

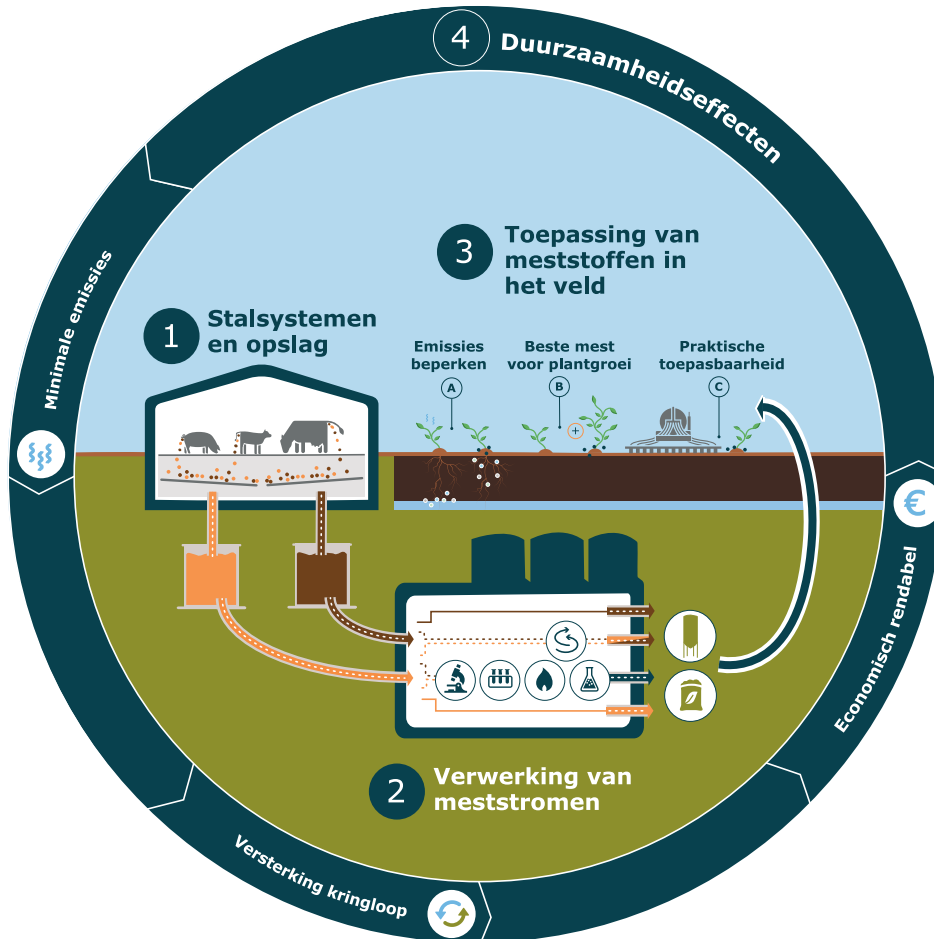


Samenstelling mestproducten uit innovatieve stalsystemen in de melkvee-, varkens- en kalverhouderij

PPS, betere stal, betere mest, betere oogst

Auteurs | Emma van Boxmeer, Nico Verdoes, Henk Schilder, Paul Galama, Geert Kupers

bsmo



2Split: Pigs

FME POWERED BY DUTCH TECHNOLOGY

Cooperl

N2 — Applied

SBK Stichting Brancheorganisatie Kalvesector



HANSKAMP Innovation for dairy farming

Pigster Oirschot B.V.

