

Circulaire inzet digestaat

Berekening N-P-K-C flows voor varkensmest en digestaat bij het
varkensbedrijf van De Hoeve Innovatie

F.A.M. Casu, N. Verdoes

OPENBAAR
RAPPORT 1328



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Circulaire inzet digestaat

Berekening N-P-K-C flows voor varkensmest en digestaat bij het varkensbedrijf van De Hoeve Innovatie

Auteurs

F.A.M. Casu en N. Verdoes

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Meststoffen en nutriënten' (projectnummer BO-55-001-006).

Wageningen Livestock Research

Wageningen, juli 2021

Rapport 1328

Openbaar

Samenvatting

Voor De Hoeve Innovatie, onderdeel van Keten Duurzaam Varkensvlees, is een studie uitgevoerd welke modelmatig verschillende scenario's van mestbewerking en vergisting in kaart heeft gebracht. Hierbij is gekeken naar de meest optimale N-P-K-C balans met zo min mogelijk gasvormige verliezen en behoud van organische stof. De studie wijst uit dat het dagelijks verwijderen van mest uit de stal, vergisten van verse mest en verdere verwerking van het digestaat in een dikke en dunne fractie tot de laagste ammoniak- en broeikasgasemissies leidt. Toevoeging van stromest in de vergister zorgt voor een hogere biogasopbrengst en organische stofgehalte in de mestproducten.

Summary

This study was conducted for De Hoeve Innovatie, which is part of Keten Duurzaam Varkensvlees, wherein different scenarios of manure treatment and digestion were mapped through the use of an emission model. In this study, we looked at which scenario gave the most optimal N-P-K-C balance with the least gaseous losses and preservation of organic matter. Results indicated that daily removal of manure from the pig houses, digestion of fresh manure and further treatment of the digestate into a solid and liquid fraction led to the lowest emissions of ammonia and greenhouse gasses. Addition of a straw and manure mixture to the digester leads to a higher biogas production and organic matter content of the manure products.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/549908> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2020

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	Rekenmethodiek	11
	2.1 Modelstudie	11
	2.2 Mestanalyse	11
	2.3 Emissies	12
	2.4 Basisgegevens	12
3	Scenario's	14
4	Emissies	17
	4.1 Methaan	17
	4.2 Ammoniak	18
	4.3 Overige stikstof (N ₂ O en NO)	19
	4.4 Stikstofgas (N ₂)	19
5	Meststromen en samenstellingen	21
	5.1 Meststromen	21
	5.2 Volumina	22
6	Inzetbaarheid mestproducten	24
7	Discussie en conclusies	28
	7.1 Emissieberekeningen modelstudie en actuele emissies	28
	7.2 Emissies tijdens aanwending	28
	7.3 Overige stikstofemissies	29
	7.4 Samenstelling mestproducten	29
	7.5 Bedrijfseconomische overwegingen	30
	7.6 Conclusies en aanbevelingen	31
	Literatuur	33
	Bijlage 1 Uitgangspunten modelstudie	34
	Bijlage 2 Methaan- en ammoniakverliezen	38
	Bijlage 3 Gemeten ammoniakreductie bij De Hoeve Innovatie	39
	Bijlage 4 Samenvatting meststromen	40
	Bijlage 5 Overzicht biogasopbrengsten van De Hoeve Innovatie	42

Woord vooraf

Dit onderzoek is een Publiek Private Samenwerking (tussen het ministerie van LNV en het bedrijfsleven). Vanuit het bedrijfsleven waren De Hoeve Innovatie en Encon Clean Energy de partners. De auteurs danken de financiers voor hun deskundige begeleiding van het onderzoek. En we danken ook ir. W. van Dijk van Wageningen Plant Research die kennis heeft aangeleverd over de inzetbaarheid van mestproducten (hoofdstuk 6).

Nico Verdoes, projectleider

Samenvatting

De Hoeve Innovatie is onderdeel van Keten Duurzaam Varkensvlees, een samenwerkingsverband dat de uitdagingen op een varkensbedrijf integraal aanpakt. In de stallen wordt dagontmesting toegepast en worden emissies aan de bron gereduceerd. Verder is er op het test- en innovatiebedrijf in Valkenswaard een Encon-monovergister gebouwd, waarbij verse mest en stromest uit de varkensstallen in de monovergister worden gebracht. Verse mest leidt tot een hogere biogasproductie en met de toevoeging van stro wordt getracht de biogasopbrengst verder te verhogen en tot een betere C/N verhouding in de mestproducten te komen.

Dit onderzoek richt zich op de optimale N-P-K-C balans op het varkensbedrijf van De Hoeve Innovatie, met zo min mogelijk verliezen van ammoniak en broeikasgassen. Om dit te bepalen zijn verschillende scenario's opgesteld waarbij mest diverse verwerkingsstappen doorloopt. Hierbij wordt integraal gekeken naar hoe emissies over de hele keten kunnen worden geminimaliseerd. De scenario's zijn modelmatig doorerekend om de vrijgekomen emissies in kaart te brengen. Van de meststromen op De Hoeve Innovatie zijn samples genomen om de samenstelling van de mestproducten te analyseren. Deze zijn ook berekend door het model zelf. Daarnaast is gekeken in welke teelten de verschillende mestproducten potentieel kunnen worden afgezet.

In onderstaande tabel zijn voor de verschillende scenario's die in kaart zijn gebracht de totale ammoniak- en methaanverliezen samengevat, alsook de biogasopbrengst.

Tabel I Totale ammoniak- en methaanemissie en biogasopbrengst (kg/jaar) per scenario.

Scenario	Totale ammoniak-emissie (kg NH ₃ /jaar)	Totale methaan-emissie (kg CH ₄ /jaar)	Biogas-opbrengst (kg/jaar)
RS.1*: Drijfmest opslaan en aanwenden (NL)	13182	31669	
RS.2*: Drijfmest opslaan en aanwenden (De Hoeve)	8717	21472	
RS.3*: Monovergisten standaard	9061	22835	21254
S.4: Monovergisten dagverse mest	5193	6672	43418
S.5: Monovergisten dagverse mest + scheiding digestaat	5231	6422	43418
S.6: Verg. verse- en stromest + scheiden digestaat	5196	6717	48046
S. 7: Verg. verse- en stromest + scheiden digestaat en verwerking dunne fractie	2746	6642	48046

* RS = referentiescenario

Op basis van de modelstudie is het dagelijks verwijderen van mest uit de stal en het digestaat verder verwerken in een dikke fractie en een N- en K-concentraat (scenario 7), het scenario die de laagste emissies geeft van ammoniak. Voor methaanverliezen zijn de scenario's waarbij mest dagelijks wordt verwijderd uit de stal nagenoeg gelijk, maar als gekeken wordt naar de biogasproductie ten opzichte van de totale methaanverliezen komen scenario 6 en 7 het beste naar voren.

Of het toevoegen van stromest tot een betere C/N verhouding en organische stofgehalte van de mestproducten leidt, is niet bevestigd uit de mestmonsteranalyses door een te grote variatie in meststromen naar de vergister. Na de optimalisatiefase van het system bij De Hoeve Innovatie, kan de analyse worden herhaald om aan te tonen of het OS-gehalte en de C/N verhouding significant verschilt.

Het (niet gescheiden) digestaat, de dunne fractie en het K-concentraat zijn voor de melkveehouderij een minder aantrekkelijke meststof, omdat er in verhouding tot stikstof veel fosfaat in zit. Alleen op melkveebedrijven met een eigen mestproductie lager dan de plaatsingsruimte op de eigen grond is gebruik van deze producten een optie. Hetzelfde geldt voor het K-concentraat. Het N-concentraat kan bij een RENURE-status wel interessant zijn om kunstmest te vervangen.

Op akkerbouwbedrijven zijn het digestaat en de dunne fractie zowel wat betreft nutriënten als EOS-aanvoer een alternatief voor varkensdrijfmest. Door de relatief lage N/P-, K/P- en EOS/P-verhouding wordt er met het digestaat en de dunne fractie minder nutriënten en EOS aangevoerd dan met rundveedrijfmest. Met de dikke fractie wordt weinig N en K aangevoerd, wel is de EOS-aanvoer hoger dan varkensdrijfmest. Het N-concentraat zou bij de teelt van wintertarwe kunnen worden toegepast als vervanger van kunstmest.

Voor een complete afweging of scenario 7 daadwerkelijk de meest geschikte route is om varkensmest te verwerken met reductie van methaan- en stikstofverliezen, is het noodzakelijk om ook bedrijfseconomische aspecten mee te nemen in de berekening. Alvorens dit systeem te implementeren adviseren we om ook een economische analyse te doen.

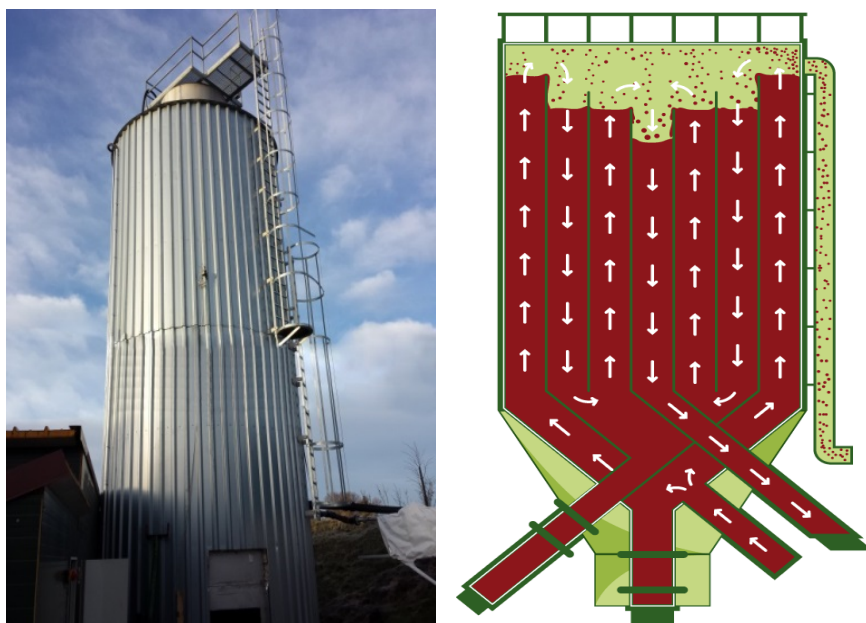
1 Inleiding

Visie

De Hoeve Innovatie is onderdeel van Keten Duurzaam Varkensvlees (KDV), die de uitdagingen op een varkensbedrijf integraal aanpakt (welzijn, gezondheid, milieu, energie/klimaat). In de stallen wordt dagontmesting toegepast en worden emissies (ammoniak, geur, methaan) aan de bron gereduceerd, wat een betere luchtkwaliteit geeft in de stal en zo de gezondheid van de dieren bevordert. Op het test-, innovatie- en voorbeeldbedrijf in Valkenswaard is een monovergister gebouwd. Via dagontmesting wordt verse mest in de monovergister gebracht, waardoor het rendement van de vergister wordt verbeterd ten opzichte van de situatie dat mest maandenlang in de stal opgeslagen blijft. Hierdoor wordt ook de methaan- en ammoniakuitstoot vanuit stallen en opslagen verminderd. De Hoeve Innovatie streeft naar een duurzame, integrale keten. Het mag niet zo zijn dat reductie van emissies in de stal wordt teniet gedaan door emissieverhoging in de volgende stappen van de keten.

Vergister

De monovergister die wordt gebruikt op De Hoeve Innovatie is een Encon-monovergister. Het betreft een rechtopstaande silo welke is opgebouwd uit verschillende compartimenten, waarbij de van onderaf ingevoerde mest afwisselend omhoog en omlaag stroomt (figuur 1). De biomassa wordt zo in verschillende fasen afgebroken door micro-organismen waarbij biogas wordt geproduceerd. Het digestaat wat aan het einde van het proces overblijft, wordt deels gemengd met verse drijfmest en opnieuw de vergister in getransporteerd. De Hoeve Innovatie experimenteert ook om stromest, afkomstig van zeugen op stro, mee te vergisten om tot een hogere biogasproductie en een betere C/N verhouding in de mestproducten te komen. Het digestaat wordt verder gescheiden in een dunne en dikke fractie. De dikke fractie kan worden aangewend om de bodemvruchtbaarheid te bevorderen in de akkerbouw.



Figuur 1 De Encon-vergister.

Onderzoek

Dit onderzoek richt zich op de optimale N-P-K-C balans op het varkensbedrijf van De Hoeve Innovatie, met zo min mogelijk gasvormige verliezen en behoud van organische stof. Om dit te bepalen zijn verschillende scenario's opgesteld waarbij mest diverse verwerkingsstappen doorloopt. De samenstelling van de mestproducten is geanalyseerd en gasvormige verliezen tijdens het proces van verwerking zijn via een modelstudie berekend.

