

Vergisting en compostering

in relatie tot mestverwerking en energietransitie

Ing. J.P.B.F van Gastel (Promillicon), ir. N.Verdoes (Wageningen Livestock Research)
6 november 2023

1. Inleiding

Energypart Peelland heeft Wageningen Livestock Research en Promillicon gevraagd om in het kader van het project Energielandgoed Peelland de voor- en nadelen aan te geven van de inzet van vergisting en compostering van meststromen in relatie tot regionale energietransitie.

Wageningen Livestock Research heeft in samenwerking met Promillicon in de periode 2019 tot en met 2022 onderzoek uitgevoerd naar de haalbaarheid van diverse scenario's van mestverwerking. Daarnaast zijn de emissies van stikstof, methaan en lachgas die optreden in de keten van excretie in de stal tot en met de aanwending van de bemestingsproducten met elkaar vergeleken. In deze notitie wordt ingegaan op de resultaten van dit onderzoek ten aanzien van de scenario's waarin vergisting en/of compostering zijn toegepast. Met betrekking tot de toepassing van compostering van mestproducten is eveneens ingegaan op een bijzondere vorm van compostering, namelijk het Upcycling proces. Dit is een vorm van compostering waarbij de warmte die ontstaat bij de omzetting van organische stof wordt teruggewonnen.

Er is een algemene kwalitatieve beschouwing gegeven. Voor de kwantitatieve gegevens wordt verwezen naar de geraadpleegde literatuur.

2. Inzet van vergisting

Haalbaarheid

Uit het onderzoek van Next Level Mestverwaarden is gebleken dat - ondanks dat het mogelijk is om waardevolle bemestingsproducten te produceren - het voor de haalbaarheid van het project nodig blijft een poorttarief te vragen voor de levering van mest. Echter, wanneer winning van biogas onderdeel uitmaakt van het verwaardingsproces kan het benodigde poorttarief (substantieel) lager zijn, dan wanneer geen vergisting wordt toegepast. Bij de juiste schaalgrootte is het hierdoor mogelijk om kostenbesparingen voor de veehouderijsector te realiseren in vergelijking tot afzet van mest in de reguliere markt.

Ook bleek uit het onderzoek dat de beschikbaarheid van (dag)verse mest van groot belang is. Vele vergisters in de praktijk draaien eigenlijk op oudere mest uit de mestkelders of uit de mestopslagen. Als verse mest gevoed kan worden, kan het benodigde poorttarief (substantieel) lager worden. Bij verse mest is er nog weinig organische stof afgebroken en zal de biogasproductie in de vergister toenemen.

Het financiële voordeel van biogaswinning komt voort uit vermeden energiekosten van het verwaardingsproces, de verkoop van energie, de verkoop van de 'groenwaarde' en eventueel subsidies. De scenario's waarbij groengas wordt geproduceerd uit biogas en waarbij de groenwaarde wordt verkocht als Hernieuwbare Brandstof Eenheden (HBE's) levert in vergelijking tot WKK toepassing en groengasproductie onder SDE de laagste benodigde poorttarieven. De HBE prijs is variabel en wordt door vraag en aanbod in de markt bepaald. De HBE route wordt niet gesubsidieerd zoals de productie van duurzame energie onder de SDE regeling.

Ammoniakemissie

Uit de studies is naar voren gekomen dat toepassing van vergisting kan bijdragen aan een verlaging van de ammoniakemissie over de gehele keten bezien. Maar niet per definitie.

Naarmate mest sneller uit de stal wordt afgevoerd, wordt minder organische stof in de mestkelder omgezet. Er wordt daardoor minder ammoniak vrijgemaakt uit organisch gebonden stikstof. Zonder verdere maatregelen leidt dat tot een beperkte verlaging van de emissie van ammoniak uit de stal en opslag.

Echter, tijdens het vergistingsproces wordt een substantieel deel van de organische stof omgezet en komt een deel van de organisch gebonden stikstof in de vorm van ammoniak vrij. Hierdoor neemt de concentratie ammoniak in het digestaat toe. Zonder behandeling van het digestaat, leidt het verhoogde ammoniakgehalte tot toename van de emissie van ammoniak bij opslag van het digestaat en bij aanwending. Over de gehele keten bezien neemt de ammoniakemissie toe wanneer het digestaat onbehandeld wordt opgeslagen en aangewend. Wanneer echter ammoniak uit het digestaat wordt verwijderd, bijvoorbeeld met behulp van een stripproces, kan dit juist resulteren in een reductie van de ammoniakemissie over de gehele keten bezien.