Maatschap Thelosen-Van Haren



provincie Overijssel



Provincie Zeeland

VEREIJKEN



Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit



swaans agra

provincie limburg gesubsidieerd door de Provincie Limburg



provincie Gelderland

Provincie Noord-Brabant



SusStable Created by PigFarmers



ZLTO

VOGELSANG



WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH

Samenstelling mestproducten uit innovatieve stalsystemen in de melkvee-, varkens- en kalverhouderij

PPS, betere stal, betere mest, betere oogst

Auteurs | Emma van Boxmeer, Nico Verdoes, Henk Schilder, Paul Galama, Geert Kupers

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, een consortium uit het bedrijfsleven (BO Akkerbouw, Melkveefonds, Stichting Brancheorganisatie Kalversector, ZLTO, Vereijken Hooijer B.V., Vereniging FME, Maatschap Thelosen-van Haren, SEMILLA Sanitation, Hanskamp AgroTech BV, Susstable B.V., 2Split:Pigs, Vogelsang B.V., Kamplan B.V., Swaans Beton, Pigster Oirschot B.V., N2 Applied, Lely Industries NV) en de provincies Zeeland, Noord-Brabant, Gelderland, Overijssel en Limburg.

Wageningen Livestock Research
Wageningen, maart 2023

Rapport 1410



Van Boxmeer, E.G.G., H. Schilder, N. Verdoes, P.J. Galama, G.C.C. Kupers, 2023. *Samenstelling mestproducten uit innovatieve stalsystemen in de melkvee-, varkens- en kalverhouderij; Betere stal, betere mest, betere oogst*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1410.

De kringlooplandbouw streeft naar minimale verliezen van grondstoffen. Voor de veehouderij betekent dit onder andere dat mest zo efficiënt mogelijk wordt hergebruikt. Stalsystemen waarbij urine en feces aan de bron worden gescheiden of waarbij de mest dagelijks uit de stal wordt verwijderd zijn perspectiefvol, omdat ammoniak- en/of methaanemissies uit deze stallen lager zijn en daarnaast hebben de mestproducten uit deze stalsystemen meer verwaardingsmogelijkheden in de keten. In deze rapportage staan verschillende emissiearme stalsystemen voor melkvee, varkens en kalveren omschreven. Daarnaast zijn bij 13 melkvee-, 5 varkens- en 4 kalverbedrijven mestmonsters genomen van de verschillende mestproducten uit deze innovatieve, emissiearme stalsystemen. De mestmonsters zijn geanalyseerd en vervolgens is bepaald in hoeverre de mestproducten voldoen aan de criteria die gesteld worden voor kunstmestvervangers (RENURE), organische meststof of bodemverbeteraar. Op basis van de resultaten kan worden geconcludeerd dat meerdere innovatieve stalsystemen waardevolle mestproducten produceren, echter is soms verdere verwerking van het mestproduct nodig of dient aanvullend onderzoek te worden gedaan naar de emissiereductie van het stalsysteem om dit verder te optimaliseren.

Circular agriculture aims for minimal losses of nutrients. For livestock farming, this means among other things that manure must be re-used as efficient as possible. Animal housings systems with separation of urine and feces at the source or with daily removal of manure from the barn have perspective, since ammonia and methane emissions from these barns are low and the manure is suitable for further valorization. In this report, different innovative animal housing systems are described for dairy cows, pigs and calves. Besides, manure samples were taken from 13 dairy farms, 4 pig farms and 4 calve farms. These manure samples were analyzes and it was determined whether the manure products meet the criteria for artificial fertilizer (RENURE), organic fertilizer or soil improver. Based on the results it can be concluded that multiple innovative animal housing systems can produce valuable manure products, however, sometimes further processing of the products is necessary or additional research is required to optimize the animal housing systems even more.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/588047> 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, 2023

