke omstandigheden door wormen. Wormencompostering wordt ook wel vermicompostering of vermicultuur genoemd, waar bij het laatste de nadruk ligt op de kweek van de wormen. Het eindproduct van wormencompostering is wormencompost: een stabiele vorm van organisch materiaal dat gebruikt kan worden als meststof en bodemverbeteraar.

4.1 Procesbeschrijving

Tijdens wormencompostering wordt organisch materiaal afgebroken door wormen. De wormen eten het organische materiaal op en scheiden vervolgens uitwerpselen uit; de wormencompost. Voor deze afbraak is zuurstof en vocht nodig. Tijdens de compostering ontstaat warmte en waterdamp. Het eindproduct van compostering is compost: een stabiele vorm van organisch materiaal dat gebruikt kan worden als meststof en bodemverbeteraar.¹³

Een groot verschil met traditionele compostering is dat wormencompostering geen thermofiele fase meemaakt en dat dus de hygiëniserende werking van het proces lager is. De afbraak van pathogenen en onkruidzaden is hierdoor niet gegarandeerd. Door de wormencompost na te composteren kan de hygiënisering verbeterd worden.¹⁴

In de wormencompostbult moet continu genoeg zuurstof en vocht beschikbaar zijn. Wormen ademen via hun huid en daarvoor is het noodzakelijk dat de omgeving vochtig is. Omdat tijdens de wormencompostering de compostbult niet omgezet kan worden, is het van belang dat de bult nat genoeg is en zo nodig van bovenaf extra nat gemaakt wordt. Verder moet de bult bestaan uit zogenaamd beddingmateriaal en uit voedselrijk materiaal. In de praktijk is dit net als bij reguliere compostering koolstof-rijk materiaal en stikstof-rijk materiaal.¹⁵

Er zijn verschillende wormen die organisch materiaal kunnen afbreken. Niet alle wormen zijn echter geschikt om te leven in een omgeving zoals die in een wormencompostering is. Daarom wordt er in de praktijk met de *Eisenia fetida* (de tijgerworm) gewerkt. Deze worm is te koop bij verschillende aanbieders maar kan ook zelf geogst worden uit bestaande compost- of mestbulten.

4.1.1 Procesparameters

In de volgende tabel zijn de procesparameters van wormencompostering weergegeven¹⁵:

Proces parameters:	Streefwaarde:	Opmerking
Zuurstofgehalte in de lucht	>5%	Rekening houden met de openheid van het materiaal, er kan niet gekeerd worden.
Vochtgehalte	70%-90%	Het vochtgehalte moet rond de 80% liggen.
Structuur (deeltjes grootte)	0,5-1,0 cm	De structuur moet open genoeg zijn om lucht in de compost toe te laten maar dicht genoeg om te veel verdamping te voorkomen.
Temperatuur	10°C-30°C	Wormen kunnen minder goed tegen temperaturen boven de 30°C maar kunnen relatief goed tegen vorst.
Zoutgehalte	0,5%	Het zoutgehalte in de totale bult moet lager zijn dan 0,5%.

Tabel 8 Procesparameters wormencompostering

4.2 Reststromen als input

De compostbult moet voor wormencompostering bestaan uit een bedding-materiaal en voedingsmateriaal. Hieronder staan van verschillende bedding- en voedingsmaterialen aangegeven wat hun geschiktheid is.

Bedding materiaal moet in staat zijn om de bult luchtig en open te maken (bulken) maar ook grote hoeveelheden vocht vast te houden:

Bedding-materiaal	Bulk-eigenschappen	Vocht vasthouden
Paardenmest	+	+++
Hooi	--	+
Stro	--	++
Oud papier	++	+
Karton	++	+
Zaagsel	-	-
Bladeren	-	-

Tabel 9 Voor- en nadelen van verschillend bedding-materialen¹⁵

Wormen kunnen de helft van hun eigen lichaamsgewicht aan voedsel opeten per dag. Wormen eten bijna al het organisch materiaal. Hieronder is aangegeven welke materialen geschikt zijn als voedsel.

Voedselmateriaal	Voordelen	Nadelen
Koeienmest	“Natuurlijke” voeding voor de worm, voedselrijk.	Mogelijk besmet met onkruidzaden.
Kippenmest	Rijker in stikstof dan koeienmest.	Te veel stikstof kan resulteren in hoge temperaturen in de compostbult.
Voedselresten	Goed en goedkoop voedsel, goed vochtgehalte.	Niet homogeen, veel vet in de voedselresten kan resulteren in zuurstofloze omstandigheden, voor-composteren vereist.
Veevoer	Goed gebalanceerd voer, kan biologisch worden aangekocht.	Veevoer is vaak gepelletiseerd en daardoor droog.
Verlijmd karton	De lijm bestaat voor een groot deel uit zetmeel en eiwit en is dus goed voedsel.	Moet geshred of voorgeweekt worden.

Tabel 10 Voor- en nadelen van verschillende voedselmateriaal¹⁵

Om een vermicompostering op te zetten wordt organisch materiaal op rillen gezet. Hierbij kan het voedsel ofwel gemengd worden met het beddingmateriaal of als laag op het beddingmateriaal aangelegd worden. Belangrijk is dat de rillen niet hoger dan één meter worden zodat de ril niet compact wordt onder haar eigen gewicht.

Net als bij reguliere compostering wordt de samenstelling van de bult zo gekozen dat er een bepaalde C:N-ratio (koolstof:stikstof verhouding) behaald wordt. Bij wormencompostering moet deze C:N ratio zo'n 20:1 zijn.¹⁶

4.3 Kwaliteit en kwantiteit van de output

Door de CO₂-uitstoot van de wormen en micro-organismen gaat er relatief veel koolstof verloren tijdens de compostering (tot zo'n 50%). Dit is lager dan bij reguliere compostering omdat de temperaturen lager zijn. Maar dit resulteert toch in een aanzienlijk verlies in totale massa (tot zo'n 50%). Bij wormencompostering gaat er echter minder stikstof en andere nutriënten verloren door vervlieging of uitspoeling.¹⁷

Om de bemestende waarde van de compost te meten kan deze chemisch geanalyseerd worden. In Nederland is er een aantal laboratoria die dergelijke analyses aanbieden. Om de biologische en fysische waarde van compost te bepalen, kan er gebruik gemaakt worden van verschillende beoordelingsmethoden.

Doordat wormen het materiaal omzetten en door vochtverlies gaat zo'n 50% van het volume van de input verloren.

In de volgende tabel is de chemische samenstelling voor verschillende composten weergegeven.

Compost	Organische stof in kg / ton	Stikstof (N kg / ton)	Fosfaat (P ₂ O ₅ kg / ton)	Kalium (K ₂ O kg / ton)	C:N ratio
Wormencompost ¹⁸	320	8,7	0,2	1,6	21:1
GFT-Compost ¹⁹	242	12,8	6,3	11,3	11:1
Groencompost ²	179	5,0	2,2	4,2	20:1

Tabel 11 Typische samenstelling compost soorten

4.3.1 Toepassing

Doordat de bemestende waarde van (wormen)compost sterk afhangt van hoe makkelijk de compost verteerd wordt, is jaarlijkse aanvoer van compost aangeraden. Door veel organisch gebonden mineralen in de bodem aan te brengen ontstaat na verloop van een tijd een dynamiek in de bodem waarbij planten continu nutriënten tot hun beschikbaarheid hebben. Bovendien fungeert compost als voedsel voor het bodemleven. Hiermee zorgt compost, samen met de fysische eigenschappen van organische stof, voor een betere bodemstructuur.