Methaanemissie

Bij toepassing van vergisting van mest kan de emissie van methaan sterk worden gereduceerd. De emissie van methaan uit mest in stal en opslag neemt af wanneer de mest op regelmatige wijze wordt afgevoerd naar een vergistingsinstallatie. Naarmate de mest korter in stal en opslag verblijft kan minder omzetting van organische stof plaatsvinden en emiteert er minder methaan. De sterkste reductie van de methaanemissie wordt bereikt wanneer de mest dagelijks (beter nog binnen enkele uren) uit de stal kan worden afgevoerd. De invoer van de meest verse mest levert bovendien de hoogste biogasopbrengst in het vergistingsproces.

Bij de opslag van digestaat -veelal in een navergistingstanks met gaskap-, zijn de methaanverliezen relatief beperkt. Ook bij de aanwending van de uitgegiste mest zijn de methaanverliezen gering.

De opslag van digestaat vormt met betrekking tot het risico op methaanemissies een aandachtspunt, wanneer de opslag plaatsvindt in een normale mestopslagsilo. Deze opslagen zijn niet gasdicht. Het risico is groter naarmate kortere verblijftijden in de vergister worden gehanteerd en het digestaat niet volledig is uitgegist.

Vergisting en energietransitie

Biogasproductie is een vorm van duurzame energieproductie. Groengas kan fossiel aardgas vervangen en worden ingezet voor hybride warmtepompsystemen, brandstof voor warmtenetten, industriële verwarmingsprocessen en transportbrandstof. De inzet kan al dan niet plaatsvinden in combinatie met duurzame elektriciteitsproductie met behulp van warmte-kracht installaties.

Vergisting en compostering

in relatie tot mestverwerking en energietransitie

Ing. J.P.B.F van Gastel (Promillicon), ir. N.Verdoes (Wageningen Livestock Research)
6 november 2023

Voor productie van biogas en het geschikt maken van het biogas voor toepassing ten behoeve warmte- en/of elektriciteitsproductie, ofwel de opwerking naar groengas, is een (klein) deel van de energie benodigd van de energie-inhoud van het opgewekte biogas.

3. Inzet van compostering

Haalbaarheid

Composteerinrichtingen waarin mestproducten worden verwerkt vragen een hoge investering. Vanwege de optredende emissies dient het proces in afgesloten hallen plaats te vinden, waarbij de uitredende lucht dient te worden behandeld om emissies van geur en ammoniak tegen te gaan. Veelal omvat de luchtbehandeling meerdere processtappen (een zure wassing gevolgd door een biofilter is een vaak toegepaste combinatie).

De composteerinrichting vraagt veel ruimte, omdat zowel het proces, de opslag van grondstof- en eindproducten als de logistieke handelingen binnen dienen plaats te vinden. Het composteerproces zelf vraagt veel ruimte vanwege de procesduur (2-4 weken) en de beperkte maximale hoogte van het compostbed (enkele meters).

In de vergelijking van de mestvervaardingsroutes van Next Level Mestverwaarden leiden de scenario's waarin compostering van dikke fractie was voorzien tot de hoogste benodigde poorttarieven. De relatief beperkte marktwaarde van het eindproduct in relatie tot de kosten voor verkoop, transport en aanwending is hier mede debet aan.

Ammoniakemissie

Het composteren van vaste meststromen kan een bijdrage leveren aan de reductie van de ammoniakemissie bij het aanwenden van mest. Tijdens het composteringsproces wordt een groot deel van de in mest aanwezige ammoniak uitgedreven en vervolgens afgevangen in een luchtbehandelingsproces. Veelal wordt ammoniak opgevangen in een zwavelzure oplossing onder vorming van ammoniumsulfaat. Bij het gebruik van ammoniumsulfaat als meststof treedt relatief weinig stikstofverlies op. Gecomposteerde vaste mest heeft een veel lager ammoniumgehalte dan niet de gecomposteerde vaste mest en is een stabiel product. Om die reden treedt bij de aanwending van gecomposteerde mest aanzienlijke minder vervluchtiging van ammoniak op dan bij aanwending van niet gecomposteerde vaste mest. Per saldo treedt minder ammoniakemissie op bij het gebruik van gecomposteerde mest en de hoeveelheid ammoniumsulfaat die bij het composteringsproces bij de luchtbehandeling is geproduceerd, dan wanneer de oorspronkelijke vaste mestfractie zou zijn aangewend.