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	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding	11
1.2 Doel	11
2 Stalsystemen en mestproducten	12
2.1 Melkvee	12
2.2 Varkens	16
2.3 Kalveren	18
3 Analyse en indeling mestproducten	20
3.1 Methode monsternamen en -analyse	20
3.2 RENURE	21
3.3 Organische meststoffen en bodemverbeteraars	21
4 Resultaten	23
4.1 RENURE	23
4.2 Organische meststoffen en bodemverbeteraars	25
4.3 Overig	29
4.3.1 Kali	29
4.3.2 Elektrische geleidbaarheid	31
4.3.3 pH	31
4.3.4 Fosfaat	32
5 Discussie	34
5.1 Variaties tussen en binnen bedrijven	34
5.2 Macro- en micronutriënten	36
5.3 Aanvullende criteria RENURE	37
5.4 Beperkingen	37
5.4.1 Betrouwbaarheid	37
5.4.2 Kwantificering meststromen	38
5.4.3 Emissies uit mestproducten	38
6 Conclusie/aanbevelingen	39
Literatuur	41
Bijlage 1 Bemonsterde bedrijven	44
Bijlage 2 Analyseresultaten per bedrijf	45



Woord vooraf

Bij het streven naar kringlooplandbouw in Nederland met minimale emissies naar het milieu zijn er een aantal belangrijke ontwikkelingen gaande. Eén daarvan is de implementatie van nieuwe stalsystemen in de veehouderij. Deze nieuwe stalsystemen scheiden feces en urine van elkaar bij de bron.

Een belangrijk voordeel hiervan zijn lagere emissies t.o.v. traditionele stalsystemen. Een tweede voordeel is dat deze gescheiden meststromen grote kansen bieden voor toepassing verderop in de keten, bijvoorbeeld als organische meststof of bodemverbeteraar, als bron van groene energie, of als kunstmestvervanger. De uitdaging is om deze meststromen dusdanig in de plantaardige productie toe te passen dat zowel de verliezen (emissies naar lucht en grondwater) minimaal zijn als dat de economische waarde maximaal is.

Momenteel vinden er in de kringloop van stal tot veld al veel innovaties plaats. Echter: ze staan onvoldoende met elkaar in verbinding. Door deze innovaties integraal te verbinden met elkaar wordt afwenteling voorkomen en ontstaat er een nieuwe werkwijze met marktkansen en méér circulariteit. Dit is goed voor veehouder, teler en milieu. Dit is wat een breed consortium vanuit bedrijfsleven, sectororganisaties, overheden en het onderzoek willen bereiken met dit landelijk onderzoeksprogramma.

De PPS betere stal, betere mest, betere oogst richt zich op onderzoek naar meststromen uit nieuwe stalconcepten, hoe deze bijdragen aan de reductie van ammoniak, methaan en lachgas en tegelijkertijd 'nieuwe' mestproducten opleveren. In de PPS wordt onderzocht hoe deze 'nieuwe' mestproducten zo goed mogelijk aansluiten bij de toepassing in het veld en gewas en als bron van groene energie.

Dit rapport is tot stand gekomen als onderdeel van de PPS betere stal, betere mest, betere oogst (Werkpakket 1 'Stalsystemen en opslag'). Het werk is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research.

Meer informatie: www.wur.nl/bsmo

Emma van Boxmeer:	emma.vanboxmeer@wur.nl	+31 317 480 578
Paul Galama:	paul.galama@wur.nl	+31 317 480 338
Nico Verdoes:	nico.verdoes@wur.nl	+31 317 480 481



Samenvatting

Binnen een kringlooplandbouw wordt gestreefd naar minimale verliezen van grondstoffen. Voor de veehouderij betekent dit onder andere dat reststromen, zoals mest, zo efficiënt mogelijk hergebruikt worden. Vooral stalsystemen met scheiding aan de bron (urine en feces) en de dagelijkse afvoer van mest zijn perspectiefvol, omdat de ammoniak- en/of methaanemissies uit deze stallen lager zijn en daarnaast hebben de mestproducten uit deze stalsystemen meer verwaardingsmogelijkheden in de keten (Gollenbeek et al., 2021a,b, Gollenbeek et al., 2022). Meststromen zoals urine kunnen potentieel ingezet worden als kunstmestvervangers, waardoor het gebruik van kunstmest vermindert, terwijl feces als organische meststof of bodemverbeteraar ingezet kunnen worden. Ook strooiselstallen, waarbij een vrijloopgedeelte met organisch materiaal is gevuld, dragen bij aan het verminderen van ammoniakemissies en verbeteren daarnaast het dierenwelzijn (Van Dooren et al., 2019). Bovendien leveren deze systemen mestproducten op met veel organische stof. Het doel van dit onderzoek is het inventariseren en selecteren van perspectiefvolle, emissiearme stalsystemen in de rundvee-, varkens- en kalverhouderij en het karakteriseren van de meststromen die uit deze systemen beschikbaar komen door monsternamen en analyse.