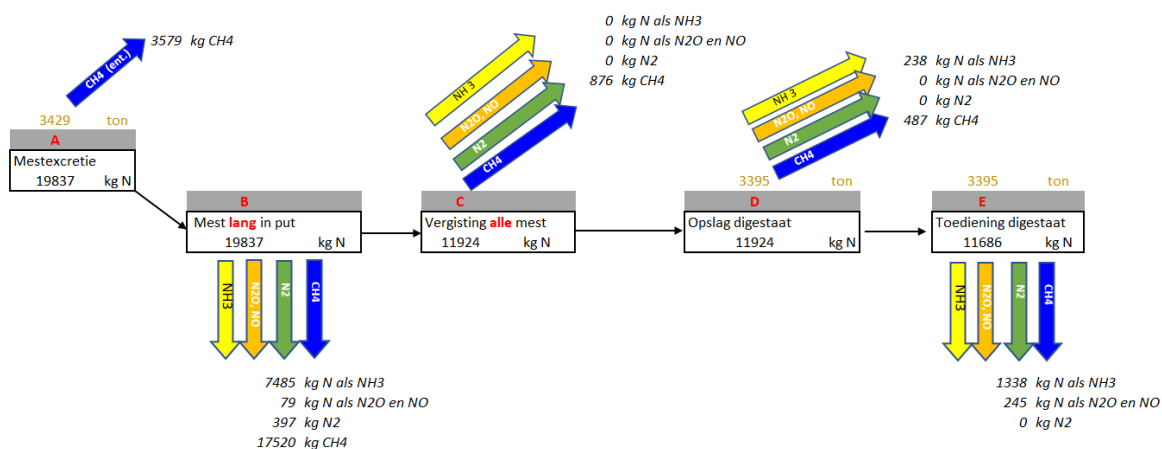
Indeling

In dit rapport wordt in hoofdstuk 2 eerst de rekenmethodiek beschreven en daarna in hoofdstuk 3 de verschillende scenario's. In hoofdstuk 4 worden de meststromen en emissie van broeikasgassen en ammoniak per scenario in beeld gebracht, waarna in hoofdstuk 5 de meststromen en samenstelling van de mestproducten worden besproken. Hoofdstuk 6 beschrijft in welke teelten de mestproducten kunnen worden afgezet en in hoofdstuk 7 worden discussiepunten en conclusies besproken.

2 Rekenmethodiek

2.1 Modelstudie

Om de massabalansen en emissies voor het gehele mestverwerkingsproces op het bedrijf te bepalen, is gewerkt met een modelstudie. De modelstudie is uitgevoerd in Excel en in bijlage 1 zijn de uitgangspunten en aannames voor de modelstudie beschreven. Hierbij is gewerkt met een stroomschema welke de hoeveelheden en samenstelling van de mestproducten weergeeft en bij elke stap in het mestverwerkingsproces de emissies berekent. De stikstofhoudende gasvormige verliezen zijn berekend op basis van emissiefactoren uit Van Bruggen et al. (2019) en de methaanemissie is berekend op basis van het OS-gehalte, het biochemisch methaanpotentieel en de methaanconversiefactor (zie bijlage 1). Figuur 2 geeft het stroomschema weer voor het scenario waarin drijfmest voor langere tijd wordt opgeslagen en vervolgens wordt vergist.



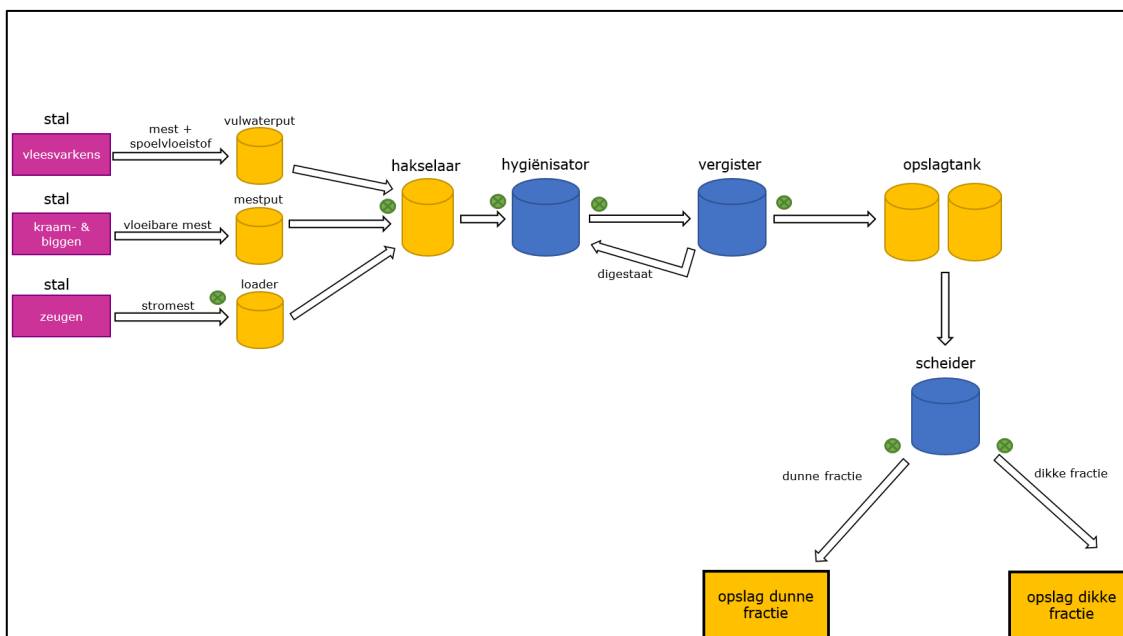
Figuur 2 Stroomschema met gasvormige verliezen, meststromen en N-vrachten voor het scenario waarin oude drijfmest wordt vergist (referentiescenario 3).

Het model is opgebouwd uit verschillende blokken, waarbij elk blok een (verwerkings)stap representeert. Het proces start bij uitscheiding van mest in de stal en eindigt bij het moment dat mestproducten op het land worden aangewend. Bij deze laatste stap worden emissies tijdens toediening van mestproducten meegenomen, maar worden verdere bodemprocessen buiten beschouwing gelaten.

De hoofdelementen waarmee het bedrijf modelmatig in kaart is gebracht zijn mestproductie, mestsamenstelling, hoeveelheden ingaande drijfmest en stromest in de vergister en productie van biogas. De mestsamenstelling van de ingaande drijfmest en stromest in de vergister is middels analyse van mestmonsters van het bedrijf verkregen en gebruikt als input voor het model. De overige data betreft bedrijfsgegevens over het jaar 2020.

2.2 Mestanalyse

Om de N-K-P-C balans te bepalen, zijn in de periode juli 2020 tot november 2020 mestmonsters genomen op het bedrijf. Figuur 3 geeft een schematische weergave van het mestbewerkingsproces bij De Hoeve Innovatie. De groene punten geven de monsternamenpunten weer en in totaal zijn er 42 monsters genomen en geanalyseerd door het laboratorium van Roba te Deurne. De samenstelling van de drijfmest en stromest zijn gebruikt als input voor de modelstudie om middels een stroomschema de samenstelling van de daaropvolgende mestproducten in kaart te brengen en zo de optimale N-K-P-C balans van mestverwerking te bepalen. De samenstelling van de dunne- en dikke digestaatfracties is gebruikt om het scheidingsrendement van het digestaat te bepalen.



Figuur 3 Monsternamepunten (groene punten) bij De Hoeve Innovatie.

2.3 Emissies

De verschillende mestverwerkingsscenario's zijn vergeleken met een referentiescenario van een gemiddeld Nederlands gesloten varkensbedrijf. Hierbij zijn dezelfde hoofdelementen van het bedrijf bepaald en middels een modelstudie zijn de mestproducten en emissies berekend. Eenzelfde referentiescenario is doorgerekend met gegevens van De Hoeve Innovatie. Voor alle scenario's zijn per stap in het mestverwerkingsproces de emissies berekend middels emissiefactoren. WLR heeft voor De Hoeve Innovatie onder andere de ammoniakemissie in de stallen gemeten om de reductie van de emissiearme stallen ten opzichte van de referentiestallen te bepalen (Aarnink en Verdoes, 2018, zie bijlage 3). De reductiepercentages voor ammoniak die in de verschillende stallen zijn gemeten, zijn gebruikt om de emissiefactoren uit de literatuur aan te passen. In bijlage 1 zijn de uitgangspunten en gebruikte emissiefactoren beschreven.

2.4 Basisgegevens

Voor de berekeningen in de modelstudie is een referentiescenario toegevoegd met gegevens van een gemiddeld Nederlands gesloten varkensbedrijf. Data hiervoor zijn gehaald uit KWIN (2020) en de hoofdelementen die zijn gebruikt als input voor de modelstudie zijn samengevat in tabel 1.

Tabel 1 Data gemiddeld Nederlands gesloten varkensbedrijf (KWIN, 2020).

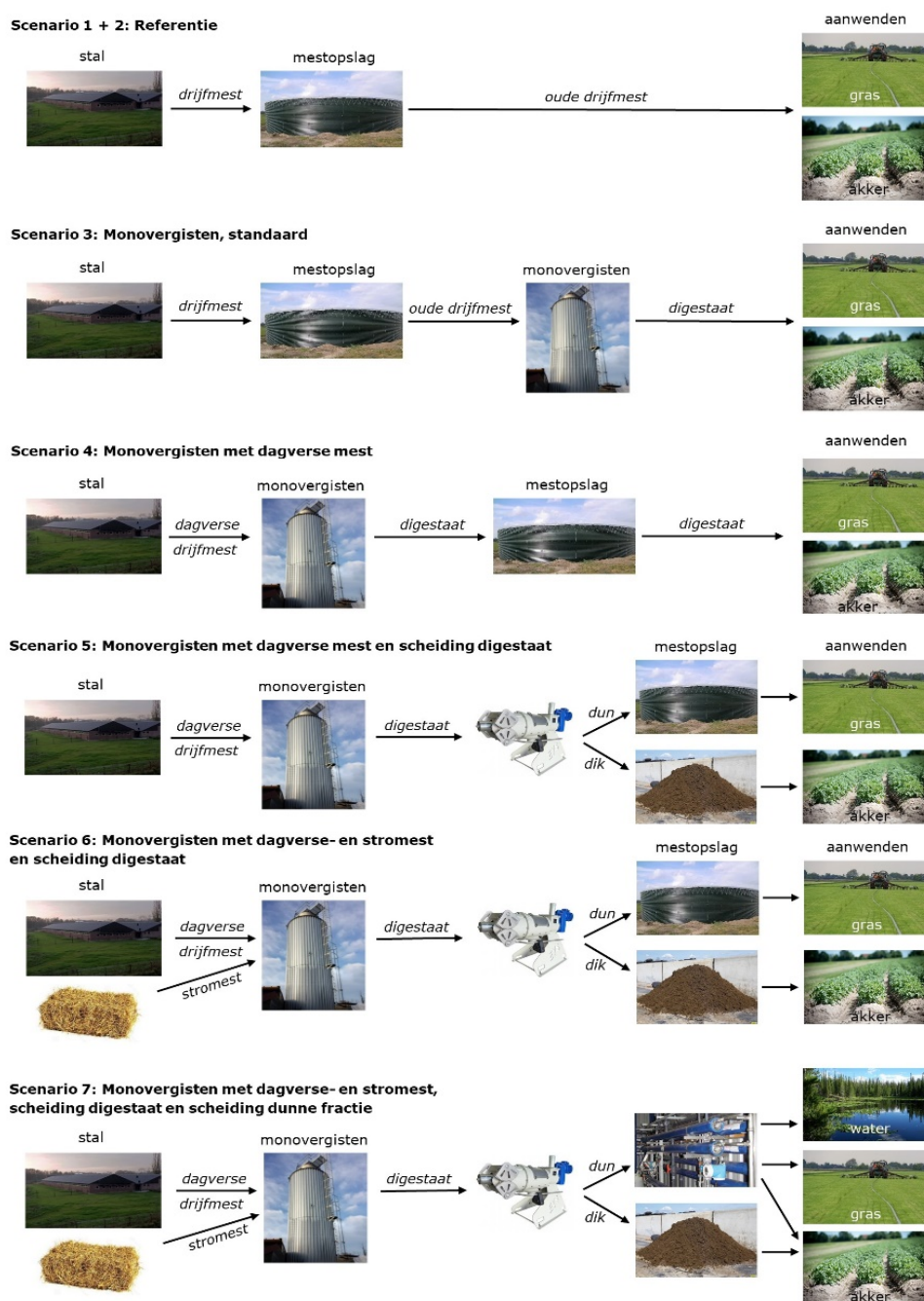
Diercategorie	Aantal	Mestproductie (ton/dierplaats/jaar)	Mestproductie (ton/jaar)	CH ₄ enterische fermentatie (kg/dier/jaar)
Fokzeugen incl. biggen tot 25 kg	468	5	2340	702
Opfokzeugen ouder dan 7 maanden	10	1,2	12	15
Vleesvarkens	2700	1,0	2700	4050

Voor de overige scenario's is uitgegaan van bedrijfsgegevens van De Hoeve Innovatie uit 2020. Het bedrijf telt 2100 vleesvarkens, 250 fokzeugen en 5 opfokzeugen. In het huidige systeem gebruikt het bedrijf dagverse mest en stromest welke samen in de monovergister worden verwerkt. Het digestaat wordt verder gescheiden in een dunne en dikke fractie en voor bepaalde tijd opgeslagen totdat deze

worden geëxporteerd voor aanwending op grasland en akkerbouw (zie figuur 3 voor een schematische weergave). In 2020 werd er 3262 m³ drijfmest en 167 m³ stromest vergist. Er werd 219 ton dikke fractie van het digestaat afgevoerd. Gegevens van afgevoerde vrachtgewichten zijn door De Hoeve Innovatie aangeleverd.

3 Scenario's

Om te bepalen welke vorm van mestverwerking de meest optimale samenstelling van mestproducten geeft, zijn er zeven scenario's doorgerekend. Drie scenario's dienen als referentie en vier scenario's zijn voor De Hoeve Innovatie opgesteld. In figuur 4 zijn de scenario's van deze studie schematisch samengevat.



Figuur 4 Schematische weergave van de doorgerekende scenario's.

Referentiescenario 1: Mestopslag op het bedrijf zonder monovergisten met data gemiddeld Nederlands gesloten varkensbedrijf

In dit referentiescenario wordt de mest voor lange tijd (6 maanden) opgeslagen en vervolgens geëxporteerd voor aanwending. De mest wordt verder niet bewerkt. Er wordt uitgegaan van een gemiddeld Nederlands gesloten varkensbedrijf, zodat De Hoeve Innovatie hiermee kan worden vergeleken (zie tabel 1 voor de basisgegevens die voor dit scenario zijn gebruikt).