Lachgas emissie

Tijdens het composteringsproces kunnen nitrificatie- en denitrificatieprocessen optreden. Compostering is een aëroob proces, waarbij nitrificerende bacteriën ammoniumstikstof kunnen omzetten naar nitraatstikstof. Echter, in de composthoop komen ook plaatsen voor waar de zuurstof minder goed kan doordringen en waardoor het gevormde nitraat vervolgens door

denitrificerende bacteriën kan worden omgezet. Hierdoor treedt stikstofverlies op, hoofdzakelijk in de vorm van N₂ en in mindere mate in de vorm van NO (stikstofoxide) en N₂O (lachgas). Stikstofverlies als gevolg van nitrificatie en denitrificatie treedt met name op bij lagere temperaturen (< 40 °C, boven deze temperatuur wordt het nitrificatieproces sterk geremd) en lagere zuurstofgehalten (<5%). Het stikstofverlies kan onder die omstandigheden oplopen tot enkele tientallen procenten. In de literatuur zijn bij intensieve compostering stikstofverliezen tot 50% gerapporteerd.

De compostering verloopt optimaal bij een temperatuur van 50-55 oC en een zuurstofgehalte >5% in de poriën van het compostbed. Onder deze omstandigheden is het stikstofverlies als gevolg van nitrificatie en denitrificatieprocessen minder significant en treedt naar verwachting minder emissie van lachgas op. In de literatuur wordt aangegeven dat bij compostering mogelijk kleine hoeveelheden stikstofoxide, lachgas en methaan kunnen worden gevormd.

Methaanemissie

Methaanvormende bacteriën zijn obligaat anaëroob. Onder de aërobie omstandigheden in het compostbed kan daarom in principe geen methaan worden gevormd. Echter de zuurstof is in de poriën van het compostbed aanwezig en diffundeert niet altijd tot de kern van het compostdeeltje. Binnen in het compostdeeltje kunnen daarom anaërobie omstandigheden bestaan, waardoor methaanvorming toch kan optreden. Ook wanneer als gevolg van een te nat en te weinig poreus compostbed anaërobie plekken in het bed ontstaan is methaanvorming mogelijk.

Onder goede procesomstandigheden met een goede zuurstofvoorziening zal de methaanuitstoot van het composteringsproces beperkt zijn en een reductie opleveren ten opzichte van een opslag van vaste mest. Alle organische stof die met zuurstof wordt omgezet tot CO₂ en water is niet meer beschikbaar voor methaanvorming.

Compostering en energietransitie

Compostering kan worden gezien als een relatief energie-efficiënte manier van volumereductie, droging en stabilisatie. De warmte die benodigd is voor het verwijderen van water wordt geleverd door de biologische omzetting van organische stof. Ter vergelijking: het drogen van dikke mestfracties met banddrogers vraagt circa 1.000 kWh warmte toevoer per ton waterverdamping tegen 0 kWh bij composteren. Met composteren kan wel minder ver worden gedroogd.

Het composteringsproces vraagt voor het beluchten van het compostbed, het omzetten van het bed en de luchtbehandeling circa 45-50 kWh elektriciteit per ton dikke fractie. Bij banddrogers ligt het stroomverbruik in dezelfde ordegrootte.

Of en in hoeverre warmte kan worden gewonnen uit het composteringsproces is sterk afhankelijk het watergehalte van het product dat gecomposteerd wordt, het gewenste drogestofgehalte van het eindproduct, het type en de kwaliteit (versheid) van de organische stof en de wijze van compostering.

Vergisting en compostering

in relatie tot mestverwerking en energietransitie

Ing. J.P.B.F van Gastel (Promillicon), ir. N.Verdoes (Wageningen Livestock Research)
6 november 2023

Bij het composteren van vaste mestfracties van vergiste mest dient bedacht te worden dat de snel afbreekbare organische stof reeds tijdens het vergistingsproces is omgezet. Composteren van enkel vergiste producten kan ertoe leiden dat het composteringsproces erg langzaam verloopt, de gewenste temperatuur niet gehaald wordt en onvoldoende vocht kan worden verdampt. Dit probleem kan worden ondervangen door een mengsel van producten te composteren waarin voldoende verse (energierijke) producten aanwezig zijn.

4. Upcycling

In het onderzoek van Wageningen Livestock Research naar de haalbaarheid van diverse scenario's van mestverwaarding is gekeken naar conventionele wijzen van compostering. De wijze van composteren volgens de Upcycling methode is in het WLR onderzoek niet meegenomen. De Upcycling variant is in het kader van energiewinning echter zeker interessant.