In deze rapportage staan verschillende emissiearme stalsystemen omschreven. Daarnaast zijn bij 13 melkvee-, 5 varkens- en 4 kalverbedrijven mestmonsters genomen van de verschillende mestproducten uit innovatieve, emissiearme stalsystemen. Bij enkele bedrijven werd de mest op het bedrijf (deels) verwerkt en van deze verwerkingsstappen zijn, waar mogelijk, ook monsters genomen. Op de meeste bedrijven is enkele weken tot maanden later nog een tweede monsternamen gedaan. De mestmonsters zijn geanalyseerd op droge stof, as, totaal stikstof, ammoniak stikstof, fosfor, kalium, pH, geleidbaarheid en soortelijk gewicht. Vervolgens is bepaald in hoeverre de mestproducten voldoen aan de criteria die gesteld worden voor kunstmestvervangers (RENURE), organische meststof of bodemverbeteraar.

Op basis van de samenstelling van de mestproducten blijkt over het algemeen dat gierfracties rijk aan stikstof zijn, met name mineraal stikstof, feces fracties veel fosfaat en organische stof bevatten en gierfracties van melkvee en kalveren en fecesfracties van varkens de meeste kali bevatten. Verder blijkt dat de gierfracties van stalsystemen met primaire scheiding (Zeraflex, CowToilet, LelySphere en betonsleuvenvloer) veelbelovend zijn om als kunstmestvervanger gebruikt te worden. Wel is soms nog verdere bewerking nodig voordat alle fracties kunnen voldoen aan de voorwaarden van RENURE. De rubberen scheidingsvloer blijkt echter niet voldoende in staat de fracties te scheiden en dit systeem leidt ook niet tot ammoniakemissiereductie in de stal. Het varkenstoilet geeft waardevolle feces, echter dient het systeem nog verder ontwikkeld te worden om ook een gier- of urinefractie te kunnen geven die als kunstmestvervanger kan dienen. De wroetstal voor varkens en de vrijloopstal voor melkvee zijn oorspronkelijk ontwikkeld om het dierenwelzijn te verbeteren en door de toevoeging van organische stof (stro of houtsnippers) werd verwacht dat deze mestproducten als bodemverbeteraar gebruikt zouden kunnen worden. Echter blijkt op basis van de genomen mestmonsters dat deze mestproducten hier niet altijd aan voldoen.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Binnen een kringlooplandbouw wordt gestreefd naar minimale verliezen van grondstoffen. Voor de veehouderij betekent dit onder andere dat reststromen, zoals mest, zo efficiënt mogelijk hergebruikt worden. Dit kan behaald worden door omzetting van mest naar hoogwaardige mestproducten die zo regionaal mogelijk worden ingezet (Scholten et al., 2018), maar ook door de nutriëntenverliezen te beperken. Daarom krijgt de veehouderij beperkingen opgelegd voor ammoniak-, geur- en fijnstofemissies (Regeling Ammoniak en Veehouderij) en dit heeft geleid tot diverse innovaties op het gebied van stalrichtingen. Vooral stalsystemen met scheiding aan de bron (urine en feces) en de dagelijkse afvoer van mest zijn perspectiefvol, omdat de ammoniak- en/of methaanemissies uit deze stallen lager zijn en daarnaast hebben de mestproducten uit deze stalsystemen meer verwaardingsmogelijkheden in de keten (Gollenbeek et al., 2021a,b; Gollenbeek et al., 2022). Meststromen zoals urine kunnen potentieel ingezet worden als kunstmestvervangers, waardoor het gebruik van kunstmest vermindert, terwijl feces mogelijk als organische meststof of bodemverbeteraar ingezet kunnen worden. Meststoffen die hier niet aan voldoen kunnen gebruikt worden om energie op te wekken door middel van vergisting. Stalsystemen met dagontmesting sluiten hier ook goed bij aan, omdat is aangetoond dat verse (drijf)mest een hogere biogasproductie geeft dan oude mest (Buissonjé & Verheijen, 2014; Gollenbeek et al., 2021a,b; Gollenbeek et al., 2022). Ook strooiselstallen, waarbij een vrijloopte gedeelte met organisch materiaal is gevuld, dragen bij aan het verminderen van ammoniakemissies en het verbeteren van dierenwelzijn (Van Dooren et al., 2019). Daarnaast leveren deze systemen mestproducten op met veel organische stof.