4.4 Mogelijkheden decentale toepassing

Organisch materiaal kan door middel van een wormencomposter op grote en kleine schaal verwerkt worden tot wormencompost.

Op grote schaal kunnen grofweg drie systemen onderscheiden worden; wormencompostering op rillen zoals bij reguliere compostering waarbij het beddingmateriaal en het voedsel gemengd worden; wormencompostering op rillen waarbij het beddingmateriaal continu bedekt wordt met vers voedsel; en wormencompostering in bakken, waarbij ofwel het beddingmateriaal en voedsel gemengd worden ofwel er een continue toevoer van voedsel op het beddingmateriaal is.¹⁵ Door organisch materiaal op deze manieren te composteren door middel van wormen, zijn in principe alle mogelijk denkbare volumes te behalen.

Op kleinere schaal kan er met wormen gecomposteerd worden in hiervoor speciaal ontwikkelde bakken. Deze systemen hebben vaak een volume van zo'n 150 tot 200 liter. Vaak bestaan de systemen uit verschillende lagen om zo hanteerbare groottes te realiseren.



Figuur 4 Een wormencompostering op een ril (links) en een compleet wormencompost-systeem (rechts)

Schaal	Klein	Middel	Groot
Input	200 liter	5m ³	10m ³
Investering	0-1.000	€1.000-€10.000	€10.000+
Kennisniveau	Basiskennis	Specialisme	Specialisme
Oppervlakte	0m ² -10m ²	10m ² -100m ²	100m ² +

Tabel 12 Benodigde investering, kennisniveau en oppervlakte per schaal

Wormencompost heeft een waarde van zo'n €25-€50 per kuub.

5. Factsheet: Insectenkweek (Black Soldier Fly)

In deze factsheet wordt de kweek van de black soldier fly larvae (BSFL) beschreven. Dit insect wordt veel gekweekt op organische reststromen en is bovendien relatief eenvoudig te kweken terwijl ze het een gunstige samenstelling heeft om bijvoorbeeld te dienen als veevoer.

5.1 Procesbeschrijving

De levenscyclus van de Black Soldier Fly bestaat uit eitjes, larven, poppen en de vlieg zelf. Een vrouwtje legt zo'n 320 tot 1000 eitjes. Zowel de larven als de vliegen voeden zich met organisch materiaal. Kort nadat een vrouwtje eitjes heeft gelegd, sterft zij. De eitjes komen, afhankelijk van de temperatuur, uit in drie tot vier dagen. De larven eten zich vervolgens zo'n vier weken vol alvorens zij zich ontwikkelen tot pop. Kort voordat de larf zich tot pop ontwikkelt, eet deze zichzelf (van nature) een weg naar de oppervlakte van het substraat waarin gekweekt wordt. Dit heeft als voordeel dat er niet naar de poppen gezocht hoeft te worden. In de teelt van de Black Soldier Fly is dit het moment waarop de kweek voltooid is; de eiwit- en vetrijke poppen kunnen geogst en eventueel gedroogd worden voordat ze gebruikt worden als diervoeder. Als ook de productie van de eitjes in eigen beheer gerealiseerd wordt, moet een aantal poppen verzameld worden om deze op te kweken tot vliegen, zodat de cyclus opnieuw gestart kan worden. De pop-fase duurt een week en in vier dagen komen de vliegen uit en planten zich voort.²⁰

5.1.1 Procesparameters

De BSFL eet het beste bij 35°C. Bij 10°C verliest de larve enige activiteit. De streefwaarden voor het verpoppen beginnen bij 25°C en eindigen bij 30°C. De luchtvochtigheid moet tussen de 30% en 90% zijn met een optimum van 70%. Een lagere luchtvochtigheid resulteert in uitdroging van de larven en dus in gewichtsafname. De larven moeten maximaal 22 cm diep in het substraat aangebracht worden, lager resulteert in afname van biologische activiteit van de larve. Het substraat moet ten alle tijd aerobisch blijven²¹.

5.2 Reststromen als input

Het eiwitgehalte in het substraat waarop de larven groeien moet voor een optimale groei rond de 15% liggen. De larven kunnen zich voeden met een grote diversiteit aan reststromen, zoals gft-afval, kippen-, varkens-, en koeienmest en koffiepulp (de resten van de verse koffiebonen nadat de pit – de koffieboon – daaruit verwijderd is). Dat de kweek van BSFL op koffiepulp bewezen succesvol is, suggereert dat dit ook op koffieprut zou kunnen. In tabel 12 is het ruwe-eiwit-gehalte gegeven van verschillende materialen die als basis voor het substraat kunnen dienen.

	Bierbostel ²²	Suikerbietpulp	Kippenvoer ²³	Digestaat	Groenteafval ²³	Restaurantafval ²³	Koffieprut ²⁴
Ruw eiwit (in % DS)	31,2	8,5	17,5	24,6	8,6	15,7	13,6

Tabel 13 Eiwitgehalte verschillende substraten

Bij het maken van het substraat moet erop gelet worden dat het drogestofgehalte van het substraat rond de 25% moet liggen en dat hiermee het ruw-eiwit-gehalte van het substraat aanzienlijke lager ligt dan het inputmateriaal zoals weergegeven in tabel 12.

Als de BSFL gebruikt worden als diervoeding, moet in acht worden genomen dat er strenge regulering is betreffende het voeren van dieren met dierlijke eiwitten. Er zijn diverse restricties in het inzetten van dierlijke eiwitten als diervoeder met het oog op het risico van verspreiding van dierziektes.²⁵

5.3 Kwaliteit en kwantiteit van de output

De kwaliteit en chemische compositie van de BSFL is sterk variabel en is afhankelijk van het type substraat. Een hoger eiwitgehalte in het substraat lijkt te resulteren in een hoger netto eiwitgehalte in de larve. In tabel 13 is weergegeven hoe de chemische samenstelling van BSFL eruit ziet bij verschillende substraten.

	Bierbostel ²²	Suikerbiet-pulp ²²	Kippen-voer ²³	Digestaat ²³	Groente-afval ²³	Restaurant-afval ²³
DS%	30,2	17,9	38,7	38,6	41,0	38,1
RE/DS	44,6	52,3	41,2	42,2	39,9	43,1
RE/product	13,5	9,4	15,9	15,4	16,4	16,4
Vet/DS	38,6	3,4	33,6	21,8	37,1	38,6
Vet/product	11,7	0,6	13,0	8,4	15,2	14,7

Tabel 14 Chemische samenstelling BSFL gekweekt op verschillende substraten

5.3.1 Toepassing

De BSFL kan gebruikt worden als kippenvoer zodra deze in de popfase van zijn levenscyclus is beland. De pop kan ofwel vers gevoerd worden of eerst gedroogd worden. Een voordeel van het drogen is dat de pop hierbij afsterft en zich dus niet meer tot vlieg ontwikkelt. Ook is de pop hiermee langer te bewaren. Gedroogde poppen kunnen ook tot meel gemalen worden. Op dit moment echter is de wetgeving juist op het gebied van het drogen beperkend.