Bij het Upcycling proces vindt compostering plaats in geïsoleerde tunnels waarbij de beluchting plaatsvindt via een groot aantal beluchtingspunten (spigots) in vloer. Het Upcycling composteringsproces onderscheidt zich van de conventionele wijze van tunnelcompostering door een hogere composteer-temperatuur en door het terugwinnen van warmte uit de composteerlucht.

Daarnaast is de strategie ten aanzien van het opnieuw voeden en bevochtigen van batches gecomposteerd product van belang om de omzetting van organische stof te optimaliseren. Naarmate meer organische stof kan worden omgezet, kan meer warmte worden gewonnen en wordt een stabiel eindproduct worden verkregen.

Hogere temperatuur

Gestuurd wordt op het zo lang mogelijk handhaven van een temperatuur van >70 °C in de composthoop. De sturing van de temperatuur gebeurt onder meer door de regeling van de toevoer van verse lucht en de hoeveelheid recirculatie van de composteerlucht. Onder de thermofiele condities is de biologische activiteit hoog en vindt een relatief snelle afbraak van organische stof plaats.

Door een batch gecomposteerd materiaal opnieuw te voeden met vers materiaal en eventueel opnieuw te bevochtigen kan de biologische activiteit worden gereactiveerd en de omzetting van organische stof worden geoptimaliseerd. Op deze wijze kan de duur van het composteringsproces waarbij een stabiel eindproduct wordt verkregen worden verkort met ordegrrootte de helft van de procesduur die benodigd is bij een conventionele wijze van composteren.

Terugwinning van warmte

Met behulp van warmtewisselaars kan de energie in de afgevoerde composteerlucht worden teruggewonnen. In de warmtewisselaar wordt warmte uit de lucht overgedragen naar een watercircuit dat koud water aanvoert en warm water afvoert en naar een afnemer transporteert.

Als gevolg van de afkoeling van de luchtstroom condenseert de waterdamp, waarbij condensatiewarmte vrijkomt. Door de condensatie van de waterdamp in de afgevoerde composteerlucht kan een groot deel van de energie die nodig was voor het verdampen van water tijdens het composteerproces worden teruggewonnen.

De afkoeling van de lucht is tevens nodig voor de reiniging van de luchtstroom met behulp van een zure wassing en een biobed. Voor de goede werking van het biobed dient de temperatuur van de lucht beneden 40 °C te blijven en dient de relatieve vochtigheid hoog genoeg te zijn om uitdroging van het bed te voorkomen. Door de koeling van de composteerlucht snijdt het mes aan twee kanten: er kan worden voldaan aan de voorwaarden voor de luchtbehandeling en er wordt warmte teruggewonnen.

Upcycling in relatie tot mestverwerking

Het upcycling-proces kan worden ingezet voor de hygiëniseren en stabilisatie van vaste meststromen. Hygiëniseren en stabilisatie van mest via het Upcycling proces vraagt geen warmte input. Er kan juist warmte gewonnen worden. Omdat de mest tijdens het composteringsproces langer dan een uur boven 70 °C verwarmd wordt, wordt voldaan aan de vereiste behandeling voor afdoding van E-Coli en Salmonella voor de export van dierlijke mest naar Europese landen.

Veehouderijbedrijven met een mestoverschot kunnen op basis van de export van het gecomposteerde product invulling geven aan de wettelijke verplichting om een deel van het overschot te verwerken.

Tijdens het composteerproces ontwijkt de ammoniak die in het te composteren product aanwezig is. De ammoniak wordt afgevangen met behulp van een chemische luchtwasser, waarbij de ammoniak in de vorm van een ammoniumsulfaat-oplossing wordt vastgelegd. Het ammoniumsulfaat kwalificeert zich als Renure meststof. Renure staat voor 'herwonnen stikstof uit mest'. Renure-meststoffen verkregen uit bewerkte dierlijke mest mogen binnenkort waarschijnlijk als alternatief voor kunstmest worden gebruikt door Nederlandse boeren (NCM, maart 2024). Door de inzet van Renure meststoffen kan het gebruik van stikstofkunstmest worden beperkt.