Referentiescenario 2: Mestopslag op het bedrijf zonder monovergisten met bedrijfsdata van De Hoeve Innovatie

Dit referentiescenario is gelijk aan referentiescenario 1, echter wordt er uitgegaan van het bedrijf De Hoeve Innovatie, waarbij bedrijfsdata wordt gebruikt als input voor de modelstudie (zie hoofdstuk 2.2). Dit referentiescenario dient als basisscenario waarbij mest niet verder wordt bewerkt, ter vergelijking met scenario 3 t/m 7 waarbij mest wel verder wordt bewerkt.

Referentiescenario 3: Mestopslag en monovergisten op het bedrijf met bedrijfsdata van De Hoeve Innovatie

Voor de gangbare manier van monovergisten wordt mest eerst voor een bepaalde tijd opgeslagen. Om de kwaliteit van de mestproducten, productie van biogas en emissies van vergisting van dagverse mest te kunnen vergelijken met deze gangbare manier, is een derde referentiescenario toegevoegd. Voor dit scenario wordt er wederom gebruik gemaakt van bedrijfsgegevens van De Hoeve Innovatie.

Scenario 4: Monovergisten met dagverse mest

In dit scenario wordt mest dagelijks uit de stallen gespoeld en vervolgens via monovergisten verwerkt tot digestaat. Het digestaat wordt op het bedrijf opgeslagen en kan vervolgens worden gebruikt ter aanwending op bouwland en/of grasland.

Scenario 5: Monovergisten met dagverse mest en scheiding van digestaat

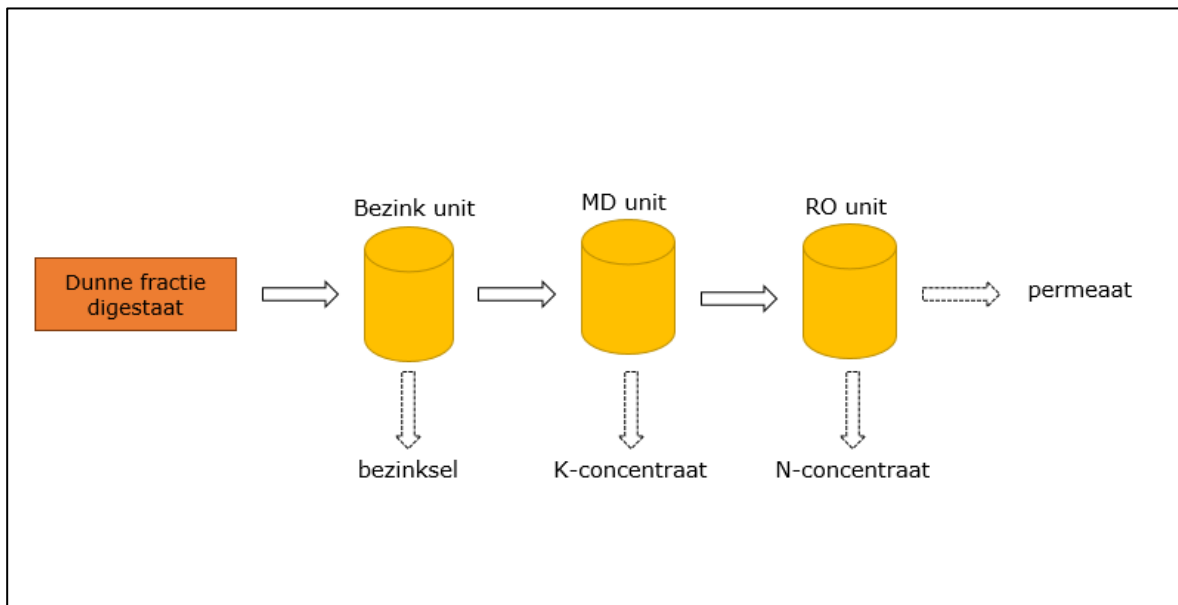
Dit scenario is gelijk aan scenario 4, echter wordt er nog een stap toegevoegd na vergisting van de dagverse mest. Het digestaat wordt gescheiden in een dikke en dunne fractie, waarna deze worden opgeslagen op het bedrijf. Deze kunnen vervolgens worden gebruikt ter aanwending op bouwland en/of grasland.

Scenario 6: Monovergisten met dagverse mest en stromest en scheiding van digestaat

Dit scenario is momenteel de werkwijze van De Hoeve Innovatie waarbij, naast dagverse mest, stromest afkomstig uit de zeugenstallen wordt toegevoegd. Dit mengsel wordt vervolgens vergist en het digestaat wordt gescheiden in een dunne en dikke fractie. Het toevoegen van stromest resulteert in een hogere C:N verhouding.

Scenario 7: Monovergisten met dagverse mest en stromest, scheiding van digestaat en scheiding dunne fractie

De Hoeve Innovatie wil onderzoeken of verdere scheiding van de dunne fractie resulteert in mestproducten die beter kunnen worden ingezet als kunstmestvervanger. Hierbij wordt de dunne fractie verder gescheiden in een aparte N-, K- en waterfractie en blijft er een bezinksel- en permeaatfractie over (zie figuur 5). De N- en K-fractie kunnen worden gebruikt als kunstmestvervanger en de waterfractie (= permeaat) wordt gezuiverd tot loosbaar water. Een eerste proefopzet op het bedrijf heeft geresulteerd in een inschatting van volumestromen van de verschillende fracties, waaronder de N- en K-concentraten welke in het model zijn gebruikt om dit scenario verder door te rekenen.

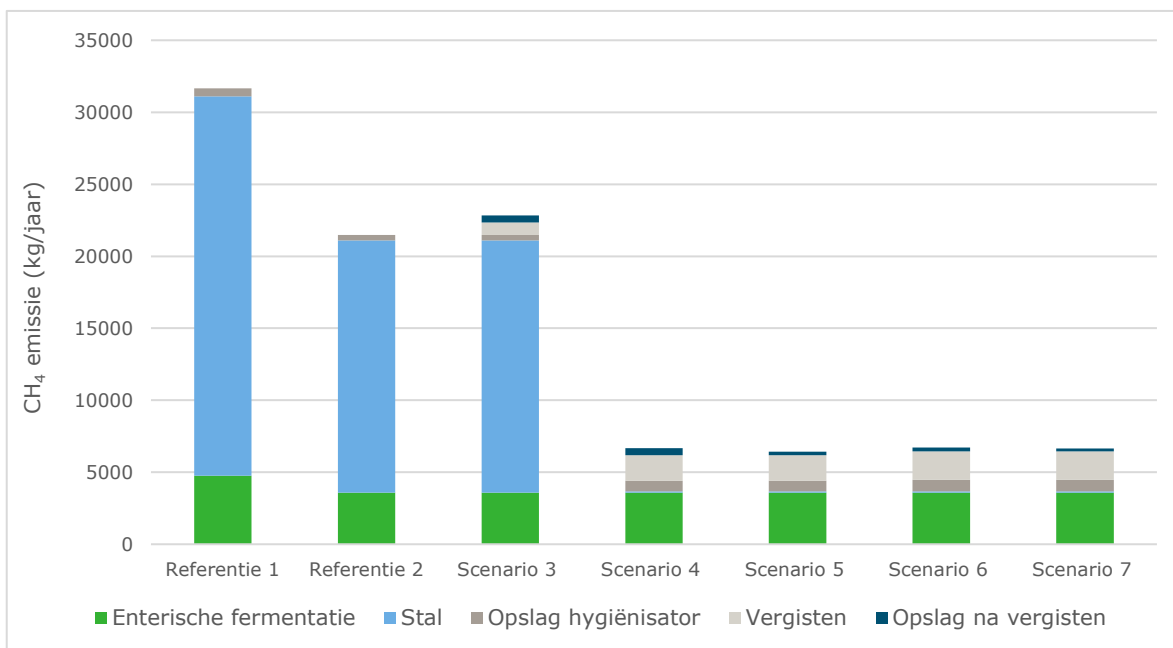


Figuur 5 Schematische weergave van het scheiden van de dunne fractie van digestaat op De Hoeve Innovatie (MD = Membraan Destillatie, RO = Reversed Osmosis/Omgekeerde osmose).

4 Emissies

4.1 Methaan

Figuur 6 geeft de totale gasvormige verliezen van methaan weer voor de verschillende scenario's. In bijlage 2 zijn de volledige resultaten uitgewerkt.



Figuur 6 Methaanverliezen (kg/jaar) per scenario.

Figuur 6 laat zien dat vergisten van dagverse mest aanzienlijk minder methaanverliezen geeft dan het referentiescenario van De Hoeve Innovatie (scenario 2) met een verschil van 14.800 kg/jaar. Voor een gemiddeld Nederlands gesloten bedrijf is dit verschil 25.000 kg. Vooral methaanverliezen uit de stal worden met het dagelijks verwijderen van mest verlaagd. De scenario's met vergisten van dagverse mest (scenario's 4 t/m 7) stoten gemiddeld 93 kg methaan uit in de stal, ten opzichte van ruim 17.500 kg methaan bij vergisten van oude mest. Tussen scenario 4 t/m 7 zit weinig verschil in de totale methaanemissie per jaar.

Scenario 5, vergisten van dagverse mest en scheiden van het digestaat, laat op bedrijfsniveau de laagste methaanverliezen zien, met een totale uitstoot van 6.400 kg/jaar. Bij vergisten van dagverse mest en stromest, waarbij het digestaat verder wordt gescheiden (scenario 6 en 7), zijn de methaanverliezen op bedrijfsniveau iets groter (beide ruim 6.600 kg /jaar), echter hangt dit samen met een forse stijging aan biogasproductie (zie tabel 3). Na vergisting zorgt scheiden van het digestaat in scenario 5, 6 en 7 voor een lagere methaanemissie tijdens opslag (gemiddeld 227 kg) dan opslag van digestaat bij scenario 3 en 4 (487 kg). Referentiescenario 1 geeft de hoogste totale methaanverliezen (31.600 kg/jaar) door omvang van de veestapel en de lange opslagperiode van mest in de stal.

In onderstaande tabel zijn voor de scenario's met vergisting van mest de totale methaanverliezen en methaanproductie tijdens vergisting samengevat.

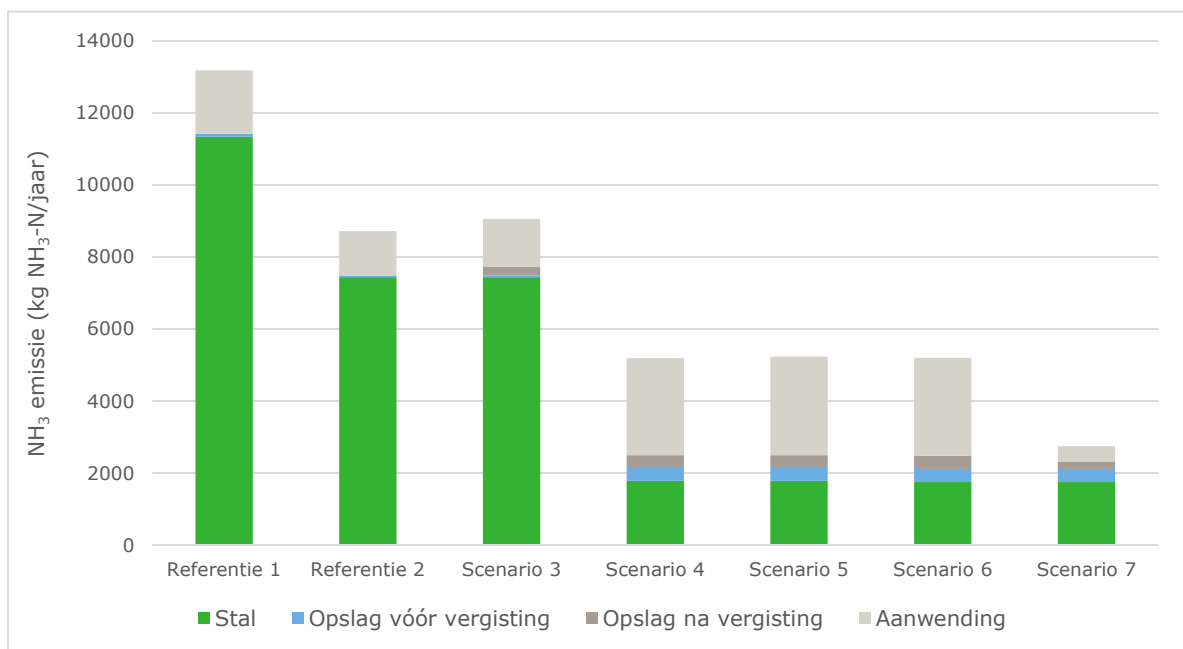
Tabel 2 Methaanverliezen en -productie (kg/jaar) tijdens vergisting

Scenario	CH ₄ emissie (kg/jaar)	CH ₄ productie (kg/jaar)
S.3: Monovergisten standaard	22835	21254
S.4: Monovergisten dagverse mest	6672	43418
S.5: Monovergisten dagverse mest + scheiding digestaat	6422	43418
S.6: Verg. verse- en stromest + scheiden digestaat	6717	48046
S.7: Verg. verse- en stromest + scheiden digestaat en dunne fractie	6642	48046

Tabel 2 laat zien dat vergisting van dagverse mest met toevoeging van stromest de hoogste methaanproductie levert (ruim 48.000 kg/jaar). Ten opzichte van vergisten van dagverse mest is dit een toename van 11%, waarbij de methaanverliezen bij scenario 6 en 7 nagenoeg gelijk blijven. Vergisten van oude mest geeft de hoogste methaanverliezen (ruim 22.800 kg/jaar) terwijl de methaanproductie met 51% afneemt ten opzichte van scenario's 4 en 5 waarin dagverse mest wordt vergist.

4.2 Ammoniak

Figuur 7 geeft de totale ammoniakverliezen weer voor de verschillende scenario's. In bijlage 2 zijn de volledige resultaten uitgewerkt.