5.4 Mogelijkheden decentrale toepassing

Op kleine schaal is het kweken van de BSFL goed mogelijk. Op internet zijn er verschillende kant-en-klare oplossingen beschikbaar maar ook eenvoudige handleidingen om zelf kweekbakken te maken van emmers en pvc-pijpen.

Schaal	Klein	Middel	Groot
Input	2 kg per dag	10 kg per dag	250 kg per dag
Investering	€-€1.000	€0-€1.000	€10.000+
Kennisniveau	Basis	Gevorderd	Specialisme
Oppervlakte	0m2-10m2	0m2-10m2	10m2-100m2

Tabel 15 Benodigde investering, kennisniveau en oppervlakte per schaal

BSFL vertegenwoordigen een waarde van zo'n €2 tot €3 per kg; verwerkt tot meel kan dit oplopen tot €3 tot €9.²⁶

Het substraat kan worden afgezet als een compost-achtig product. De waarde van laagwaardige compost zoals GFT-compost ligt rond de €4 per ton.²⁷

6. Factsheet: Paddenstoelenkweek

Er zijn veel verschillende paddenstoelen (vruchtlichamen van schimmels) waarvan een deel gebruikt kan worden voor humane voeding. Deze paddenstoelen zijn weer onder te delen in saprofytisch (schimmels die leven van de afbraak van organisch materiaal), symbiotisch (schimmels die in symbiose met planten leven) en parasitair (schimmels die leven van levend organisch materiaal). In deze factsheet richten wij ons op de saprofyten.

Schimmels, en daarmee paddenstoelen, laten zich kweken op een breed scala aan substraten. Om relevant te blijven in het kader van stadslandbouw is er hier gekozen voor een beschrijving van de kweek van paddenstoelen op substraten die samengesteld kunnen worden met in de stadslandbouw veel voorkomende materialen. Deze paddenstoelen zijn de oesterzwam, de shiitake en de bietenputzwam.

6.1 Procesbeschrijving

Door gesteriliseerd materiaal te inoculeren (enten) met sporen van een bepaalde schimmel wordt de kweek van de paddenstoelen opgestart. Nadat deze sporen ontkiemen ontstaat er mycelium (schimmeldraden) waarop zogenaamde pinheads ontstaan waaruit de paddenstoelen groeien.

Saprofytische paddenstoelen breken organisch materiaal af door middel van oxidatie. Hoewel meerdere organismen cellulose, hemicellulose en keratine kunnen afbreken, kunnen schimmels als een van de weinige organismen ook lignine afbreken. Paddenstoelen worden ook vaak gekweekt op organische stof met een hoog lignine-gehalte, denk hierbij aan bijvoorbeeld stro en hout.

6.1.1 Procesparameters

In de volgende tabel zijn de procesparameters van paddenstoelenkweek weergegeven:

Procesparameters:	Shiitake:	Oesterzwam:	Bietenputzwam:
Incubatie-temperatuur	24°C -27°C ²⁹	20°C -22°C ³⁰	21°C-27°C ²⁸
Vruchtzetting-temperatuur	15°C ²⁹	15°C-18°C ³⁰	16°C-21°C ²⁸
Luchtvochtigheid	90% ²⁹	85%-95% ³⁰	70%-98% ²⁸
Substraat	Hardhout-stronken, geperste zaagselblokken. ²⁹	Koffieprut, zaagsel, stro, oud papier. ²⁹	Houtsnippers ²⁹ , boomstammen, zaagsel.
C:N ratio	25:1 ³⁰	32:1 – 600:1 (bij stammenkweek) ³¹	n.b.

Afhankelijk van het type paddenstoel verschilt de teeltmethode. Generiek voor alle soorten is het bestaan van drie fasen: inoculeren, de groei van het mycelium en de vruchtzetting van de paddenstoelen zelf. De vruchtzetting wordt altijd geïntroduceerd door kou of waterstress te veroorzaken bij de schimmel. Dit wordt gedaan door of de temperatuur te verlagen, of door bijvoorbeeld de boomstammen waarop de schimmel

groeit voor enkele uren tot een dag in koud water te laten drijven. Bij de kweek van een paddenstoel moet altijd gezocht worden naar een goede teelthandleiding.

6.1.2 Voorbeeld substraatrecept

In de onderstaande tabel is een voorbeeld gegeven van een substraatrecept dat gebruikt kan worden voor de meeste paddenstoelen.

Substraat A ³⁰	Hoeveelheid in kg	Substraat B ³⁰	Hoeveelheid in %	Substraat C	Hoeveelheid in % ³²
Zaagsel	100	Koffieprut	29	Koffieprut	92
Zemelen	25	Stro	50	CaCO ₃	5,5
Gips (CaSO ₄)	2,5	Zemelen	20	Koffieschilletjes	2.5
Monocalciumfosfaat	0,5	Gips (CaSO ₄)	1		
Suiker	1,5				
Water	140	Met vochtgehalte	65	Met vochtgehalte	65

Tabel 16 Typische substraat-samenstellingen voor de teelt van verschillende paddenstoelen

Nadat het substraat is samengesteld door middel van bijvoorbeeld een betonmolen, wordt het substraat in hitte-resistente plastic zakken gedaan. Vervolgens worden deze zakken in een klimaatkamer gebracht waar de temperatuur voor twee uur op 121°C gebracht wordt. Voor kleinere toepassing kunnen de zakken ook in bijvoorbeeld een snelkookpan gestoomd worden.

6.2 Reststromen als input

Producten als koffieprut, stro, houtstammen en olifantengras kunnen goed gebruikt worden als substraatmaterialen. Met name koffieprut is hierin een laagwaardige reststroom die op deze manier hoogwaardig ingezet kan worden.

Substraat	C:N	Opmerkingen
Stro	150:1	Stro kan het best versnipperd worden voor de werkbaarheid.
Koffieprut	20:1	15 minuten koken om cafeïne en tannine te extraheren
Houtstammen	250:1	Voor de buitenteelt van shiitake
Verpoederd olifantsgras	80:1	De deeltjesgrootte van het gras moet rond de 3 mm zijn.

Tabel 17 Inputmateriaal substraat paddenstoelenteelt

Additief	Opmerking
Gips (CaSO ₄)	Gips bestaat voor een deel uit zwavel en dient als meststof.
Melasse	Melasse bestaat uit suikers en mineralen en dient als meststof.
Zemelen	Zemelen en andere zetmeelrijke producten dienen als meststof.
Suiker	Suiker dient als meststof.
Monocalciumfosfaat	Monocalciumfosfaat is een fosfaatmeststof.

Tabel 18 Inputmateriaal additief

6.3 Kwaliteit en kwantiteit van de output

Het voornaamste product van de teelt van paddenstoelen zijn de paddenstoelen zelf. De kwaliteit van de paddenstoelen wordt bijna volledig bepaald door gunstige omstandigheden tijdens de kweek. Hoewel er in deze factsheet een aantal van deze procesparameters beschreven wordt, is het aangeraden om bij de teelt van specifieke paddenstoelen een voor dat type paddenstoel geschreven handboek te gebruiken om de teelt optimaal te laten verlopen.