Upcycling in relatie tot de energietransitie

Bij de omzetting van organische stof uit dierlijke mest tijdens het composteerproces komt circa 16 MJ warmte vrij per kg omgezette organische stof. Het grootste deel van de warmte is benodigd voor de verdamping van water tijdens het composteerproces. Een groot deel van deze verdampingswarmte kan worden teruggewonnen door condensatie van de waterdamp in de afgevoerde composteerlucht. Rekening houdend met het aandeel van de waterdamp dat gecondenseerd kan worden en met de warmteverliezen die bij het transport van warmte naar de afnemer optreden, kan circa 25-30 m3 aardgas equivalent worden gewonnen per ton vaste mestfractie van 30% drogestof.

De warmte komt vrij in de vorm van warm water van 60-70 °C en kan onder meer worden ingezet voor de verdere droging van de gecomposteerde mest of voor verwarming van gebouwen en

Vergisting en compostering

in relatie tot mestverwerking en energietransitie

Ing. J.P.B.F van Gastel (Promillicon), ir. N.Verdoes (Wageningen Livestock Research)
6 november 2023

kassen. Voor processen die hogere temperaturen vragen dient additioneel aardgas (of andere brandstof) te worden ingezet.

De omzetting van organische stof en de afvoer van water zorgen voor afname van het volume van het gecomposteerde product ten opzichte van de ingaande meststroom. Bij compostering van vaste mestfracties is onder praktijkcondities een volumereductie van circa 50% haalbaar.

Voordelen Upcycling proces

Ten opzichte van conventionele compostering kent het Upcycling proces verschillende voordelen:

1. Vanwege de hogere procestemperatuur bij het Upcyclingproces worden hogere omzettingssnelheden bereikt waardoor de benodigde composteertijd voor stabilisatie van mest afneemt (bij benadering halveert) ten opzichte van conventionele composteerprocessen.
2. Bij het Upcycling proces kan circa 25-30 m³ aardgasequivalent warmte worden gewonnen per ton vaste mestfractie van 30% drogestof. Bij conventionele compostering kan geen warmte worden gewonnen.
3. Vanwege de hogere procestemperatuur bij het Upcycling proces vindt een verdergaande afdoding van pathogenen plaats dan bij conventionele compostering. Dit levert een veiliger eindproduct.
4. Vanwege de hogere procestemperatuur van het Upcycling proces bestaat minder risico op vorming van lachgas ten opzichte van compostering bij lagere temperaturen.
5. Door de toegepaste strategie van opnieuw voeden en herbevochtigen van de composthoop bij het Upcyclingsproces kan een groter deel van de organische stof worden omgezet en kan een verdergaande volumereductie worden gerealiseerd.
6. De kortere procestijd, de warmteopbrengst en de grotere volumereductie verbeteren de business case van het Upcycling proces ten opzichte van conventionele compostering.

5. Combinatie vergisting en Upcycling

Emissies

Uit de diverse onderzoeken die door Wageningen Livestock Research in het kader van het project Next Level Mestverwaarden zijn uitgevoerd is naar voren gekomen dat scenario's waarbij snelle ontmesting van de stal plaatsvindt en waarbij de verse mest wordt vergist en stikstof wordt gestript uit dunne fractie digestaat, leiden tot sterke reducties van de stikstof- en broeikasgasemissies in de keten van mestproductie tot aanwending van de behandelde mest. ([1], [2], [3],[4]).

De vaste mestfracties die ontstaan bij het scheiden van het digestaat, voorafgaand aan het stikstofstrippen van de dunne fractie, vormen een aandachtspunt, omdat de aanwending van vaste mestfracties op het land resulteert in een relatief hoog stikstofverlies. Het stikstofverlies bij bovengronds aanwenden

van vaste mestfracties en vervolgens onderwerken op het land is relatief groot ten opzichte van de emissie-arme aanwendtechnieken voor drijfmest.

Bij aanwending van gecomposteerde vaste mestfracties treedt aanzienlijk minder stikstofverlies op. Dat komt omdat de ammoniak in de vaste mestfractie tijdens het composteerproces wordt uitgedreven en opgevangen in zure wassers onder vorming van ammoniumsulfaat. Het ammoniumsulfaat kan als meststof worden ingezet. Bij de toediening van ammoniumsulfaat op het land vindt nauwelijks stikstofverlies plaats vanwege de lage pH van het product. Bij de toediening van gecomposteerde vaste mestfracties treedt weinig stikstofverlies op omdat weinig ammoniak in de gecomposteerde mest meer aanwezig is.

Kortom, het composteren van de vaste mestfracties van gescheiden digestaat levert een afname van de stikstof- en broeikasgasemissies op bij toediening op het land ten opzichte van het gebruik van niet behandelde vaste mestfracties van gescheiden digestaat.