**Figuur 7** Ammoniakemissies (kg NH₃-N/jaar) per scenario.

Voor ammoniak liggen de gasvormige verliezen van scenario 7 het laagst, met een totaalverlies van ruim 2.700 kg/jaar. Ten opzichte van het referentiescenario van De Hoeve Innovatie (scenario 2) is dit een afname van 69%. Het dagelijks verwijderen van mest uit de stal in scenario 4, 5 en 6 zorgt voor een flinke afname van de totale uitstoot (gemiddeld 44% ten opzichte van vergisten van oude mest, scenario 3). Voor ammoniak heeft scenario 1 de hoogste verliezen (ruim 13.000 kg/jaar), waarbij het lang opslaan van drijfmest in de stal de belangrijkste rol speelt.

Figuur 7 geeft duidelijk weer dat verwijderen van dagverse mest voor een forse daling van de ammoniakemissie in de stal zorgt (scenario 4 t/m 7). Wel stijgt hier de emissie van ammoniak tijdens aanwending van het digestaat of de dunne en dikke fractie van het digestaat, door het hogere ammonium-N gehalte wat in verse mest aanwezig is. Dit wordt echter ruimschoots gecompenseerd

door de afname van emissies in de stal. Aanwending van het N- en K-concentraat in scenario 7 geeft de laagste ammoniakemissie (420 kg/jaar).

4.3 Overige stikstof (N₂O en NO)

In tabel 3 zijn de verliezen van N₂O en NO samengevoegd en weergegeven voor de verschillende scenario's.

Tabel 3 Gasvormige verliezen van N₂O en NO (kg N/jaar) per scenario.

Scenario	Stal	Externe opslag	Opslag na vergisten	Aanwending	Totaal
RS.1: Drijfmest opslaan en aanwenden (NL)	135	0	0	443	577
RS.2: Drijfmest opslaan en aanwenden (De Hoeve)	79	0	0	250	330
RS.3: Monovergisten standaard	79	0	0	245	325
S.4: Monovergisten dagverse mest	19	0	0	362	381
S.5: Monovergisten dagverse mest + scheiding digestaat	19	0	0	362	381
S.6: Verg. verse mest en stromest + scheiden digestaat	20	0	0	345	365
S. 7: Verg. verse- en stromest + scheiden digestaat en dunne fractie	20	0	0	283	303

Uit de tabel blijkt dat de lachgas- en NO-verliezen niet veel verschillen tussen de scenario's. De gasvormige verliezen in de stal nemen met ongeveer 60 kg/jaar af wanneer dagontmesting wordt toegepast. Echter zorgt een toename van de N-verliezen tijdens aanwending voor een hogere totale emissie bij de scenario's met vergisten van dagverse mest en scheiden van het digestaat (scenario's 4, 5 en 6). Gemiddeld is de totale uitstoot voor deze scenario's ruim 375 kg/jaar. Scenario 7, waarin de dunne fractie van het digestaat verder wordt verwerkt in mineralenconcentraten en loosbaar water geeft een lichte daling in totale emissie (300 kg/jaar) door een reductie in emissie tijdens aanwending van de mineralenconcentraten.

4.4 Stikstofgas (N₂)

In tabel 4 zijn de verliezen van N₂ voor de verschillende scenario's weergegeven. In de literatuur wordt aangenomen dat stikstofgas vrijkomt als een factor 10 van de emissie van lachgas tijdens opslag in de stal. Bij opslag voor of na vergisting en tijdens aanwending is vooralsnog niet bekend dat er stikstofgas vrijkomt. Hierdoor wordt alleen een schatting van de emissies tijdens opslag in de stal weergegeven en is te zien dat het dagelijks verwijderen van mest voor een flinke afname zorgt, waarbij in de scenario's 4 t/m 7 ongeveer 100 kg/jaar vrijkomt.

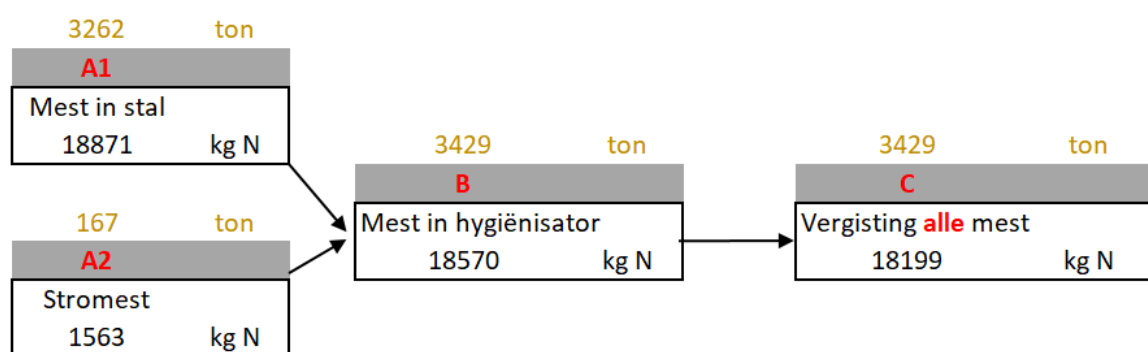
Tabel 4 Gasvormige verliezen van N₂ (kg N/jaar) per scenario.

Scenario	Stal	Externe opslag	Opslag na vergisten	Aanwending	Totaal
RS.1: Drijfmest opslaan en aanwenden (NL)	673	0	-	0	673
RS.2: Drijfmest opslaan en aanwenden (De Hoeve)	397	0	-	0	397
RS.3: Monovergisten standaard	397	0	0	0	397
S.4: Monovergisten dagverse mest	95	0	0	0	95
S.5: Monovergisten dagverse mest + scheiding digestaat	95	0	0	0	95
S.6: Verg. verse mest en stromest + scheiden digestaat	98	0	0	0	98
S. 7: Verg. verse- en stromest + scheiden digestaat en dunne fractie	98	0	0	0	98

5 Meststromen en samenstellingen

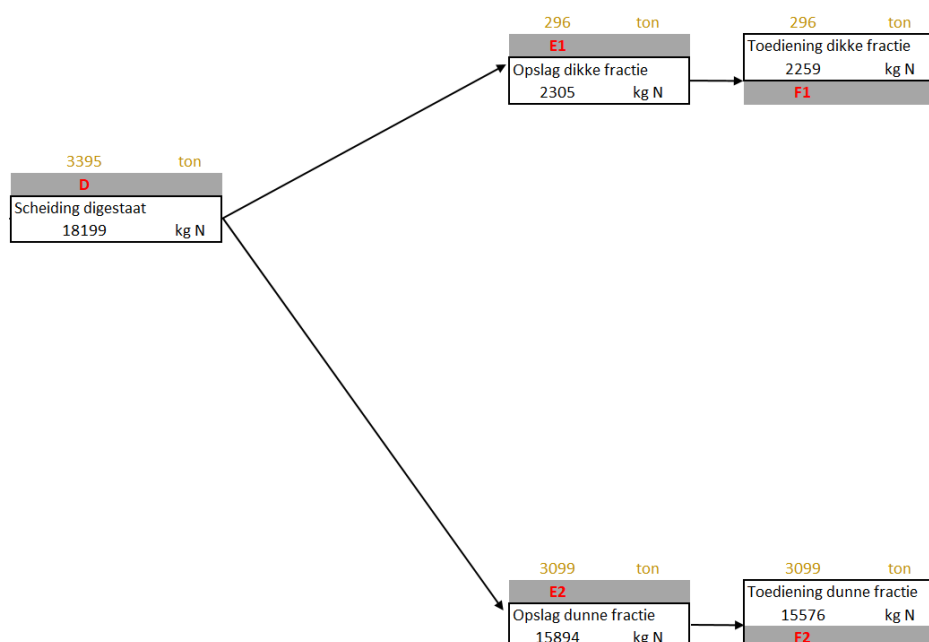
5.1 Meststromen

In figuur 8 is de meststroom van de huidige situatie op De Hoeve Innovatie weergegeven (scenario 6), tot aan vergisting van de mest waarbij de hoeveelheid (in ton) en stikstof (kg N) is weergegeven. De meststroom in deze figuur is voor scenario 6 en 7 gelijk. Hier is te zien dat er op jaarbasis ongeveer 3.200 ton drijfmest wordt geproduceerd. Daarbij wordt ruim 160 ton stromest afkomstig uit de kraamzeugenstal toegevoegd en in de hygiëniserator gemixt voordat de mest wordt vergist. In deze mix van drijfmest en stromest zit ruim 18.000 kg N.



Figuur 8 Hoeveelheid mest (ton) en stikstof (kg) in de huidige situatie op De Hoeve Innovatie tot en met vergisting.

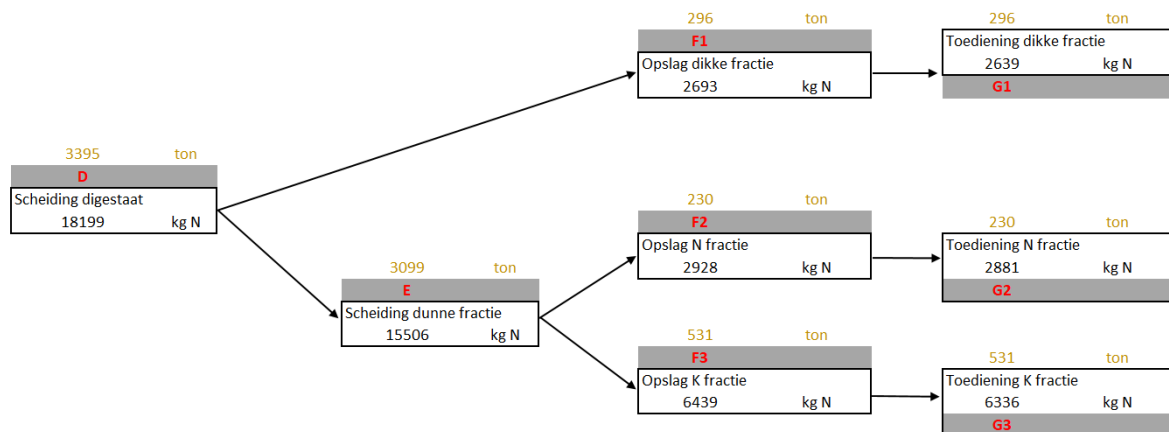
Figuur 9 geeft het vervolg van de meststroom weer, waarbij het digestaat na vergisting wordt gescheiden in een dunne en dikke fractie. Deze fracties worden op het bedrijf opgeslagen voordat ze worden getransporteerd voor toediening. De figuur laat zien dat na vergisting ongeveer 3.400 ton digestaat wordt geproduceerd. Na scheiding bevat de dikke fractie (300 ton) ongeveer 2.300 kg N. Van de dunne fractie wordt ongeveer 3.100 ton geproduceerd, welke bijna 16.000 kg N bevat.



Figuur 9 Hoeveelheid mest (ton) en stikstof (kg) in de huidige situatie op De Hoeve Innovatie van scheiding digestaat tot en met toediening fracties.

Tijdens toediening van de dikke fractie emitteert 45.5% van de TAN (totale ammoniakale stikstof) als ammoniak. De TAN bedraagt 12% van de totale hoeveelheid N in de dikke fractie. Dit is een schatting van de emissie gebaseerd op het uitrijden van vaste mest (zie bijlage 1 voor uitleg over de totstandkoming van deze emissiefactor). Bij toediening van de dunne fractie emitteert 24% van de TAN (69% van de totale hoeveelheid N) als wordt aangenomen dat deze zoals drijfmest oppervlakkig kan worden ingewerkt met een zodenbemester.

Figuur 10 geeft de meststroom weer wanneer het digestaat zou worden gescheiden en de dunne fractie verder wordt verwerkt in onder andere een N- en K-concentraat. De volumes zijn gebaseerd op een eerste proefopzet bij De Hoeve Innovatie en de hoeveelheden stikstof van de mineralenconcentraten zijn een schatting. Wanneer de dunne fractie verder wordt gescheiden kan er 230 ton N-concentraat worden geproduceerd, welke ongeveer 8.500 kg N bevat. Uit de dunne fractie kan ongeveer 530 ton K-concentraat worden geproduceerd met ruim 5.400 kg N. Bij toediening van het N- en K-concentraat emitteert respectievelijk 8% en 2% van de TAN.



Figuur 10 Hoeveelheid mest (ton) en stikstof (kg) in scenario 7.

Een samenvatting van de meststromen van alle scenario's is uitgewerkt in bijlage 4.

5.2 Volumina

In tabel 5 zijn de volumes en samenstelling van de uiteindelijke mestproducten vanaf vergisten van dagverse mest (scenario 4) samengevat, welke zijn berekend door het emissiemodel. In scenario 4 wordt er digestaat geproduceerd welke als organisch mestproduct kan worden toegediend op gras- of bouwland. Bij De Hoeve Innovatie kan er bijna 3.500 ton digestaat per jaar worden geproduceerd. In scenario 5 en 6 wordt het digestaat verder gescheiden in een dikke en dunne fractie, met als verschil dat in scenario 6 stromest is toegevoegd tijdens het vergisten. Hierdoor verschilt de samenstelling van de uiteindelijke producten. Er wordt hier aangenomen dat toevoeging van stromest voor een hoger OS-gehalte en betere C/N verhouding zorgt. In de tabel is te zien dat dit op basis van de genomen mestmonsters op het bedrijf echter niet het geval is. In hoofdstuk 7.4 wordt hier verder op in gegaan. Voor de studie is aangenomen dat bij scheiding van het digestaat met stromest 35% meer volume in de dikke fractie komt. Voor scenario 5 kan ruim 3.100 kg dunne fractie en 220 kg dikke fractie worden geproduceerd en scenario 6 geeft een dikke fractievolumen van 300 kg. In scenario 7 wordt de dunne fractie van het digestaat verder gescheiden, waarbij onder andere een N- en K-concentraat en losbaar water worden geproduceerd. Het N-concentraat kan worden gebruikt als kunstmestvervanger, waarbij De Hoeve Innovatie 270kg kan produceren. In hoofdstuk 6 wordt verder ingegaan op de mogelijke bestemmingen van deze mestproducten.