6.3.1 Toepassing

Nadat de teelt van de paddenstoelen is voltooid, kan het substraat verwerkt worden tot een organische meststof. Deze meststof wordt veelal champost genoemd omdat het product erg lijkt op compost. De champost die vrijkomt uit de reguliere champignonenteelt in Nederland is rijk aan organische stof en bevat relatief veel fosfaat ten opzichte van de stikstof.

Compost	Organische stof in kg / ton	Stikstof (N kg / ton)	Fosfaat (P ₂ O ₅ kg / ton)	Kalium (K ₂ O kg / ton)	C:N-ratio
Gft-compost	242	12,8	6,3	11,3	11:1
Groencompost	179	5,0	2,2	4,2	20:1
Champost	211	7,6	4,5	10,0	15:1

Tabel 19 Typische samenstelling compostsoorten³³

De samenstelling van champost die vrijkomt uit paddenstoelenteelt waarbij niet gebruik gemaakt wordt van het min of meer standaard substraat dat gebruikt wordt in de champignonenteelt kan sterk variëren van deze standaardcijfers. De samenstelling van champost kan geanalyseerd worden door laboratoria zoals Eurofins Agro te Wageningen of Koch Eurolab te Deventer.

6.4 Mogelijkheden decentrale toepassing

Paddenstoelen zijn op veel verschillende schaalgroottes te telen. De kleine schaal bestaat uit kant en klare kweekpakketten die enkel bevochtigd hoeven te worden of waar alleen koffieprut aan toegevoegd

moet worden. Deze pakketten zijn gericht op consumenten die daarmee thuis paddenstoelen kunnen kweken.

Als er op commerciële schaal gekweekt wordt, is er een splitsing te maken tussen binnen- en buitenteelt. Buiten wordt er met namen op boomstammen gekweekt. In deze teelt is het belangrijk dat de stammen in een schaduwrijke omgeving staan zodat deze niet uitdrogen. Verder is het van belang dat de stammen in hun totaliteit in het water gedompeld kunnen worden; een vijver of een groot bad kan hier goed voor gebruikt worden.



Figuur 5 Een kant en klaar kweekpakket voor koffieprut (links) en commerciële kweek op stammen (rechts).

De intensievere teelt vindt binnen plaats. Hierbij worden alle randvoorwaarden, luchtvochtigheid, temperatuur, licht, substraat en bemesting, optimaal op elkaar afgestemd om een zo hoog mogelijke opbrengst te behalen. Om hogere productie te behalen, wordt het substraat eerst gesteriliseerd in een autoclaaf (een ontsmettingsmachine waarin de druk en temperatuur met stoom voor langere tijd hoog gehouden worden) en worden de paddenstoelen zelf in klimaatkamers geteeld.



Figuur 6 Het ontsmetten van substraat in een autoclaaf (links) en de intensieve teelt van oesterzwammen in plastic zakken vol substraat (rechts).

Omdat de schimmel koolstof oxideert komt er tijdens de teelt van paddenstoelen CO₂ vrij. Om het CO₂-gehalte in de klimaatkamers niet te hoog op te laten lopen, dienen deze geventileerd te zijn. Omdat licht, naast koolstof, een energiebron voor paddenstoelen is, moet in de klimaatkamers licht aanwezig zijn.

Schaal	Klein	Middel	Groot
Input	0 kg-10 kg	100 kg-1.000 kg	1.000 kg +
Investering	€0-€1.000	€1.000-€10.000	€10.000+
Kennisniveau	Basiskennis	Gevorderd	Specialisme
Oppervlakte	0m ² -10m ²	10m ² -100m ²	10m ² -100m ²

Tabel 20 Benodigde investering, kennisniveau en oppervlakte per schaal

Hoewel er weinig wetenschappelijke literatuur beschikbaar is over de opbrengsten van shiitakes en andere paddenstoelen in de substraatteelt wordt aangenomen dat er ongeveer 10% paddenstoelen geogst kunnen worden op basis van het gewicht van het substraat. Afhankelijk van het soort vertegenwoordigen paddenstoelen een waarde van zo'n €15-€20 per kilogram.

Champost vertegenwoordigt een waarde van ca. 5 euro per ton²⁷.

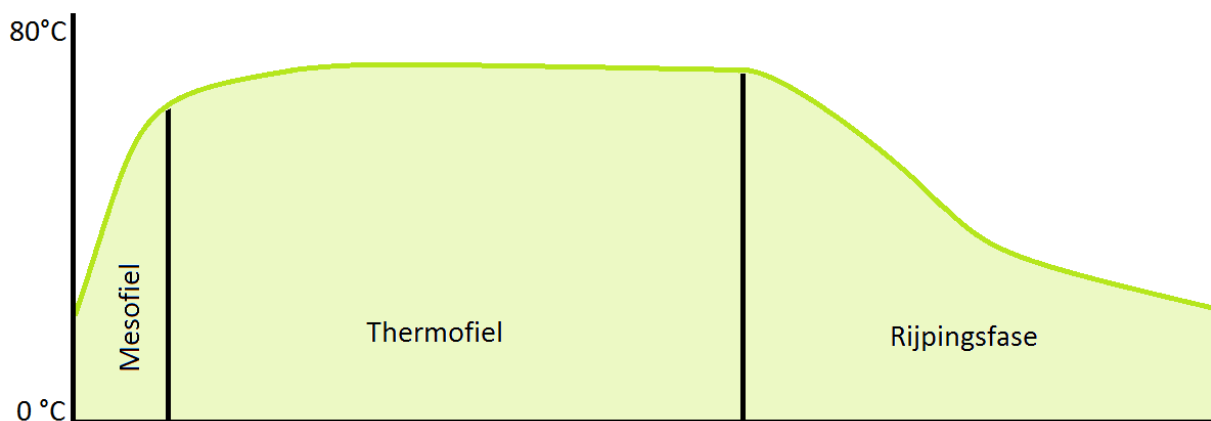
7. Factsheet: Biomeiler

Compostering is de afbraak van organisch materiaal onder zuurstofrijke omstandigheden door micro-organismen. Het eindproduct van compostering is compost: een stabiele vorm van organisch materiaal dat gebruikt kan worden als meststof en bodemverbeteraar.

7.1 Procesbeschrijving

Het biomeiler-proces is in principe hetzelfde proces als het composteringsproces, alleen is de compostbult zo ingericht dat er uit het proces warmte gewonnen kan worden. Onder zuurstofrijke omstandigheden wordt organisch materiaal geoxideerd. Voor deze compostering van organisch materiaal is zuurstof en vocht nodig. Bij de compostering komt CO₂ vrij, en energie in de vorm van warmte en waterdamp. Ook zal er enige vorm van emissie plaatsvinden van stikstof- en fosfaatverbindingen.

Gedurende de compostering kan de temperatuur in de biomeiler flink oplopen, al snel na het opzetten. De opstartfase, met temperaturen tot zo'n 50°C, wordt de mesofiele fase genoemd. Boven deze temperatuur spreekt men van de thermofiele fase.