Op basis van de studies van Wageningen Livestock Research ([1],[2],[3],[4]) wordt ingeschat dat via de combinatie van snelle ontmesting, vergisten, scheiden, strippen en composteren een reductie van de ammoniakemissie kan worden gerealiseerd van circa 75% en een reductie van de broeikasgasemissies uit mest van circa 60% (ten opzichte van reguliere stallen zonder mestbehandeling en aanwending van drijfmest). De reductie van de broeikasgasemissie betreft de methaan en lachgasemissies uit mest. De besparing van CO₂ emissie als gevolg van de energieproductie is hierin niet verdisconteerd.

Energie

Verwerking van mest via vergisting, scheiden van het digestaat, strippen stikstof uit de dunne fractie en compostering van de vaste mestfractie volgens het Upcycling proces levert netto energie op. Hiermee wordt bedoeld dat in de eigen behoefte aan elektriciteit en warmte kan worden voorzien en energie geleverd kan worden aan derden.

Daarnaast worden aanvullende energiebesparingen gerealiseerd doordat:

1. minder mest over grote afstand hoeft te worden getransporteerd. Door het strippen van stikstof uit de dunne mestfractie kan een groter mestvolume bij de veehouderijbedrijven worden aangewend. Er hoeft minder mestvolume vanuit de gebieden met een mestoverschot naar gebieden zonder mestoverschot te worden getransporteerd. De volumereductie die bij het composteren van de vaste mestfractie optreedt leidt tot een afname van het transportvolume. Bij export van het product voor de invulling van de mestverwerkingsplicht leidt dit tot een aanzienlijke besparing van brandstof.
2. door de inzet van ammoniumsulfaat hoeft minder kunstmest te worden gebruikt. Hiermee wordt het energieverbruik van de productie van de stikstofkunstmest bespaard.

Vergisting en compostering

in relatie tot mestverwerking en energietransitie

Ing. J.P.B.F van Gastel (Promillicon), ir. N.Verdoes (Wageningen Livestock Research)
6 november 2023

Perspectief

De combinatie van toepassing van stalsystemen met dagontmesting, vergisten van mest, strippen van stikstof uit dunne fractie digestaat en composteren van de vastemestfractie biedt veehouderijbedrijven een mogelijkheid om stikstofemissies te reduceren, om mestafzetkosten te verminderen en om invulling te geven aan de verplichte mestverwerking.

De combinatie vergisting van mest, strippen van stikstof uit digestaat en compostering van de vaste mestfractie volgens het Upcycling proces biedt perspectief op een reductie van de ammoniakemissie van circa 75% in de keten van productie van mest in de stal tot en met de aanwending van de bewerkte producten. De reductie van de broeikasgasemissies bedraagt naar schatting circa 60%. Bij de toepassing van deze combinatie van processen kan worden voorzien in de eigen behoefte aan elektriciteit en warmte en kan energie worden geleverd aan derden. Daarnaast wordt bespaard op energieverbruik doordat mesttransporten afnemen en minder kunstmest hoeft te worden ingezet.

Geraadpleegde literatuur

- [1] Luuk Gollenbeek, Jos van Gastel, Paul Bussmann, Roland Melse, Nico Verdoes. 2020. *Verkenning mogelijke mestverwerkingsroutes en duurzaamheidsaspecten*. Wageningen Livestock Research. Rapport 1270.

- [2] Luuk Gollenbeek, Jos van Gastel, Flavia Casu en Nico Verdoes. 2021. *Emissies en kosten van verschillende scenario's voor verwaarding van varkensmest*. Wageningen Livestock Research. Rapport 1331.

- [3] Luuk Gollenbeek, Jos van Gastel, Flavia Casu, Nico Verdoes. 2021. *Emissies en kosten van verschillende scenario's voor de verwaarding van kalvermest*. Wageningen Livestock Research. Rapport 1340.

- [4] Luuk Gollenbeek, Jos van Gastel, Flavia Casu en Nico Verdoes. 2021. *Emissies en kosten van verschillende scenario's voor verwaarding van rundveemest*. Wageningen Livestock Research. Rapport 1372.

- [5] Starmans, D.A.J., Bruins, M.A., Melse, R.W., Veeken A.H.M., Willers H.C. 2002. *Mest: Compostering, nutriëntenverliezen en toepassing*. Wageningen UR, Instituut voor Milieu- en Agritechniek.