Dit onderzoek is verricht in het kader van de Publieke Private Samenwerking (PPS) "Betere stal, betere mest, betere oogst" (BSMO). De PPS BSMO streeft onder andere naar het minimaliseren van de totale verliezen van stikstof (NH_3 , NO_3^- en N_2O) en broeikasgassen (CH_4 , CO_2 en N_2O) in de cyclus stal(mest), tussenbewerking, bodem en plant, zonder dat er ongewenste afwenteling ontstaat. Het onderzoek in deze rapportage richt zich op de mestproducten die beschikbaar komen uit innovatieve en emissiearme stalsystemen.

1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is het inventariseren en selecteren van perspectievolle, emissiearme stalsystemen in de rundvee-, varkens- en kalverhouderij en het karakteriseren van de meststromen die uit deze systemen beschikbaar komen door monsternamen en analyse. De analyseresultaten uit dit onderzoek zullen ook worden gebruikt voor andere deelprojecten binnen de PPS BSMO.

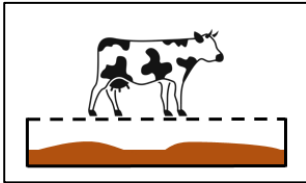
2 Stalsystemen en mestproducten

In het totaal zijn op 13 melkveebedrijven, 5 varkensbedrijven en 4 kalverbedrijven monsters genomen van de verschillende mestproducten uit innovatieve, emissiearme stalsystemen. Op 5 bedrijven werd de mest op het bedrijf ook (deels) verwerkt en van deze verwerkingsstappen zijn, waar mogelijk, ook monsters genomen. Op 11 bedrijven is enkele weken tot maanden later nog een tweede monsternamen gedaan. Niet op alle bedrijven is een tweede monsternamen gedaan, omdat het op enkele bedrijven pas later mogelijk was om monsters te nemen, waardoor op deze bedrijven tijdens de tweede ronde pas voor de eerste keer monsters zijn genomen. In Bijlage 1 staan de bedrijven met bijbehorende systemen, locatie, diersoort, moment van monsternamen en bemonsterde mestproducten. In dit hoofdstuk staan de verschillende systemen omschreven, is aangegeven wat de (verwachte) ammoniak- en broeikasgasemissiereductie is en of hier momenteel nog onderzoek naar wordt gedaan en is aangegeven welke mestproducten uit het stalsysteem beschikbaar komen. Hierbij staat drijfmest voor een mengsel van feces en urine, urine voor zuiver opgevangen urine en gier voor niet zuiver opgevangen urine (bijvoorbeeld door scheiding na contact met bevulde vloer).

2.1 Melkvee

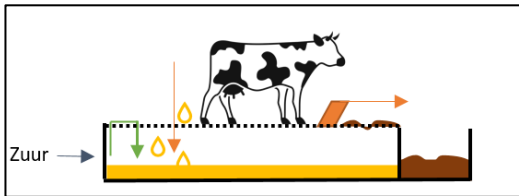
2.1.1 Gangbare roostervloer (referentie)

Bij een gangbare roostervloer vallen mest en urine door de roosterspleten heen naar de onderliggende mestkelder. Hier mengt de feces met de urine tot drijfmest.