Tabel 5 *Berekende samenstelling (g/kg) en volumes (ton/jaar) van de mestproducten.*

	Scenario	Volume	N-min (TAN)	N-tot	P ₂ O ₅	K ₂ O	DS	OS
Digestaat dagvers	4	3395	3,4	5,2	3,4	3,9	50,0	33,5
Dunne fractie van digestaat dagvers	5	3176	3,6	5,1	3,1	3,9	41,7	21,2
Dikke fractie van digestaat dagvers	5	219	0,9	6,3	7,2	3,5	297,6	210,7
Dunne fractie van digestaat met stro	6	3099	3,4	4,7	3,2	4,2	38,8	20,5
Dikke fractie van digestaat met stro	6 + 7	296	1,0	7,0	9,5	3,6	264,6	156,9
N-concentraat ¹	7	270	12,5	12,5	0,0	0,0	12,5	0,0
K-concentraat ¹	7	624	7,2	13,0	8,3	21,3	85,6	68,1
Permeaat ¹ (water)	7	2434	0,02	0,02	0,0	0,0	0,1	0,0
Bezinksel ¹	7	520	9,3	14,5	11,0	2,4	135,5	86,3

¹ Samenstelling gebaseerd op een eerste proefopzet en inschatting van De Hoeve Innovatie.

6 Inzetbaarheid mestproducten

In dit onderzoek zijn de mestproducten niet beproefd op toepassing in akkerbouw en melkveehouderij (gras en mais). Op grond van bestaande kennis wordt hier alleen weergegeven wat de mogelijke bestemming zou kunnen zijn en wat de landbouwkundige waarde is voor de gebruiker.

De mestproducten die in dit hoofdstuk zijn beschreven kunnen voor verschillende doeleinden worden gebruikt, waarbij de gangbare mestproducten bestaan uit drijfmest welke voor langere tijd is opgeslagen en, in de situatie van De Hoeve Innovatie, middels een monovergister verder wordt verwerkt. De eigenschappen die de mestproducten hierdoor krijgen, met name de samenstelling (nutriënten en organische stof) welke in dit hoofdstuk zijn aangenomen, bepalen in welke mate de producten effectief kunnen worden ingezet en van waarde zijn voor de bodem en gewassen waar ze worden toegediend. Naast dat het vergisten van verse(re) mest zorgt voor een hogere biogasopbrengst door het hogere OS-gehalte, zal het digestaat ook meer stikstof bevatten dan oude mest waarbij een groot deel van de minerale stikstof als ammoniak emitteert.

In Tabel 6 is de aanvoer weergegeven van nutriënten en effectieve organische stof bij de verschillende mestproducten van De Hoeve. Voor het digestaat en dunne en dikke fracties is uitgegaan van een aanvoer van 70 kg P₂O₅ per ha. Bij het digestaat en de dunne fracties is onderscheid gemaakt tussen toediening op grasland met een zodebemester (19% ammoniakemissie), ondiepe injectie op bouwland (24% ammoniakemissie, o.a. wintertarwe) en diepe injectie op bouwland (2% ammoniakemissie, o.a. aardappelen). Bij de dikke fracties is alleen gekeken naar toediening op bouwland, waarbij onderscheid is gemaakt tussen direct inwerken (22% ammoniakemissie) en niet direct inwerken (46% ammoniakemissie). Voor het N-concentraat is uitgegaan van toediening op grasland en bij wintertarwe, terwijl voor het K-concentraat is uitgegaan van een toediening op bouwland (aardappelen). In de tabel is tevens weergegeven hoeveel nutriënten en EOS worden aangevoerd bij de referentie-mestsoorten rundveedrijfmest, varkensdrijfmest en mineralenconcentraat. Dat laatste betreft NK-concentraten zoals geproduceerd in de pilot Mineralenconcentraten. Bij de berekeningen is uitgegaan van de uitgangspunten zoals gehanteerd in Van Dijk et al. (2020). Voor de berekening van de effectieve organische stof in de vergiste varkensmestproducten is uitgegaan van een humificatiecoëfficiënt van 0,60 gebaseerd op een afbraak van 50% van de organische stof in de vergister (Van Geel et al., 2019).

Hieronder wordt per mestproduct de landbouwkundige waarde besproken.

Tabel 6 Aanvoer van nutriënten en effectieve organische stof (EOS) bij gebruik van mestproducten organische stofproducten van De Hoeve Innovatie en referentiemeststoffen; de vetgedrukte getallen geven de aangehouden dosering aan (Nwz = werkzame N).

Product	Gewas	Dosering ton/ha	N-tot kg/ha	Nwz kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha	EOS kg/ha
Digestaat	Gras, zodebemester	21	107	70	70	80	414
	Bouwland, diepe injectie	21	107	77	70	80	414
	Bouwland, ondiepe injectie	21	107	62	70	80	414
Dunne fractie digestaat	Gras, zodebemester	23	115	79	70	88	287
	Bouwland, diepe injectie	23	115	89	70	88	287
	Bouwland, ondiepe injectie	23	115	71	70	88	287
Dunne fractie digestaat (+ stro)	Gras, zodebemester	22	103	71	70	92	269
	Bouwland, diepe injectie	22	103	80	70	92	269
	Bouwland, ondiepe injectie	22	103	64	70	92	269
Dikke fractie digestaat	Bouwland, direct onderwerken	10	61	16	70	34	1229
	Bouwland, niet direct on	10	61	14	70	34	1229

Product	Gewas	Dosering ton/ha	N-tot kg/ha	Nwz kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha	EOS kg/ha
Dikke fractie digestaat	Bouwland, direct onderwerken	7	52	15	70	27	694
(+ stro)	Bouwland, niet direct onderwerken	7	52	13	70	27	694
N-concentraat	Gras, zodebemester	6	76	70	0	0	0
	Bouwland, ondiepe injectie	9	109	100	0	0	0
K-concentraat	Bouwland, diepe injectie	7	88	66	58	150	288
	Bouwland, ondiepe injectie	7	88	55	58	150	288
Referentiemeststoffen							
Mineralenconcentraat	Gras, zodebemester	11	78	70	5	104	
	Wintertarwe, ondiepe injectie	16	112	100	7	149	
	Aardappel, diepe injectie	16	112	107	7	150	
<i>Rundveedrijfmest</i>	Gras, zodebemester	47	187	88	70	252	2319
	Bouwland, ondiepe injectie	47	187	99	70	252	2319
	Bouwland, diepe injectie	47	187	79	70	252	2319
<i>Varkensdrijfmest</i>	Gras, zodebemester	18	126	80	70	84	473
	Bouwland, ondiepe injectie	18	126	91	70	84	473
	Bouwland, diepe injectie	18	126	77	70	84	473

Digestaat

Zonder verdere verwerking van dit mestproduct zijn de fysieke eigenschappen van digestaat vergelijkbaar met dierlijke mest en kan het op eenzelfde manier worden toegepast als drijfmest (Van Geel & Van Dijk, 2013). Wel verandert de samenstelling van digestaat ten opzichte van de ingaande drijfmest naar de vergister, waarbij met name het organische stofgehalte sterk afneemt doordat een deel van de OS in de vergister wordt omgezet in biogas. Verder is stikstof in digestaat voor een groter deel aanwezig als minerale stikstof, waardoor de N makkelijker beschikbaar is voor de plant. Wel is er daardoor, afhankelijk van de toedieningsmethode, een groter risico op ammoniakemissie. In vergelijking met onvergiste mest zal de beschikbaarheid van de organische stikstof op de korte termijn lager zijn doordat de organische stof in het digestaat minder snel afbreekt. Los van de processen die in de vergister plaatsvinden is de samenstelling van het digestaat sterk afhankelijk van de samenstelling van de ingaande drijfmest (vleesvarkens- of zeugenmest) en eventuele toevoeging van plantmateriaal (zoals stro).

Het digestaat zou kunnen worden gebruikt op grasland. Echter, melkveebedrijven zullen eerst hun eigen mest gebruiken, waardoor er naar verwachting weinig ruimte is voor het digestaat. Bovendien maken veel melkveebedrijven gebruik van derogatie en deze geldt alleen voor graasdiermest. Alleen op melkveebedrijven met een lage eigen mestproductie is het digestaat te gebruiken. Bij eenzelfde fosfaataanvoer wordt met het digestaat aanzienlijk minder kali aangevoerd dan met bijvoorbeeld rundveedrijfmest (Tabel 9). Ook de werkzame N-aanvoer is wat lager bij gebruik van digestaat door het relatief hoge fosfaatgehalte. De verschillen tussen digestaat en varkensmest zijn geringer.

In de akkerbouw is het product in te zetten als alternatief voor bijvoorbeeld rundveedrijfmest of varkensdrijfmest. Het digestaat is qua aanvoer van nutriënten en EOS redelijk vergelijkbaar met varkensdrijfmest (Tabel 9). De organische stof in het digestaat is weliswaar stabielere dan in onvergiste mest, maar het gehalte is ook lager door afbraak in de vergister. In het algemeen zal door vergisting de EOS-aanvoer min of meer gelijk blijven, omdat in de vergister vooral de gemakkelijk afbreekbare organische stof afbreekt (niet-EOS-deel) die niet bijdraagt aan de humusvorming in de bodem. In vergelijking met rundveedrijfmest wordt met het digestaat aanzienlijk minder kali aangevoerd en ook de EOS-aanvoer is veel lager. Dit wordt vooral veroorzaakt door de lage N/P-, K/P- en EOS/P-verhouding in het digestaat t.o.v. rundveedrijfmest.

Naast de hierboven genoemde aspecten kent toepassing van digestaat enkele voordelen ten opzichte van drijfmest. Digestaat is dunner en homogener door onder andere de afbraak van organische stof tijdens vergisting. Hierdoor is het product beter verpompbaar. Verder wordt tijdens vergisting een groot deel van de vluchtige vetzuren afgebroken, waardoor er tijdens het uitrijden van digestaat

minder stankoverlast is. Ook wordt een groot deel van ziekteverwekkende bacteriën en schimmels en onkruidzaden gedood tijdens de vergisting.

Dikke fractie na scheiding digestaat

Digestaat kan verder worden gescheiden in een dikke en dunne fractie. Het grootste deel van de OS komt na het scheiden in de dikke fractie terecht, echter is de uiteindelijke verhouding afhankelijk van de manier waarop het digestaat wordt gescheiden. Ook komt een groot deel van het fosfaat in de dikke fractie terecht. Toepassing in de akkerbouw is een optie. Door het hoge fosfaatgehalte wordt echter relatief weinig werkzame stikstof en kali aangevoerd in vergelijking met het digestaat en rundvee- en varkensdrijfmest (Tabel 9). Wel wordt er in vergelijking met het digestaat en varkensdrijfmest meer organische stof aangevoerd, maar minder dan met rundveedrijfmest. De verwachting is dat met name door de lage stikstof- en kaliaanvoer de mogelijkheden voor afzet in de akkerbouw beperkt zullen zijn. De dikke fractie zal vooral zijn weg moeten vinden naar mestverwerkers en exporteurs, die er korrels dan wel compost van bereiden voor de buitenlandse markt.

Effect meevergisten stromest zeugen

Qua aanvoer van nutriënten is er weinig verschil tussen de dikke fractie ontstaan uit het digestaat waarin wel of geen stromest van zeugen is meevergist. De EOS-aanvoer met de vaste fractie is wel lager wanneer de zeugenstromest is meevergist. Dit komt door de lagere EOS/P-verhouding in vergelijking met de dikke fractie waarin geen zeugenstromest is meevergist. Mogelijk hangt dit samen met de toevoeging van de zeugenmest. In het algemeen is de EOS/P-verhouding in zeugenmest lager dan van vleesvarkensmest (www.handboekbodemenbemesting.nl).

Dunne fractie na scheiding digestaat

In het algemeen is na scheiding van digestaat de dunne fractie rijk aan opgeloste nutriënten zoals minerale stikstof en kalium (Hoeksma, 2013). Echter, de dunne fractie van De Hoeve Innovatie bevat ook nog relatief veel fosfaat. Tabel 9 laat zien dat bij een gelijke fosfaataanvoer er relatief weinig verschil is in werkzame stikstof- en kaliaanvoer tussen de dunne fractie en het digestaat. Hierdoor zal de dunne fractie, evenals het digestaat, op veel melkveebedrijven geen aantrekkelijk product zijn. Doordat de kaliaanvoer, evenals bij het digestaat, relatief laag is, is het voor akkerbouwers minder aantrekkelijk dan rundveedrijfmest. De dunne fractie is qua bemestende waarde wel vergelijkbaar met varkensdrijfmest.

Effect meevergisten stromest zeugen

Qua aanvoer van nutriënten en EOS is er weinig verschil tussen de dunne fractie ontstaan uit het digestaat waarin wel of geen stromest van zeugen is meevergist.

Mineralenconcentraat na scheiding dunne fractie digestaat

De dunne fractie van het digestaat kan verder worden bewerkt om concentraten te maken die gericht met precisiebemesting ingezet kunnen worden. Door de productie van 67% loosbaar water worden veel transportkosten bespaard. Bij De Hoeve Innovatie wordt het concentraat zoals weergegeven in figuur 6 geproduceerd. Hierbij ontstaat een stikstof- en kaliconcentraat. Een eerste schatting van de samenstellingen voor deze concentraten is weergegeven in tabel 5.