Figuur 7 Biomeiler-proces

In deze thermofiele fase kan de warmte die vrijkomt gewonnen worden door water door de buizen heen te pompen. De "overtollige" warmte wordt hiermee afgevoerd en hiermee wordt voorkomen dat de compost zo warm wordt dat de micro-organismen afsterven. Hierdoor kan de thermofiele fase aanzienlijk worden verlengd. De warmte kan worden gebruikt voor bijvoorbeeld de verwarming van een woonhuis of bedrijfsgebouw. Uit pilots met biomeilers blijkt dat wel tot een jaar lang warmte kan worden gewonnen.

7.1.1 Procesparameters

In de volgende tabel zijn de procesparameters van een biomeiler-proces weergegeven³⁴:

Procesparameters:	Streefwaarde:	Opmerking
Zuurstofgehalte in de lucht	>5%	Omzetten niet mogelijk, let dus op bij het samenvoegen van het materiaal dat de structuur open blijft.
Vochtgehalte	50%-60%	Het vochtgehalte moet rond de 60% liggen.
Structuur (deeltjesgrootte)	1,0 – 2,0 cm	Het inputmateriaal van een biomeiler moet grover van structuur zijn omdat de biomeiler zwaar is en lang in gebruik is. Gedurende deze periode moet het materiaal makkelijk luchtdoorlatend zijn.
Temperatuur	50°C-60°C	Temperaturen boven de 60°C remmen de microbiële activiteit. Temperaturen onder de 40°C zorgen voor slechte hygiënisering.
C:N-ratio	30:1 – 20:1	De C:N-ratio moet tussen de 20:1 en 30:1 liggen om een optimale compostering met zo veel mogelijk vastlegging van stikstof te realiseren. Om de periode waarin de biomeiler warmte produceert te verlengen kan een materiaal gekozen worden met een hogere C:N, let dan wel op dat er voldoende stikstof toegevoegd wordt.

Tabel 21 Procesparameters compostering in biomeiler

De biomeiler is niet goed te keren of te mixen. Door hierop te anticiperen met het inputmateriaal kan ervoor gezorgd worden dat er voor langere tijd een goede luchtdoorlaatbaarheid is.

7.2 Reststromen als input

Voor een biomeiler gelden dezelfde eisen aan het inputmateriaal als voor gewone compostering. Er moet echter rekening mee gehouden worden dat de biomeiler voor langere tijd zal staan en er zal dus een grote hoeveelheid koolstof beschikbaar moeten zijn. Omdat het inputmateriaal in een biomeiler hierdoor uit voornamelijk houtsnippers bestaat, zal er voldoende stikstofhoudend materiaal moeten worden toegevoegd om een koolstof-stikstof-verhouding (C:N ratio) van 30:1 te verkrijgen.

Materiaal	C:N ratio
Bladmateriaal	30:1 – 80:1
Stro	40:1 – 150:1
Houtsnippers	100:1 – 500:1
Zaagsel	200:1 – 700:1
Dierlijke mest	5:1 – 20:1
gft-afval	30:1 – 40:1
Groente-afval	10:1 – 20:1
Koffieprut	20:1
Grasmaaisel	15:1 – 25:1

Tabel 22 Typische C:N-verhouding van veel gebruikte compost-inputmaterialen³⁵.

7.3 Kwaliteit en kwantiteit van de output

Door de CO₂-uitstoot van de micro-organismen gaat er relatief veel koolstof verloren tijdens de compostering (tot zo'n 65%). Dit resulteert in een aanzienlijk verlies in totale massa (tot zo'n 50%). Door vervliesing en uitspoeling gaan er bovendien nutriënten verloren (tot zo'n 30% van de totale NPK).

Om de bemestende waarde van de compost te meten kan deze chemisch geanalyseerd worden. In Nederland zijn er verscheidene laboratoria die dergelijke analyses aanbieden. Om de biologische en fysische waarde van compost te bepalen kan er gebruik gemaakt worden van verschillende beoordelingsmethoden.

In de volgende tabel is de chemische samenstelling van verschillende composten weergegeven.

Compost	Organische stof in kg / ton	Stikstof (N kg / ton)	Fosfaat (P ₂ O ₅ kg / ton)	Kalium (K ₂ O /ton)	C:N-ratio kg
Gft-compost	242	12,8	6,3	11,3	11:1
Groencompost	179	5,0	2,2	4,2	20:1
Champost	211	7,6	4,5	10,0	15:1

Tabel 23 Typische samenstelling compostsoorten²⁷

De stikstof in compost is voor 90% aanwezig in organisch gebonden vorm. Dit betekent dat de compost eerst afgebroken moet worden door het bodemleven voordat deze stikstof beschikbaar komt voor de plant. Hoe lager de C:N-ratio is, hoe sneller deze afbraak plaatsvindt. Gemiddeld zal per jaar 10% van de aangevoerde stikstof beschikbaar komen voor de planten.

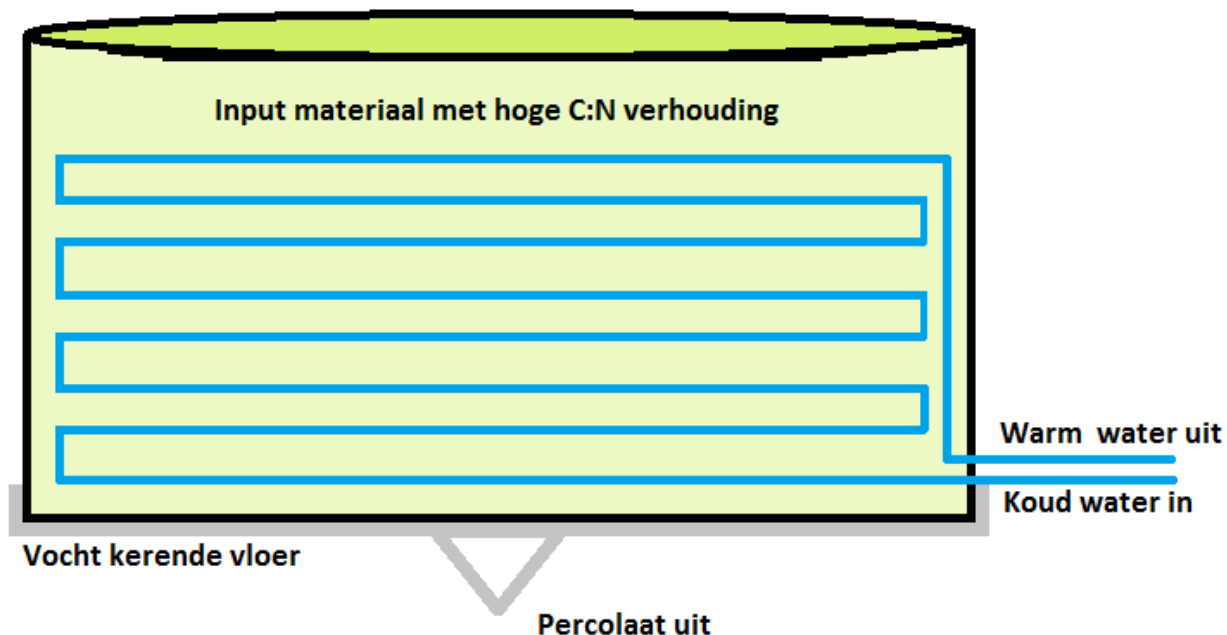
Compost die gedurende het composteringsproces te warm geworden is en hierdoor verast is, zal grijs zijn van kleur. De geur van de compost is een goede indicator voor de kwaliteit van het composteringsproces. Een goede compost ruikt naar humusrijke grond, zoals bosgrond. Van een compost die zurig ruikt of zelfs naar rotte eieren is het composteringsproces niet goed verlopen.