Bemonsterde bedrijven	Schematische weergave systeem
Bedrijf M1, Friesland	
Beschikbare mestproducten:	Drijfmest

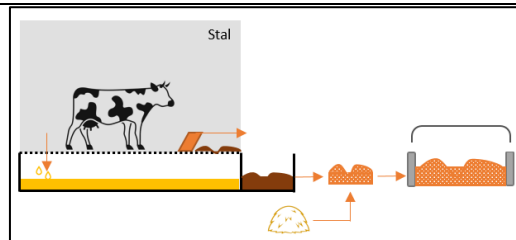
2.1.2 Zeraflex doorlatende tegelvloer

Een doorlatende tegel wordt gelegd op de roosters in bestaande ligboxstallen. De urine zakt door de tegels heen naar de kelder, terwijl de feces op de tegels blijven liggen. De feces worden vervolgens met een mestschuif verzameld in een aparte opslag. Deze tegelvloer is nog in ontwikkeling om de ammoniakemissie verder te beperken. De gemeten ammoniakconcentratie in de kelder was erg hoog en daarom is getest met het aanzuren van de urine in de kelder. Ook zijn de tegels verbeterd, zodat de urine goed door de tegels zakt. Dit voorkomt dat de tegels na een urinelozing lang blijven na-emitteren. Verder is gekeken naar de mogelijkheid om de tegelvloer te spoelen met aangezuurde urine uit de kelder, zodat de urine in de tegels sneller doorloopt. Andere ontwikkelingen om de doorlaatbaarheid te verbeteren zijn in 2022 verder uitgewerkt en worden nog gerapporteerd.

Bemonsterde bedrijven	Schematische weergave systeem
Bedrijf M1, Friesland	

Bedrijf M2, Utrecht
Feces worden gemengd met stro

Bedrijf M3, Friesland
Aanvullend worden feces gemengd met stro met speciale menger en dit mengsel wordt gecomposteerd in sleufsilos met open dak.



Beschikbare mestproducten:

(Aangezuurde) gier
Feces (mogelijk gemengd met stro)

Emissies en onderzoek:

Voorlopig resultaat: 30 - 50% ammoniakreductie bij aanzuren in de kelder en spoelen van de vloer met de aangezuurde gier, geen methaanreductie (Dairy Campus, 2021). Het ontwikkelingstraject op Dairy Campus loopt nog. Momenteel zijn daarnaast metingen op praktijkbedrijven gaande.

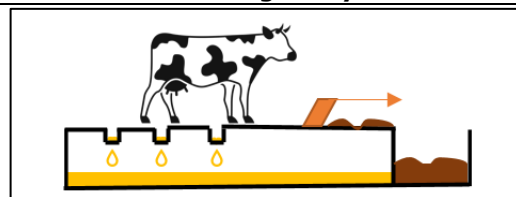
2.1.3 Rubberen vloer met sleuven en gaten

De rubberen vloer wordt op de bestaande roosters gelegd en bevat sleuven met daarin gaten. Hierdoor kan de urine in de sleuven lopen en via de gaten valt dit door de vloer naar de kelder. Feces blijven op de vloer liggen en worden vervolgens met een mestschuif verzameld in een aparte opslag.

Bemonsterde bedrijven

Bedrijf M1, Friesland

Schematische weergave systeem



Beschikbare mestproducten:

Gier
Feces

Emissies en onderzoek:

Geen ammoniak en methaan reductie.
Onderzoek is niet vervolgd (WUR, 2021).