N-concentraat

De potentiële markt voor kunstmest-N-achtige producten in Europa is groot. Om te kunnen concurreren met 'echte' kunstmest moeten de eigenschappen van minerale N-producten uit mest bij voorkeur zo dicht mogelijk bij die van bestaande kunstmestsoorten liggen. Het N-concentraat zoals hier geproduceerd heeft in vergelijking met kunstmest een laag N-gehalte en is meer vergelijkbaar met mineralenconcentraten in de pilot Mineralenconcentraten. Doordat het een relatief volumineus product is, zal het vooral in Nederland moeten worden afgezet. Het product bevat alleen stikstof en zou passen bij de teelt van gras en wintertarwe. Bij toepassing op grasland in de eerste snede en bij wintertarwe is een dosering nodig van 6-9 ton per ha (Tabel 6). Dit is met bestaande apparatuur (i.e. mesttoedieningsmachines, veldspuit) slecht te doseren, waardoor er aangepaste machines nodig zijn zoals de injectieapparatuur ontwikkeld binnen het project 'Vruchtbare Kringloop Achterhoek'. Bij

toepassing op grasland kan ook worden overwogen het product te mengen met dierlijke mest. Dit kan de acceptatie verhogen (Van Dijk et al., 2020).

In vergelijking met kunstmest zal er iets meer risico zijn op ammoniakemissie, waardoor de werkzaamheid t.o.v. kunstmest iets lager zal zijn. De hogere ammoniakemissie komt doordat op grasland en wintertarwe het product moet worden toegediend via ondiepe injectie. Zou het product worden toegediend via diepe injectie op onbeteeld bouwland, voorafgaand aan bijvoorbeeld aardappelen of suikerbieten, dan is de ammoniakemissies lager en vergelijkbaar met die uit kunstmest.

Met name voor gebruik op melkveebedrijven zal de RENURE-status belangrijk zijn, anders gaat het product concurreren met op het melkbedrijf geproduceerde dierlijke mest. Om de RENURE-status te krijgen moet een meststof een minerale N:totaal N-verhouding van $\geq 90\%$ hebben of een totale organische koolstof (TOC):totale N-verhouding van ≤ 3 . Hierbij mag in de verhoudingsgetallen de eventueel toegevoegde stikstof die niet afkomstig is van dierlijke mest niet worden meegerekend. Op basis van een eerste inschatting van de samenstelling voldoet dit N-concentraat hieraan.

K-concentraat

Het kali-concentraat is bij De Hoeve Innovatie ontstaan na membraandestillatie. Afhankelijk van de mate waarin de dunne fractie ontdaan is van organisch materiaal zullen er in meer of minder mate andere nutriënten, zoals organische stikstof en fosfaat, en organische stof meekomen. In het K-concentraat bevindt zich naast kali, stikstof, fosfaat en organische stof (Tabel 10).

Evenals het N-concentraat is het K-concentraat een relatief volumineus product en wordt ook uitgegaan van afzet in Nederland. In de akker- en tuinbouw is het product het meest interessant bij gewassen met een hoge kali-behoefte, zoals aardappelen en bepaalde groenten zoals peen. In aanvulling op (de dunne fractie van) varkensmest kan de kali-aanvoer worden verhoogd. Met het K-concentraat komt ook stikstof en fosfaat mee en bij een kaliaanvoer van 150 kg K₂O per ha wordt er circa 60 kg werkzame N en 60 kg P₂O₅ per ha toegediend. De hoge P₂O₅-aanvoer maakt het product minder aantrekkelijk als kali-meststof. In vergelijking met kunstmest moet er veel meer product worden toegediend; bij de hierboven genoemde kalidoseringen 5-7 ton product per ha. Hiervoor is aangepaste injectieapparatuur nodig. Door het hoge fosfaatgehalte en het feit dat het een relatief volumineus product is (meer transportkosten, lastiger met beschikbare apparatuur toe te dienen), zal naar verwachting de acceptatie relatief laag zijn. Een optie zou nog wel kunnen zijn om het product te mengen met (de dunne fractie van) varkensmest.

Op melkveebedrijven is het product minder interessant, omdat het concentraat geen RENURE-status zal krijgen en als dierlijke mest wordt aangemerkt. Het gaat dan concurreren met de eigen mest op het bedrijf vanwege de aanwezigheid van stikstof en fosfaat in het concentraat. Daarnaast is de kalibehoefte op melkveebedrijven meestal niet hoog.

7 Discussie en conclusies

7.1 Emissieberekeningen modelstudie en actuele emissies

Om te bepalen welke emissies vrijkomen bij verschillende scenario's van mestverwerking en hoe de samenstelling van de mestproducten daarbij verandert, is voor deze studie een model opgezet. Aan de hand van vastgestelde emissiefactoren voor N-emissies, en methaanemissies op basis van het organische stofgehalte en het biochemisch methaan potentieel, geeft het model weer hoe emissies veranderen, waarbij opslagduur en verdere mestbewerking de belangrijkste verschillen zijn tussen de scenario's. Omdat de werkelijke situatie bij De Hoeve Innovatie niet statisch is en de mestsamenstelling, hoeveelheid mest die naar de vergister gaat en samenstellingen en volumes van geproduceerde digestaat en gescheiden fracties variëren in de tijd, zullen de absolute getallen van het model niet een op een overeenkomen met de werkelijke situatie en opbrengsten van het bedrijf. Echter wordt uit de resultaten van het model wel duidelijk hoe de verschillende scenario's zich tot elkaar verhouden en welke scenario's de meeste potentie hebben tot emissiereductie op bedrijfsniveau. De resultaten van het model zijn op die manier gebruikt in deze studie.

Voor De Hoeve Innovatie loopt op het moment van deze studie een onderzoek waarbij de actuele emissies worden gemeten en wordt gekeken naar verschillen tussen hun referentiestallen en de stallen waar dagontmesting wordt toegepast. De berekende emissies uit de modelstudie kunnen hiermee worden vergeleken, om te bepalen of de gemeten reducties hiermee overeenkomen.

7.2 Emissies tijdens aanwending

De laatste stap in elk scenario is aanwending van de mest(producten) bij de teelt van gewassen, waarbij het model de N-emissies berekent. Dit is op eenzelfde manier opgebouwd als de voorgaande stappen in het model: alle stikstofhoudende emissies worden berekend met een specifieke emissiefactor die voor het betreffende stikstofgas tijdens aanwending is bepaald (uit Van Bruggen et al., 2019). Hierbij vormen emissies die vrijkomen tijdens aanwending de grootste onzekerheid: er zijn geen specifieke emissiefactoren bepaald voor mestproducten zoals digestaat, dikke en dunne fractie van digestaat, of N- en K-concentraten. Er zijn echter wel emissiefactoren bekend voor drijfmest, vaste mest en kunstmestproducten. De producten die in de scenario's van deze studie worden gevormd, zijn op basis van expert judgement vergeleken met deze producten, om zo een emissiefactor toe te kennen die het beste aansluit op het mestproduct. Dit vergroot de onzekerheid van de emissies tijdens aanwending die zijn berekend, wat direct aangeeft dat meer onderzoek naar deze stap nodig is. De beperkte literatuur die beschikbaar is, is niet eenduidig over de emissies die optreden wanneer onbewerkte mest of digestaat wordt toegediend aan de bodem, waarbij een groot aantal factoren invloed hebben op de emissies die vrijkomen (e.g. opslagduur en -methode van de mest, toedieningstechniek, weersomstandigheden, viscositeit van de mest en bodemconditie). Verder is er nog weinig veldonderzoek gedaan naar het verschil in bemestende waarden en organische stofafbraak van digestaat van zowel rundvee- als varkensdrijfmest, waardoor nog geen duidelijk beeld kan worden gevormd wat het aandeel van stikstofemissies tijdens aanwending is van verschillende mestproducten. In deze studie is voor digestaat uitgegaan van dezelfde emissiefactor als drijfmest wanneer deze wordt aangewend via ondiepe injectie (zodebemesting). Echter kan digestaat ook via diepe injectie worden aangewend (vooral op zandgrond toegepast), wat de emissiefactor voor ammoniak aanzienlijk verlaagd (van 24% naar 2%). Resultaten voor emissies tijdens aanwending en de totale ammoniakemissie kunnen voor de scenario's waarin digestaat niet verder wordt verwerkt daarom lager uitkomen als wordt uitgegaan dat het digestaat enkel via diepe injectie wordt aangewend.

Emissies die optreden *na* aanwending zijn buiten beschouwing gelaten. Bodemprocessen, lokale omstandigheden en het effect van verschillende mestproducten op deze processen zijn te complex en plaats specifiek om mee te kunnen nemen in deze modelstudie.

7.3 Overige stikstofemissies

Naast ammoniakemissies zijn ook de overige N-emissies berekend (N_2O , NO en N_2). Deze spelen in verhouding tot ammoniakemissies in de stal en tijdens opslag een zeer kleine rol. Wanneer drijfmest wordt opgeslagen in een volledig onderkelderde stal, emitteert 57% van de TAN als NH_3 . De bijdrage van N_2O en NO is 0.2% emissie van de totaal aanwezige stikstof en voor N_2 -emissies wordt aangenomen dat deze als een factor 10 van N_2O emitteert, in dit geval 2% van N-totaal. De bijdrage van deze stikstofhoudende emissies is dus klein en de onzekerheid van de emissiefactoren is groot: emissies van N_2O , NO en N_2 zijn in de praktijk niet of nauwelijks te meten waardoor huidige emissiefactoren van deze gassen voor alle staltypen en bij mestopslag gelijk zijn bij gebrek aan data. Hoewel deze emissies wel in de berekeningen zijn meegenomen om een inschatting te kunnen maken van de totale N-emissies, moet rekening worden gehouden met bovenstaande onzekerheden.

7.4 Samenstelling mestproducten

Om te bepalen welk scenario van mestbewerking de meest optimale N-P-C-K verhouding zou hebben en hoe de mestproducten tussen de scenario's van elkaar verschillen zijn er tussen juli en oktober 2020 bij verschillende stappen van het mestverwerkingsproces mestmonsters genomen op De Hoeve Innovatie. Hiervoor is het systeem eerst met toevoeging van stromest gedraaid en in oktober 2020 is er gedurende 2 weken geen stromest toegevoegd, waarbij aan het eind van deze periode opnieuw mestmonsters zijn genomen.

De Hoeve Innovatie voegt stromest uit de dragende zeugenstal toe om tot een hogere biogasproductie en een betere C/N verhouding te komen. Echter kwam uit de analyseresultaten van de mestmonsters het tegenovergestelde: de C/N verhouding en het OS-gehalte in de mestproducten zonder stromest was in de meeste gevallen hoger dan bij de mestproducten met toevoeging van stromest (zie tabel 7). Hier zijn verschillende oorzaken voor gevonden welke hieronder worden besproken.

Tabel 7 Samenstelling mestproducten (g/kg) van De Hoeve Innovatie op basis van geanalyseerde mestmonsters.

	N-min	N-totaal	P ₂ O ₅	K ₂ O	C	OS	C/N
Externe opslag (met stro)	3,4	5,1	3,4	3,8	31,0	65,9	6,9
Externe opslag (zonder stro)	3,6	5,8	3,3	3,9	32,1	68,3	7,5
Ingaande mest vergister (met stro)	3,2	5,2	3,1	4,0	23,8	50,6	5,6
Ingaande mest vergister (zonder stro)	3,8	5,7	3,0	3,6	28,8	61,2	6,0
Digestaat (met stro)	3,6	5,3	2,9	4,0	17,9	38,2	4,0
Digestaat (zonder stro)	3,9	5,3	2,5	3,5	17,1	36,5	4,1
Dikke fractie (met stro)	1,4	8,6	6,9	4,1	108,5	230,9	15,6
Dikke fractie (zonder stro)	1,1	7,6	7,5	3,3	122,3	260,2	20,0
Dunne fractie (met stro)	3,6	4,9	2,5	3,9	11,4	24,3	2,9
Dunne fractie (zonder stro)	4,0	5,9	3,2	3,7	12,3	26,2	2,6

Mest uit verschillende stallen (vleesvarkens, kraamzeugen, dragende zeugen) komt bijeen in een hygiënisator en wordt in delen naar de vergister geleid. Drijfmest die dagelijks uit de vleesvarkensstal komt wordt met water uit de stal gespoeld. Dit water komt (deels) ook bij de verschillende soorten mest die naar de vergister wordt geleid. Deze processen worden bij De Hoeve Innovatie nog

geoptimaliseerd, waardoor de verhouding tussen de mestsoorten die in de vergister gaan, sterk kunnen verschillen.

In de week waarin de mestmonsters zijn genomen voor het systeem met toevoeging van stromest, was de biogasproductie een aantal dagen lager dan normaal (zie bijlage 5). In deze dagen is er relatief veel water en zeugenmest naar de vergister geleid. Zeugenmest heeft een lager organische stofgehalte dan vleesvarkensmest, en in combinatie met de verdunningsfactor van water heeft dit geleid tot lagere biogasopbrengsten en slechtere samenstelling van de ingaande mest naar de vergister.

In de week waarin de mestmonsters zijn genomen voor het systeem zonder stromest, was de biogasproductie hoger dan normaal (zie bijlage 5). In deze dagen is het spoelproces waarmee de vleesvarkensdrijfmest dagelijks wordt verwijderd aangepast en is er relatief veel dikke vleesvarkensmest naar de vergister geleid, wat te zien is aan het organische stofgehalte van de ingaande mest naar de vergister.

De vraag wat het effect is van het toevoegen van stromest op de samenstelling van de mestproducten is door het lopende optimalisatieproces niet duidelijk te beantwoorden op basis van de mestmonsters. Uit de modelberekeningen is echter wel aangetoond wat het effect van het samenvoegen van stromest en vleesvarkensmest is en wat dit voor gevolgen heeft voor de samenstelling van het digestaat en uiteindelijke mestproducten. Omdat De Hoeve Innovatie dagelijkse productiegegevens beschikbaar heeft over de hoeveelheid (gemengde) drijfmest, stromest en daaraan gekoppelde biogasopbrengst, kan op basis hiervan voorlopig worden geconcludeerd dat een hoge biogasopbrengst gelinkt is aan toevoeging van stromest en/of het aandeel vleesvarkensmest ten opzichte van kraamzeugenmest wat de vergister ingaat.