7.3.1 Toepassing

Doordat de bemestende waarde van compost sterk afhangt van hoe makkelijk de compost verteerd wordt, is jaarlijkse aanvoer van compost aangeraden. Door veel organisch gebonden mineralen in de bodem aan te brengen ontstaat na verloop van een tijd een dynamiek in de bodem waarbij planten continu nutriënten tot hun beschikbaarheid hebben.

7.4 Mogelijkheden decentrale toepassing

Een biomeiler heeft al snel een redelijk grote omvang. Om genoeg warmte te kunnen creëren moet de biomeiler uit voldoende massa bestaan. Een gemiddelde biomeiler is zo'n 2,5 meter hoog en heeft een doorsnee van 8 meter. Hiermee heeft de Biomeiler een inhoud van 125 kuub.



Figuur 8 Schematische weergaven biomeiler

Over biomeilers zijn nog geen wetenschappelijke artikelen verschenen. Dit maakt het moeilijk om uitspraken te doen over opbrengsten, rendement en de samenstelling van de compost die uiteindelijk vrijkomt uit het biomeiler-proces. In Nederland is de Stichting Biomeiler Nederland actief in het opbouwen van en experimenteren met biomeilers.

Op basis van typische samenstellingen van compost waarin de voornaamste input uit hout bestaat, mag verwacht worden dat de compost uit de Biomeiler relatief rijk is aan organische stof en relatief arm aan stikstof. De werking van de biomeiler-compost op de bodem is gelijk aan die van gewone compost.

Schaal	Klein	Middel	Groot
Input	23 m ³ houtsnippers	110 m ³ houtsnippers	176 m ³ houtsnippers
Investering	€0-€1.000	€1.000-€10.000	€1.000-€10.000
Kennisniveau	Basiskennis	Gevorderde kennis	Gevorderde kennis
Oppervlakte	0m ² -10m ²	10m ² -100m ²	10m ² -100m ²

Tabel 24 Benodigde investering, kennisniveau en oppervlakte per schaal

Door de compostering gaat een deel van de inputmassa verloren; dit varieert tussen de 50%³⁶ en 20%³⁷. Aangenomen wordt dat er bij compostering zo'n 40% verlies optreedt op gewichtsbasis.

De compost uit de biomeiler heeft als input houtsnippers en is dus een relatief hoogwaardige compost die vergelijkbaar is met groencompost. Groencompost heeft een waarde van €5.- per ton³⁸

De hoeveelheid energie die in de vorm van warmte vrijkomt bij het biomeiler-proces is tot nu toe slechts theoretisch te benaderen. In experimenten met stro werd tussen de 17,6 MJ en 12,8 MJ per kilogram waargenomen.³⁹ Omdat er geen literatuurwaarden beschikbaar zijn over de energieopbrengst van de compostering van hout, wordt er verder gerekend met de waarden van stro.

Niet alle energie die vrijkomt, komt beschikbaar als warme lucht. Doordat er veel energie gaat zitten in de verdamping van vocht, is slechts 13,4%⁴⁰ van alle vrijgekomen energie in de luchtstroom beschikbaar.

De theoretische energie-opbrengst van een biomeiler van 60m³ houtsnippers met een soortelijk gewicht van 0,225 is circa 237.000 MJ ofwel 66.000 kWh. Hiervan is zo'n 8600 kWh te winnen uit de luchtstroom. De overige energie kan gewonnen worden door de waterdamp te doen neerslaan. Afhankelijk van hoe efficiënt dit gebeurt kan het rendement dus verhoogd worden.

De Stichting Biomeiler heeft berekend zo'n 24.000 kWh te kunnen winnen met een biomeiler van 60m³ houtsnippers. Hiermee wordt dus een rendement van zo'n 36% behaald.

Bij de verbranding van aardgas komt 35,17 MJ (9,7 kWh) per m³ vrij endit kost 75 cent⁴¹.

8. Factsheet: Opslag organisch materiaal

Omdat het aanbod van organische reststromen door het jaar heen niet noodzakelijk gelijk is aan de vraag voor het voeden van verwerkingsprocessen, bestaat de mogelijkheid dat organisch materiaal tijdelijk opgeslagen moet worden. Afhankelijk van het materiaal dat opgeslagen dient te worden, zijn er verschillende mogelijkheden.

8.1 Procesbeschrijving

Het opslaan van organisch materiaal is in feiten het stabiliseren van het organische materiaal. Dit komt neer op het aanpassen van het milieu waarin het zich bevindt. In de praktijk betekent dit dat het milieu zodanig moet zijn dat het materiaal niet nat genoeg is om te composteren, niet warm genoeg is om te vergisten en zuur genoeg is om niet te verrotten. Afhankelijk van het te bewaren materiaal, wordt het materiaal luchtdicht opgeslagen in tanks, ingekuuld of gedroogd.

	Opslag in tanks	Inkuilen	Drogen
Mogelijk producten:	-Drijfmest -Eiwit/suikerrijke sapstromen	-Gras -Mais -Fijn snoeiafval	-Stro -Grof snoeiafval
Mogelijke knelpunten:	Als de vloeistof zelf-vergistend is en de temperatuur hoger wordt dan 20 °C wordt het materiaal instabiel.	Organische materiaal met een te hoog eiwit gehalte, laat zich slecht inkuilen omdat de eiwitten als buffer werken op de verzuring. ⁴²	Als de droging niet snel genoeg gaat, kan het materiaal gaan broeien en spontaan ontbranden.
Opslag voor:	Natte vergisting	Droge- of natte vergisting of compostering.	Compostering
Temperatuur	50°C-60°C	Temperaturen boven de 60°C remmen de microbiële activiteit. Temperaturen onder de 40°C zorgen voor slechte hygiënisering.	
C:N-ratio	30:1 – 20:1	De C:N-ratio moet tussen de 20:1 en 30:1 liggen om een optimale compostering met zo veel mogelijk vastlegging van stikstof te realiseren.	

Tabel 25 Verschillende opslagmethoden

De opslag van vloeistoffen, zoals eiwit- of suikerrijke sapstromen, kan goed plaatsvinden in afgesloten tanks. Belangrijk is dat de temperatuur van het materiaal niet te hoog wordt; zelf-vergistende organische materialen zullen hierdoor namelijk beginnen te vergisten wat resulteert in koolstofverlies of zelfs methaan-vorming. Een zwarte tank op een zon-rijke plek zetten, is dus afgeraden.

Door organische materialen als gras in te kuilen, kunnen deze stromen het jaar rond bewaard worden. Inkuilen wordt gedaan door organisch materiaal in lagen op elkaar te stapelen en deze bult continu te verdichten door deze aan te rijden met bijvoorbeeld een trekker, of op kleinere schaal door bijvoorbeeld het eigen lichaamsgewicht. Doordat op deze manier het materiaal zuurstofloos wordt, krijgen melkzuurbacteriën de kans melkzuur te ontwikkelen waardoor het materiaal zo zuur wordt, dat het stabiel opgeslagen wordt. Melkzuurbacteriën houden van warmte; door het materiaal af te dekken met zwart zeil of op te slaan in zwarte bakken, verloopt de verzuring extra snel en goed.