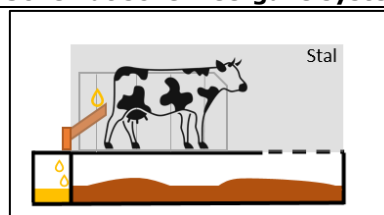
2.1.4 CowToilet

Het CowToilet is een automatisch urineopvangsysteem wat is geplaatst in een krachtvoerbox. De natuurlijke zenuwreflex tussen de staart en de achter-uier wordt gestimuleerd, welke een plasneiging bij de koe veroorzaakt. Als de koe urineert, wordt deze urine opgevangen in een reservoir en afgezogen naar een opslag. Hierdoor komt deze urine niet op de vloer (en in de kelder) en leidt dit tot een zuivere urinefractie. Wanneer een koe buiten het CowToilet urineert, komt deze urine wel op de vloer en in de kelder terecht. De kelder bevat daardoor wel drijfmest, maar met minder urine.

Bemonsterde bedrijven

Bedrijf M1, Friesland
Bedrijf M4, Gelderland

Schematische weergave systeem



Beschikbare mestproducten:

Urine
Drijfmest met minder urine

Emissies en onderzoek:

Voorlopig resultaat: 35 - 40% ammoniakreductie, geen methaanreductie (WUR, 2021). Het onderzoek op Dairy Campus is afgerond. Momenteel zijn metingen op praktijkbedrijven gaande.

2.1.5 LelySphere

Het LelySphere systeem is een combinatie van scheiden bij de bron en een end-of-pipe maatregel. In de roosterspleten worden geperforeerde metalen strips gelegd. De urine vloeit door deze giergaten naar de onderliggende kelder en de feces blijft op de vloer liggen. Een mestrobot raapt de feces op en stort deze af in een aparte afstort. Vervolgens wordt de lucht uit de kelder afgezogen door de LelySphere N-Capture, waarin stikstof met een aangezuurde oplossing uit de lucht wordt gefilterd (luchtwasser). Door het afzuigen van de lucht in de kelder en het feit dat de mestafstort een sifon bevat, ontstaat er een onderdruk in de kelder. Hierdoor blijven de gaatjes in de vloer open voor urinepassage en wordt de lucht vlak boven de vloer ook afgezogen. Dit systeem produceert drie mestproducten: feces rijk aan fosfaat en organische stof, gier rijk aan kalium en spuiwater rijk aan stikstof.

Bemonsterde bedrijven

Bedrijf M5, Noord-Brabant

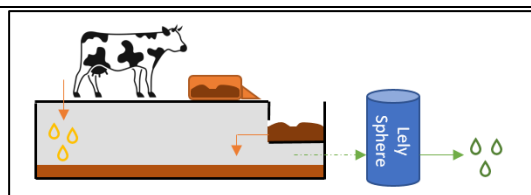
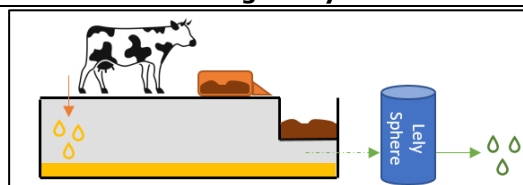
Feces worden gescheiden door mechanische scheider en de dunne fractie wordt ook aan de kelder toegevoegd (bemonsterde gierfracties zijn niet meegenomen in de resultaten).

Bedrijf M6, Noord-Brabant

Aan de feces fractie wordt circa 10% dunne fractie toegevoegd uit de gierkelder, zodat het beter uit te rijden is.

Bedrijf M7, Noord-Brabant

Er was geen aparte kelder voor feces en urine, waardoor deze twee fracties onder de vloer weer gemengd worden tot drijfmest

Schematische weergave systeem

Beschikbare mestproducten:

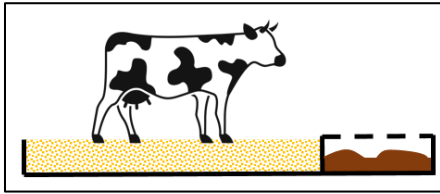
Gier
Feces
Spuiwater

Emissies en onderzoek:

Voorlopige emissiefactor 70% ammoniakreductie (InfoMil, 2022). De definitieve emissiefactor zit in de beoordelingsfase. Methaanreductie onbekend.