In tabel 11 is verder te zien dat het fosfaatgehalte van de dunne fractie van het digestaat met en zonder stromest respectievelijk 2,5 en 3,2 g/kg is. Dit is hoger dan wordt verwacht van een dunne fractie. Dit kan worden verklaard door een relatief laag scheidingsrendement, waarbij fosfaat niet gebonden is aan de organische stof, maar als fosfaat-zouten voorkomen in de mest (Timmerman et al., 2018). Bij scheiding komen deze fosfaat-zouten in de dunne fractie terecht, waardoor het gehalte relatief hoog is.

7.5 Bedrijfseconomische overwegingen

De focus van deze studie was het berekenen van de milieukundige effecten van mestverwerking, waarbij is gekeken naar methaan- en stikstofhoudende gasvormige verliezen. Door dit voor verschillende scenario's in kaart te brengen, kan worden beoordeeld welk scenario de minste gasvormige verliezen geeft en welke mestproducten kunnen worden geproduceerd. Voor de scenario's zijn echter geen bedrijfseconomische aspecten meegenomen, welke wel een belangrijke rol spelen in de uiteindelijke besluitvorming op bedrijfsniveau. Belangrijke aspecten zijn bijv. kosten van de mestafzet en transport van de verschillende fracties (digestaat, dikke en dunne fractie of N- en K-concentraten) tegenover b.v. de extra investeringen van de mestbewerking in scenario 7. Verder brengt het dagelijks verwijderen van drijfmest uit de stal ook kosten met zich mee waaronder het spoelproces zelf en de opslag van de verse mest voor vergisting. Daar tegenover staan opbrengsten zoals een verbeterd stalklimaat door de lage ammoniakemissie, waardoor bij De Hoeve Innovatie een hogere groei en lagere voederconversie van de vleesvarkens wordt gerealiseerd. Er zal dus eerst een economische berekening op bedrijfsniveau moeten worden gedaan om per bedrijfssituatie te beoordelen wat het meest geschikte mestverwerkingsscenario is.

7.6 Conclusies en aanbevelingen

Optimale route verwerking van varkensmest

Op basis van de modelstudie is het dagelijks verwijderen van mest uit de stal en het digestaat verder verwerken in een dikke fractie en een N- en K-concentraat (scenario 7) het scenario die de laagste emissies geeft van ammoniak. Voor methaanverliezen zijn de scenario's vanaf het dagelijks verwijderen van mest uit de stal nagenoeg gelijk, maar als gekeken wordt naar de biogasproductie ten opzichte van de totale methaanverliezen komen scenario 6 en 7 wederom het beste naar voren, waarbij de afname in methaanverliezen bij scenario 7 ten opzichte van scenario 6 verwaarloosbaar zijn (1%).

Het toevoegen van stromest aan het vergistingsproces leidt tot hogere biogasopbrengsten door het hogere organische stofgehalte en C/N verhouding van stromest. Dit is echter niet bevestigd uit de mestmonsteranalyses van deze studie door de variatie in meststromen naar de vergister (zie paragraaf 7.4). Na de optimalisatiefase van het systeem bij De Hoeve Innovatie, kan de analyse worden herhaald om aan te tonen of het OS-gehalte en de C/N verhouding significant verschilt.

Voor een complete afweging of scenario 7 daadwerkelijk de meest geschikte route is om varkensmest te verwerken met reductie van methaan- en stikstofverliezen, is het noodzakelijk om ook bedrijfseconomische aspecten mee te nemen. Alvorens dit systeem te implementeren adviseren we om deze economische analyse uit te voeren.

Emissies bij opslag

Het doel van de studie was onder andere om mogelijke afwenteling in beeld te brengen. Als de emissies in de stal sterk worden verlaagd en de N en C in de mest aanwezig blijven, mogen die later in de keten niet alsnog vrijkomen. Door de verwijdering van dagverse mest wordt de broeikasgasemissie inderdaad sterk beperkt (figuur 7), maar de emissie in de opslagsystemen is wat verhoogd. De winst in de stalemissie wordt geenszins teniet gedaan. Dit effect zien we sterker terug bij de ammoniakemissie (figuur 8). Ook na het vergisten bij de opslag van het digestaat in de meststalo kan alsnog ammoniak vrijkomen. Digestaat is iets rijker aan $\text{NH}_4\text{-N}$ en het verdient daarom aanbeveling om niet alleen aandacht te besteden aan beperking van de stalemissies, maar ook aan de opslagemissies.

Emissies bij aanwenden

Zoals in paragraaf 7.2 besproken, vormen de emissies die vrijkomen tijdens aanwending nog een grote onzekerheid aangezien er weinig metingen zijn gedaan voor de mestproducten die in deze studie zijn meegenomen. Om een inschatting te maken van de vrijgekomen emissies tijdens aanwending, kan gebruik worden gemaakt van emissiefactoren voor drijfmest, vaste mest, kunstmestproducten of compost. Geen van deze producten komt echter daadwerkelijk overeen met de specifieke eigenschappen van digestaat, dikke en dunne fractie van digestaat of N- en K-concentraten. Omdat deze mestproducten steeds meer onder de aandacht komen, zeker als na herziening van het mestbeleid deze producten als RENURE (Huygens et al., 2020) of kunstmestvervangers worden gezien, is het van belang om een nauwkeuriger beeld te krijgen van de bijbehorende emissies die vrijkomen tijdens aanwending. We adviseren om in te zetten op verder onderzoek naar deze emissies.

Toepassing bij gewassen

Het digestaat, de dunne fractie en het K-concentraat is voor de melkveehouderij een minder aantrekkelijke meststof, omdat er in verhouding tot stikstof veel fosfaat in zit. Bovendien wordt de stikstof aangemerkt als dierlijke mest. Beide aspecten leiden tot concurrentie met de eigen mest. Alleen op melkveebedrijven met een eigen mestproductie lager dan de plaatsingsruimte op de eigen grond is gebruik van deze producten een optie. Dit geldt ook voor het K-concentraat. Het N-concentraat kan bij een RENURE-status wel interessant zijn om kunstmest te vervangen. Op akkerbouwbedrijven zijn het digestaat en de dunne fractie zowel wat betreft nutriënten als EOS-aanvoer een alternatief voor varkensdrijfmest. Door de relatief lage N/P-, K/P- en EOS/P-verhouding wordt er met het digestaat en de dunne fractie minder nutriënten en EOS aangevoerd dan met

rundveedrijfmest. Met de dikke fractie wordt weinig stikstof en kali aangevoerd, wel is de EOS-aanvoer hoger dan bij varkensdrijfmest. Het N-concentraat zou bij de teelt van wintertarwe kunnen worden toegepast als vervanger van kunstmest.

Literatuur

- Blanken, K., F. de Buisonje, A. Evers, W. Ouweltjes, J. Verkaik, I. Vermeij en H. Wemmenhove. 2020. Kwantitatieve informatie veehouderij 2020-2021. Wageningen Livestock Research, Handboek 43.
- Groenestein, C.M., J. Mosquera, R.W. Melse. 2016. Methaanemissie uit mest; Schatters voor biochemisch methaan potentieel (BMP) en methaanconversiefactor (MCF). Wageningen Livestock Research, Rapport 961.
- Groenestein, K., R. Melse, J. Mosquera, M. Timmermans. 2020. Effect mestvergisting op de emissies van broeikasgassen uit mest van melkvee: een literatuur- en scenariostudie. Wageningen, Wageningen Livestock Research, Rapport 1235.
- Hoeksma, P. 2013. Verwerking van digestaat uit co-vergisting. ACCRES-Wageningen UR, 28 pp.
- Huygens, D., Orveillon, G., Lugato, E., Tavazzi, S., Comero, S., Jones, A., Gawlik, B. and Saveyn, H.G.M., 2020. Technical proposals for the safe use of processed manure above the threshold established for Nitrate Vulnerable Zones by the Nitrates Directive (91/676/EEC). JRC121636.
- Timmerman, M., N. Verdoes, G.C.C. Kupers, R. Verheijen. 2018. Orthofosfaat gehalten in varkensmest en potentieel voor terugwinning. Wageningen Livestock Research, Rapport 1089.
- Van Bruggen, C., A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof en J. Vonk. 2019. Emissies naar lucht uit de landbouw in 2017. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOt-technical report 147.
- Van Dijk, W., R. Postma en J. Roefs. 2020. Landbouwkundige waarde mestbewerkingsproducten; Aanvoer van nutriënten en organische stof met geselecteerde product-markt-combinaties. Wageningen Research, Rapport WPR-1012.
- van Dijk, W., Postma, R., Gollenbeek, L. R., Mostert, P., Roefs, J., & Verdoes, N. (2020). Behoeft mestbewerkingsproducten in Nederland en Europa: Inventarisatie perspectievolle product-markt-combinaties. (Rapport / Wageningen University & Research, Businessunit Agrosysteemkunde; No. WPR-1011). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Businessunit Agrosysteemkunde.
- Van Geel, W., van Dijk, W. 2013. Toepassing van digestaat in de landbouw: bemestende waarde en risico's. ACCRES-Wageningen UR, 26pp.
- Van Geel, W., J. De Haan, M. Hanegraaf en R. Postma, 2019. Doorontwikkeling classificatieschemaorganische-stofrijke meststoffen. Deskstudie in het kader van de PPS Beter Bodembeheer / Effecten van organische stof. Wageningen Research, Open Teelten, Lelystad. Rapport WPR-project 3750384500, 58 pp.
- Vonk, J., S.M. van der Sluis, A. Bannink, C. van Bruggen, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J.W.H. van der Kolk, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.V. Oude Voshaar en G.L. Velthof. 2018. Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands – update 2018. Calculations of CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ with the National Emission Model for Agriculture (NEMA). Wageningen, The Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment. WOt-technical report 115.

Bijlage 1 Uitgangspunten modelstudie

In deze bijlage zijn de uitgangspunten voor de berekening van de meststromen uitgewerkt. De eerste tabel geeft de uitgangspunten weer die voor alle scenario's zijn gebruikt. In de daaropvolgende tabellen zijn scenario-specifieke uitgangspunten samengevat.

Tabel B1.1 *Uitgangspunten modelstudie voor alle scenario's.*

Enterische fermentatie	Bron/aanname
1.5 kg/dier/jaar	Bruggen et al., 2019
Mestexcretie	
5058 ton/jaar	Voor referentiescenario 1
3429 ton/jaar	Voor overige scenario's (o.b.v. werkelijk verwerkte mest bij De Hoeve Innovatie: 3262 m ³ drijfmest + 167 m ³ stromest)
Mest in stal	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 10%	Bruggen et al., 2019
MBP _{in} = 0.31 m ³ CH ₄ /kg OS	Groenestein et al., 2016
MCF 6 maanden = 0.36	Groenestein et al., 2016
Verhouding volume % CH ₄ -CO ₂ = 85-15	Groenestein et al., 2020
Opslag mest of digestaat	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0%	Aanname dat alle mineralisatie optreedt in de stal
MCF 6 maanden = 0.36	Groenestein et al., 2016
Verhouding volume % CH ₄ -CO ₂ = 60-40	Groenestein et al., 2020
Toediening mest of digestaat	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0%	Aanname dat alle mineralisatie optreedt in de stal
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 15.6% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0.9% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
NO-N = 1.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Verhouding volume % CH ₄ -CO ₂ = 60-40	Groenestein et al., 2020

Tabel B1.2 *Uitgangspunten modelstudie voor referentiescenario 1 en 2: Opslag en toediening drijfmest.*

Mest in stal	Bron/aanname
Opslagtermijn mest = 6 maanden	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 57% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
NO-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
N ₂ = 2% van N-totaal	Vonk et al., 2018
Mest in opslag	
Opslagtermijn = 1 maand	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0%	Aanname dat alle mineralisatie optreedt in de stal
Toediening mest	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0%	Aanname dat alle mineralisatie optreedt in de stal
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 24% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0.9% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
NO-N = 1.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Tabel B1.3 Uitgangspunten modelstudie voor referentiescenario 3: Vergisting drijfmest en toediening digestaat.

Mest in stal	Bron/aanname
Opslagtermijn mest = 6 maanden	
Vergisting drijfmest	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 10%	Aanname dat nog 10% mineralisatie optreedt
MCF = 0.94 (resterende CH ₄ komt vrij tot 94% van BMP 'verse mest')	Aanname gebaseerd op bekende biogasopbrengsten uit diverse literatuurbronnen
Lekkage CH ₄ uit vergister: 3% van productie	
Slip CH ₄ uit gasmotor/WKK: 1% van productie	
Opslag digestaat	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0%	
MCF = 0.95 (CH ₄ emissie neemt met 1% toe t.o.v. totale CH ₄ productie uit vergisting)	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
NO-N = 0% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
N ₂ = 0% van N-totaal	Aanname
Toediening digestaat	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0%	Aanname dat alle mineralisatie optreedt in de stal
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 24% van TAN	Op basis van expert judgement. <i>EF voor drijfmest (ondiepe injectie, zodebemester)</i>
N ₂ O-N = 0.9% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
NO-N = 1.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Tabel B1.4 Uitgangspunten modelstudie voor scenario 4: Vergisting dagverse mest en toediening digestaat.