Materialen als stro of grof snoeiafval kunnen goed gedroogd worden en zo stabiel worden opgeslagen. Belangrijk hierbij is wel dat het vochtgehalte niet voor langere tijd hoger is dan zo'n 20% omdat hierdoor broei en uiteindelijk zelfontbranding kan ontstaan. Dit wordt voorkomen door het hooi bijvoorbeeld te schudden voordat dit geperst wordt, snoeiafval een keer te draaien zodat het goed droogt, en de materialen droog op te slaan.

8.2 Kwaliteit en kwantiteit van de output

Bij de opslag van nat materiaal in tanks kan gasvorming optreden als de temperatuur te hoog wordt. Hierbij worden suikers, vetten en eiwitten omgezet in CO₂ of methaan. Hierdoor gaat een deel van koolstof verloren.

Bij inkuilen gebruiken de melkzuurbacteriën energie om melkzuur te produceren. Ook kan er, bij materiaal dat erg nat is (minder dan 30% drogestof), vocht verloren gaan wat vrijkomt bij de omzetting van het organische materiaal en wat door de grote druk in kuil weglekt. Ook kan er bij het begin van het inkuilproces gas ontstaan als de temperatuur te snel oploopt ten opzichte van de zuurtegraad. Hierbij gaat een deel van de koolstof verloren.ⁱ

Bij het droog opslaan van materiaal gaat er weinig materiaal verloren. Als de droging niet snel genoeg verloopt en broei ontstaat, of als het materiaal zo nat was dat er compostering heeft plaats gevonden, gaat een deel van de koolstof verloren.

8.3 Mogelijkheden decentrale toepassing

De opslag van vloeistoffen kan plaatsvinden in speciaal daarvoor ontwikkelde tanks of in meer mobiele opslag als tonnen, vaten of IBC-tanks. Belangrijk hierbij is dat de tanks goed afgesloten kunnen worden. Inkuilen kan ook gedaan worden in tonnen of vaten of op grotere schaal op verharde ondergrond zoals beton. Ook bestaat de mogelijkheid om bijvoorbeeld gras in te kuilen in met plastic omwikkelde balen. Bij deze laatste methode moet het organische materiaal worden afgedekt om de verzuring optimaal te laten verlopen. Het opslaan van bijvoorbeeld strobalen gebeurt het beste onder een afdak. Het materiaal krijgt zo niet de kans om weer nat te worden.



Figuur 9 Een verharde ondergrond kan gebruikt worden om bijvoorbeeld gras op in te kuilen (links) en een IBC-tank is een handige, verplaatsbare tank, waarin vloeistoffen tijdelijk bewaard kunnen worden (rechts).

Schaal	Klein	Middel	Groot
Input	Max 10m ³	Max 50m ³	Max 200 m ³
Investering	0-1.000	0-1.000	1.000-10.000
Kennisniveau	Basiskennis	Basiskennis	Basiskennis
Oppervlakte	0m ² -10m ²	0m ² -10m ²	10m ² -100m ²

Tabel 26 Benodigde investering, kennisniveau en oppervlakte per schaal

Bij het inkuilen van verse plantaardige resten kan een aanzienlijk verlies aan biomassa verwacht worden van 15% tot 20% droge stof^{42 43 44}. Bij de opslag van mest of digestaat is het bewaarverlies afhankelijk van de buitentemperatuur en de stabiliteit van het product.

Aangenomen wordt dus dat bij de bewaring van plantaardige biomassa zo'n 25% van de ingaande massa verloren gaat en bij de opslag van organische meststoffen zo'n 5%.

9. Factsheet: Vezelwinning/dik-dun scheiding

In de meeste organische meststromen zit een vezelfractie die gewonnen kan worden. Deze vezels kunnen worden ingezet als bijvoorbeeld vezels voor biocomposiet, als vezels voor papier maar ook als instrooi materiaal van ligboxen voor koeien of zelfs als veevoer. Ook de sapstroom die vrijkomt bij de vezelwinning kan, afhankelijk van het product waaruit de vezels gewonnen worden, voor diverse doeleinden toegepast worden zoals bijvoorbeeld als meststof of als veevoer. Om vezels uiteindelijk in te zetten voor hoogwaardige toepassingen moeten deze vaak opgewerkt worden door middel van een vezelrefiner. Omdat dit een erg intensief proces is, wordt dit niet beschreven in deze factsheet.

9.1 Procesbeschrijving

Een veelgebruikte manier om een organisch materiaal te scheiden in een vezelstroom en een vloeistofstroom, is een vijzelpers. Een vijzelpers bestaat uit een vijzelhuis, met daarin een filter met een bepaalde filtergrootte, en een vijzel. Deze vijzel duwt het organische materiaal tegen het filter waardoor de vloeistof wordt uitgeperst. Bij mestscheiding wordt er een dikke fractie gewonnen die uit ongeveer 25% van het ingaande volume bestaat en relatief arm is aan nutriënten⁴⁵. Bij het persen van gras ontstaat er een dunne fractie die uit ongeveer 70% van de ingaande massa bestaat met daarin ongeveer 60% van de ingaande eiwitten⁴⁶

Voor de scheiding van een organische stroom in een vezelrijke dikke fractie en een vloeibare dunne fractie met een vijzelpers dient het organische materiaal te bestaan uit voldoende lange vezels en vrij te zijn van fysieke verontreiniging als stenen, plastic of ijzer omdat dit de pers zal beschadigen.

9.2 Reststromen als input

Organische stromen als gras en bermmaaisel kunnen gebruikt worden om te scheiden in een dunne eiwitrijke fractie en een vezelrijke fractie. Drijfmest kan gebruikt worden om te scheiden in een dunne fractie die zich laat omschrijven als meststof en een dikke fractie die beschouwd kan worden als een bodemverbeteraar.



Figuur 10 Een schroefpers zoals deze gebruikt kan worden voor de scheiding van drijfmest

9.3 Mogelijkheden decentrale toepassing

Een gemiddelde mestscheider heeft een capaciteit van zo'n 5 tot 15 ton mest per uur⁴⁸. Een gangbare grasscheider zo'n 1 tot 10 ton per uur⁴⁷. Gezien dit in stadslandbouwcontext een regelmatig grote capaciteit is, zou een mestscheider of grassap-pers door meerdere stadslandbouwers samen gekocht en gebruikt kunnen worden. Het is goed denkbaar dat in bijvoorbeeld het geval van de winning van grassap, de dikke fractie gebruikt wordt als veevoeder en de dunne sapfractie centraal wordt ingezameld om verder op te werken naar hoogwaardige stoffen. In het geval van mestscheiding kan de dunne fractie gebruikt worden als meststof terwijl de dikke vezelfractie centraal wordt ingezameld om verder te worden opgewerkt en gebruikt te worden in bijvoorbeeld papier.