Mest in stal	Bron/aanname
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N: 13.7% van TAN	Reductie van 76% o.b.v. Aarnink & Verhoeven (2018) voor vleesvarkens
N ₂ O-N = 0.05% van N-totaal	Reductie van 76% o.b.v. Aarnink & Verhoeven (2018) voor vleesvarkens
NO-N = 0.05% van N-totaal	Reductie van 76% o.b.v. Aarnink & Verhoeven (2018) voor vleesvarkens
N ₂ = 0.48 % van N-totaal	Reductie van 76% o.b.v. Aarnink & Verhoeven (2018) voor vleesvarkens
Vergisting drijfmest	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 10%	Aanname dat nog 10% mineralisatie optreedt
MCF = 0.94 (resterende CH ₄ komt vrij tot 94% van BMP 'verse mest')	Aanname gebaseerd op bekende biogasopbrengsten uit diverse literatuurbronnen
Lekkage CH ₄ uit vergister: 3% van productie	
Slip CH ₄ uit gasmotor/WKK: 1% van productie	
Opslag digestaat	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0%	
MCF = 0.95 (CH ₄ emissie neemt met 1% toe t.o.v. totale CH ₄ productie uit vergisting)	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Mest in stal	Bron/aanname
NO-N = 0% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
N ₂ = 0% van N-totaal	Aanname
Toediening digestaat	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0%	Aanname dat alle mineralisatie optreedt in de stal
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 24% van TAN	Op basis van expert judgement. <i>EF voor drijfmest (ondiepe injectie, zodebemester)</i>
N ₂ O-N = 0.9% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
NO-N = 1.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Tabel B1.5 *Uitgangspunten modelstudie voor scenario 5 en 6: Vergisting dagverse mest (respectievelijk zonder en met toevoeging stromest) en scheiding digestaat.*

Mest in stal	Bron/aanname
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N: 13.7% van TAN	Reductie van 76% o.b.v. Aarnink & Verhoeven (2018) voor vleesvarkens
N ₂ O-N = 0.05% van N-totaal	Reductie van 76% o.b.v. Aarnink & Verhoeven (2018) voor vleesvarkens
NO-N = 0.05% van N-totaal	Reductie van 76% o.b.v. Aarnink & Verhoeven (2018) voor vleesvarkens
N ₂ = 0.48 % van N-totaal	Reductie van 76% o.b.v. Aarnink & Verhoeven (2018) voor vleesvarkens
Vergisting drijfmest	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 10%	Aanname dat nog 10% mineralisatie optreedt
MCF = 0.94 (resterende CH ₄ komt vrij tot 94% van BMP 'verse mest')	Aanname gebaseerd op bekende biogasopbrengsten uit diverse literatuurbronnen
Lekkage CH ₄ uit vergister: 3% van productie	
Slip CH ₄ uit gasmotor/WKK: 1% van productie	
Scheiding digestaat	
Zonder stro: 6.5% dikke fractie, 93.5% dunne fractie	
Met stro: 8.7% dikke fractie, 91.3% dunne fractie	Aanname dat 35% meer volume in dikke fractie komt
Opslag dikke en dunne fractie	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0%	
MCF = 0.95 (CH ₄ emissie neemt met 1% toe t.o.v. totale CH ₄ productie uit vergisting)	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
NO-N = 0% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
N ₂ = 0% van N-totaal	Aanname
Toediening dikke en dunne fractie	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0%	Aanname dat alle mineralisatie optreedt in de stal
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N Dikke fractie = 45.5% van TAN	Op basis van expert judgement. <i>Gemiddelde van EF vaste mest binnen 1 dag inwerken (22%) en EF bovengronds uitrijden (69%)</i>
NH ₃ -N Dunne fractie = 24% van TAN	Bruggen et al., 2019 <i>EF drijfmest</i>
N ₂ O-N = 0.9% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
NO-N = 1.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Tabel B1.6 Uitgangspunten modelstudie voor scenario 7: Vergisting dagverse- en stromest + scheiding digestaat en scheiding dunne fractie

Mest in stal	Bron/aanname
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N: 13.7% van TAN	Reductie van 76% o.b.v. Aarnink & Verhoeven (2018) voor vleesvarkens
N ₂ O-N = 0.05% van N-totaal	Reductie van 76% o.b.v. Aarnink & Verhoeven (2018) voor vleesvarkens
NO-N = 0.05% van N-totaal	Reductie van 76% o.b.v. Aarnink & Verhoeven (2018) voor vleesvarkens
N ₂ = 0.48 % van N-totaal	Reductie van 76% o.b.v. Aarnink & Verhoeven (2018) voor vleesvarkens
Vergisting drijfmest	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 10%	Aanname dat nog 10% mineralisatie optreedt
MCF = 0.94 (resterende CH ₄ komt vrij tot 94% van BMP 'verse mest')	Aanname gebaseerd op bekende biogasopbrengsten uit diverse literatuurbronnen
Lekkage CH ₄ uit vergister: 3% van productie	
Slip CH ₄ uit gasmotor/WKK: 1% van productie	
Opslag dikke fractie en concentraten	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0%	
MCF = 0.95 (CH ₄ emissie neemt met 1% toe t.o.v. totale CH ₄ productie uit vergisting)	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N Dikke fractie = 2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
NH ₃ -N concentraten = 1.6% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
NO-N = 0% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
N ₂ = 0% van N-totaal	Aanname
Toediening dikke en dunne fractie	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0%	Aanname dat alle mineralisatie optreedt in de stal
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N Dikke fractie = 45.5% van TAN	Op basis van expert judgement. <i>Gemiddelde van EF vaste mest binnen 1 dag inwerken (22%) en EF bovengronds uitrijden (69%)</i>
NH ₃ -N N-concentraat = 8% van TAN	Op basis van expert judgement.
NH ₃ -N K-concentraat = 2% van TAN	Van Dijk et al., 2020
N ₂ O-N = 0.9% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
NO-N = 1.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Bijlage 2 Methaan- en ammoniakverliezen

Tabel B2.1 Methaanemissies (kg CH₄/jaar) per scenario

Scenario	Enterische fermentatie	Stal	Externe opslag	Vergisten	Opslag na vergisten	Totaal
RS.1: Drijfmest opslaan en aanwenden (NL)	4767	26340	562	-	-	31669
RS.2: Drijfmest opslaan en aanwenden (De Hoeve)	3579	17520	374	-	-	21472
RS.3: Monovergisten standaard	3579	17520	374	876	487	22835
S.4: Monovergisten dagverse mest	3579	88	729	1789	486	6672
S.5: Monovergisten dagverse mest + scheiding digestaat	3579	88	729	1789	236	6422
S.6: Verg. verse- en stromest + scheiden digestaat	3579	88	805	1975	260	6707
S. 7: Verg. verse- en stromest + scheiden digestaat en verwerking dunne fractie	3579	88	805	1975	186	6633

Tabel B2.2 Ammoniakemissies (kg N/jaar) per scenario

Scenario	Stal	Externe opslag	Opslag mestproducten	Aanwending	Totaal
RS.1: Drijfmest opslaan en aanwenden (NL)	11340	86		1756	13182
RS.2: Drijfmest opslaan en aanwenden (De Hoeve)	7437	48		1232	8717
RS.3: Monovergisten standaard	7437	48	238	1338	9061
S.4: Monovergisten dagverse mest	1785	359	352	2697	5193
S.5: Monovergisten dagverse mest + scheiding digestaat	1785	359	352	2735	5231
S.6: Verg. verse mest en stromest + scheiden digestaat	1746	371	364	2715	5196
S. 7: Verg. verse- en stromest + scheiden digestaat en dunne fractie	1746	371	203	426	2746

Bijlage 3 Gemeten ammoniakreductie bij De Hoeve Innovatie

Onderstaande tabel komt uit een notitie van Aarnink en Verdoes (2018) welke de berekende ammoniakemissies bij vleesvarkens voor de referentie- en proefafdeling van De Hoeve Innovatie weergeven. Samen met de meetgegevens van De Hoeve Innovatie in de vleesvarkens- en zeugenstal is op basis hiervan een reductiepercentage voor ammoniak doorgevoerd in het emissiemodel.

Tabel B3.1 *Berekende NH₃-emissies (kg/dier/jaar) bij vleesvarkens op De Hoeve Innovatie.*

Emissiebron	Rav-lijst Overige ¹⁾	Referentie	Proef
Mestkanaal		1,18	0,06
Waterkanaal		1,00	0,12
Schuine wanden			0,03
Bevuilde betonnen rooster			
Bevuilde metalen rooster		0,24	0,15
Bevuilde dichte vloer		0,10	0,10
Totaal		2,51	0,46
Reductie Proef (% van Ref.)		82%	
Emissiefactor Rav-lijst	3,00	3,00	
Reductie Proef (% van factor Rav-lijst)	85%	85%	

¹⁾ Emissiefactor 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst.

Bijlage 4 Samenvatting meststromen

Tabel B4.1 Mestromen (ton/jaar) per scenario.

	Stal	Vergist ¹	Opslag fracties					Toegediend	
			Digestaat	Dikke fractie	Dunne fractie	N-concentraat	K-concentraat	Water	Totaal fracties
S. 1	5058								5058
S. 2	3429								3429
S. 3	3429	3429	3395						3395
S. 4	3429	3429	3395						3395
S. 5	3429	3429		219	3176				3395
S. 6	3429	3429		296	3099				3395
S. 7	3429	3429		296		230	531	2072	1057

¹ Ingaande stroom vergister is voor de vergelijking van emissies gelijk gehouden voor alle scenario's. Bij scenario's waar stromest is toegevoegd is de hoeveelheid drijfmest lager om de totale hoeveelheid gelijk te houden.

Tabel B4.2 N-stromen (kg/jaar) per scenario.

	Stal	Vergist	Opslag fracties					Toegediend	
			Digestaat	Dikke fractie	Dunne fractie	N-concentraat	K-concentraat	Totaal fracties	
S. 1	33655								21078
S. 2	19837								11924
S. 3	19837	11924	11924						11686
S. 4	19837	17580	17580						17228
S. 5	19837	17580		1381	16198				17228
S. 6	20433	18199		2305	15894				17835
S. 7	20433	18199		2305		2878	6906		11886

Bijlage 5 Overzicht biogasopbrengsten van De Hoeve Innovatie

Bij De Hoeve Innovatie worden wekelijks overzichten opgesteld met de dagelijks verwerkte drijfmest, stromest en biogasopbrengst van de Encon-monovergister. In onderstaande overzichten zijn de gegevens samengevat van (een deel van) de periodes waarin mestmonsters zijn genomen.

In de week waarin de mestmonsters zijn genomen voor het systeem met toevoeging van stromest, was de biogasproductie een aantal dagen lager dan normaal wat kan worden teruggezien in de 'werkelijke productie/doelstelling'. In deze periode is relatief veel zeugenmest in de vergister gekomen, wat een lager organische stofgehalte heeft en dus zorgt voor lagere biogasopbrengsten, ondanks het toevoegen van stromest.

Week 30, 2020: Vergisting drijfmest met toevoeging stromest

		ma	di	wo	do	vr	za	zo	week
		20-jul	21-jul	22-jul	23-jul	24-jul	25-jul	26-jul	
BIOGAS									
Flow rate	(m³/u)	8.93	8.54	8.91	9.35	9.28	9.61	9.70	9.19
Productie	(m³)	214	205	214	224	223	231	233	1544
Methaanproductie	(m³)	143	138	143	150	149	154	156	1033
Doelstelling (CH ₄ productie/dag)	(m³)	220	o.b.v. 10m³ mest per dag						
Werkelijke productie / Doelstelling		65%	63%	65%	68%	68%	70%	71%	67%
MEST									
Verse mest verwerkt (totaal)	(m³)	10	8	10	11	10	10	10	69
Hakselaar - Stro gedoseerd	(ton)	0.350	0.700	0.350	0.700	0.700	0.350	0.700	3.850
Spoelvlloeistof bijgelaten in VWP	(m³)	0.0	0.0	0.0	0.7	1.3	1.2	0.0	3.2

Week 31, 2020: Vergisting drijfmest met toevoeging stromest

		ma	di	wo	do	vr	za	zo	week
		27-jul	28-jul	29-jul	30-jul	31-jul	1-aug	2-aug	
BIOGAS									
Flow rate	(m³/u)	9.40	10.07	10.29	11.58	12.59	12.01	11.58	11.07
Productie	(m³)	226	242	247	278	302	288	278	1860
Methaanproductie	(m³)	152	162	166	187	203	194	188	1250
Doelstelling (CH ₄ productie/dag)	(m³)	220	o.b.v. 10m³ mest per dag						
Werkelijke productie / Doelstelling		69%	73%	75%	85%	92%	88%	86%	81%
MEST									
Verse mest verwerkt (totaal)	(m³)	13	15	16	16	17	14	15	106
Hakselaar - Stro gedoseerd	(ton)	0.000	0.700	1.050	0.350	1.050	0.350	0.703	4.203
Spoelvloeistof bijgelaten in VWP	(m³)	1.1	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	3.9

In de week waarin de mestmonsters zijn genomen voor het systeem zonder stromest, was de biogasproductie hoger dan normaal. In deze dagen is er relatief veel dikke vleesvarkensmest naar de vergister geleid, waardoor de biogasopbrengst hoog was ondanks dat er geen stromest was toegevoegd.

Week 42, 2020: Vergisting drijfmest zonder toevoeging stromest

		ma	di	wo	do	vr	za	zo	week
		12-okt	13-okt	14-okt	15-okt	16-okt	17-okt	18-okt	
BIOGAS									
Flow rate	(m³/u)	11.25	13.42	14.03	14.58	14.91	17.18	16.81	14.60
Productie	(m³)	270	322	337	350	358	412	403	2452
Methaanproductie	(m³)	179	213	223	233	238	275	271	1633
Doelstelling (CH ₄ productie/dag)	(m³)	220	o.b.v. 10m³ mest per dag						
Werkelijke productie / Doelstelling		81%	97%	101%	106%	108%	125%	123%	106%
MEST									
Verse mest verwerkt (totaal)	(m³)	11	13	14	14	14	13	13	92
Hakselaar - Stro gedoseerd	(ton)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Spoelvloeistof bijgelaten in VWP	(m³)	3.2	3.6	1.8	8.8	3.3	0.0	2.7	23.4

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