Schaal	Klein	Middel	Groot
Input	5 ton per uur	10 ton per uur	15 ton per uur
Investering	€10.000+	€10.000+	€10.000+
Kennisniveau	Basiskennis	Basiskennis	Basiskennis
Oppervlakte	0m ² -10m ²	0m ² -10m ²	0m ² -10m ²

Tabel 27 Benodigde investering, kennisniveau en oppervlakte per schaal

Voor iedere ton gras-input ontstaat zo'n 700 kg eiwitrijke dunne fractie en 300 kg vezelrijke dikke fractie. Voor iedere ton mest-input ontstaat zo'n 750 kg dunne fractie en 250 kg dikke fractie.

Literatuurlijst

- ¹ Rynk, R., van de Kamp, M., Willson, G.B., Singly, M.E., Richard, T.L., Kolega, J.J., Gouin, F.R., Laliberty, L., Kay, D., Murphy, D.W., Hoitink., H.A.J., Brinton, W.F., 'On-Farm Composting Handbook', 1992, Northeast Regional Agricultural Engineering Service
- ² Databank Organische Meststoffen:
http://www.kennisakker.nl/files/Kennisdocument/Databank_organische_meststoffen_0.xlsx
- ³ <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/bio-energie/vergisting-en-vergassing/technieken-vergisting>.
- ⁴ Weiland, P. Biogas production: current state and perspectives. *Appl Microbiol Biotechnol* (2010) 85: 849. doi:10.1007/s00253-009-2246-7
- ⁵ Kool, A., De Boer, H., Van Dooren., H.J., Van Duin, B. en Tijmensen, M. (2005). Kennisbundeling covergisting, CLM Onderzoek en Advies BV, P-ASG en Ecofys
- ⁶ Zickefoose, C. en Hayes, R. B. J., 'Operation Manual Anaerobic Sludge Digestion', Office of Water Program Operations, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1976
- ⁷ Al Seadi T., D. Rutz, H. Prassl, M. Köttner, T. Finsterwalder, S.Volk and R. Janssen. 2008. Biogas handbook. BiG>East project, University of Southern Denmark Esbjerg, 126 p.
- ⁸ Ammonia inhibition in anaerobic digestion: A review. Orhan Yenigün and Burak Demirel. *Process Biochemistry* 48 (2013) 901–911.
- ⁹ Biogas Yield Table, Sustainable Energy Authority of Ireland
- ¹⁰ Van Geel, W. en van Dijk, W., 'Toepassing van digestaat in de landbouw: bemestende waarde en risico's', ACRRES-Wageningen UR, 2013
- ¹¹ <http://www.enki-energy.com/nl/products-and-services/>
- ¹² Pers. comm. Joep den Brok, melkveehouder met een vergister
- ¹³ Róman, P., Martínez, M., Pantoja, A., 'Farmer's compost handbook', 2015, Food and Agricultural Organization of the United Nations
- ¹⁴ Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., Domínguez, J., 'Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure', 2008, Departamento de Ecología e Bioloxía Animal, Universidade de Vigo
- ¹⁵ Munroe, G., 'Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture', Organic Agriculture Centre of Canada
- ¹⁶ Shrimal, S., Khwairakpam, M., 'Effects of C/N ratio on Vermicomposting of Vegetable Waste', 2010, Department of Civil Engineering, Malaviya National Institute of Technology, Jaipur, India
- ¹⁷ Nigussie, A., Kuyper, T., Bruun, S., de Neergaard, A., 'Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting' 2016, Wageningen University, Department of Soil Quality
- ¹⁸ Adhikary, S., 'Vermicompost, the story of organic gold: A review', 2012, Agriculture & Ecological Research Unit, Biological Sciences Division, Indian Statistical Institute, Kolkata, India
- ¹⁹ Databank Organische Meststoffen:
http://www.kennisakker.nl/files/Kennisdocument/Databank_organische_meststoffen_0.xlsx
- ²⁰ Caruso, D., Devic, E., Subamia, I., Talamond, P., Bars, E., 'Technical handbook of domestication and production of diptera Black Soldier Fly (BSF) *Hermetia illucens*, *Stratiomyidae*', 2014
- ²¹ Bullock, N., Chapin, E., Evans, A., Elder, B., Givens, M., Jeffay, N., Pierce, B., Robinson, W., 'The Black Soldier Fly How-to-Guide', 2013
- ²² Tschirner, M., Simon, A., 'Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed', 2015
- ²³ Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Olyn, A., Deboosere, S., de Meulenaer, B., Michiels, J., Eeckhout, M., de Clerq, P., de Smet, S., 'Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates', 2017
- ²⁴ Campos-vega, R., Loacra-Pina, G., Vergara-Castanede, H., Dave Oomah, B., 'Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects', 2015
- ²⁵ VERORDENING (EG) Nr. 999/2001 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD
- ²⁶ Insectenweek: kleine sector, grote kansen, ABN AMRO, 2016

²⁷ KWIN AGV 2015

²⁸ <http://unicornbags.com/cultivation/stru.shtml>

²⁹ 'Growing Mushrooms in Urban Environments', 2012, Cornell University Cooperative Extension and Department of Horticulture

³⁰ 'Mushroom Growers' Handbook 2: Shiitake Cultivation', 2005, MushWorld, Seoul, Korea

³¹ 'Mushroom Growers' Handbook 1: Oyster Mushroom Cultivation', 2004, MushWorld, Seoul, Korea'

³² Substraat Rotterzwam, 2017

³³ Databank Organische Meststoffen:

http://www.kennisakker.nl/files/Kennisdocument/Databank_organische_meststoffen_0.xlsx

³⁴ ³⁴ Rynk, R., van de Kamp, M., Willson, G.B., Singly, M.E., Richard, T.L., Kolega, J.J., Gouin, F.R., Laliberty, L., Kay, D., Murphy, D.W., Hoitink., H.A.J., Brinton, W.F., 'On-Farm Composting Handbook', 1992, Northeast Regional

³⁵ Cooperband, L., 'The Art and Science of Composting', 2002, University of Wisconsin-Madison

³⁶ Tiquia, S.M., Richard, T.L., Honeyman, M.S., 'Carbon, nutrient, and mass loss during composting' – 2002, Nutrient Cycling in Agroecosystems 62: 15–24

³⁷ ³⁷ Eghball, B., Power, J., Gilley, J., Doran, J., 'Nutrient, carbon, and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure', 1997

³⁸ KWIN AGV 2015

³⁹ Zhao, R., Guo, H., Gao, W., Tong, G., 'Literature Review on Composting Heat Recovery' 2015

⁴⁰ Themelis, N., 'Control of heat generation during composting', 2005

⁴¹ CBS 2016

⁴² Handboek Snijmaïs 2016, Wageningen Livestock Research

⁴³ Overvest, J., 'Verlies bij het inkuilen van suikerbietenblad', 1976

⁴⁴ Elsen, F., Janssens, P., Bries, J., Moens, W., Bomans, E., 'Geïntegreerde verwerkingsmogelijkheden (inclusief energetische valorisatie) van bermmaaisel', 2009

⁴⁵ Postma, R., van Rotterdam-Los, D., Schils, R., Zwart, K., van Erp, P., 'Inventarisatie, toepasbaarheid en klimaat effecten van producten van mest', 2013, Productschap Akkerbouw

⁴⁶ Sanders, J.P.M., van Liere, J., de Wilt, J.G., 'Geraffineerd voeren' 2016, Innovatie Agro & Natuur

⁴⁷ ongepubliceerde cijfers van Grassa (www.grassa.nl)