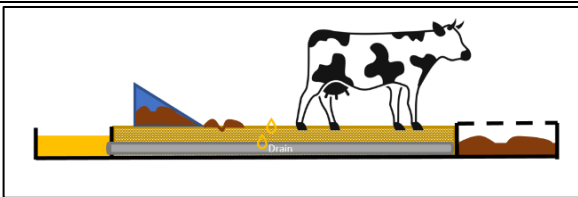
2.1.6 Vrijloopstal (met houtsnippers)

Een vrijloopstal is een stal waarin koeien vrij kunnen rondlopen. Er zijn geen ligboxen en het lig- en looppedeelte is gecombineerd. De stal heeft een composterende bedding van houtsnippers en urine en feces vallen beide op de bedding. Regelmatig wordt er organisch materiaal toegevoegd en dagelijks wordt de toplaag bewerkt. De compostering verloopt trager en bij lagere temperaturen dan compostering van biomassa in een composteringsfabriek, waardoor het semi-compostering genoemd kan worden (Van Dooren et al., 2019). Alleen bij het voerhek is een roostervloer, waar drijfmest wordt opgevangen. Eventueel kan op deze plek ook een emissiearme vloer gebruikt worden.

Bemonsterde bedrijven	Schematische weergave systeem
Bedrijf M8, Noord-Holland Bedrijf M9, Overijssel	
Beschikbare mestproducten:	Drijfmest Houtsnippers met feces en urine (semi-compost)
Emissies en onderzoek:	31% ammoniakreductie, maar meer broeikasgasemissies: 34% meer methaan, 14 keer meer N ₂ O en extra CO ₂ bijdrage uit het ligbed (Van Dooren et al., 2019). Onderzoek afgerond, echter is dit systeem niet opgenomen in de RAV lijst, omdat het niet als stalsysteem maar meer als bedrijfssysteem wordt gezien.

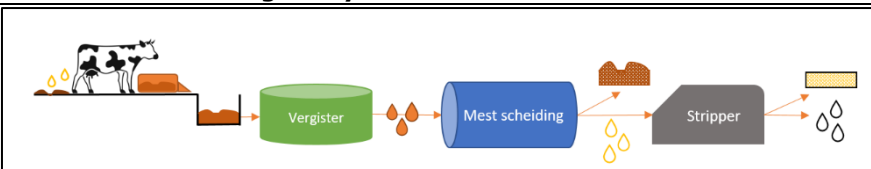
2.1.7 VrijLevenStal met zandbodem

Een VrijLevenStal is een stal met een zandbedding. Urine zakt door het zand naar een drainagebuis en wordt zo afgevoerd en centraal opgeslagen. Feces blijven op het zand liggen en worden opgeraapt door een BeddingCleaner. Natte delen worden door de BeddingCleaner gepaneerd en droog zand valt deels terug op de bedding. Alleen bij het voerhek is een roostervloer, waar drijfmest wordt opgevangen. Eventueel kan op deze plek ook een emissiearme vloer gebruikt worden.

Bemonsterde bedrijven	Schematische weergave systeem
Bedrijf M10, Zuid-Holland	
Beschikbare mestproducten:	Drijfmest Gier Feces met zand
Emissies en onderzoek:	Onderzoek is gaande (inzicht in vorm van N-verliezen is gewenst).

2.1.8 Jumpstart mestvergisting en strippen

Feces en urine vallen op de dichte vloer en worden binnen één uur opgeraapt door een mestrobot. De drijfmest wordt afgestort en vervoerd naar de monovergister. Tijdens het vergistingsproces ontstaat een digestaat, wat vervolgens mechanisch wordt gescheiden in een dikke en dunne fractie. De dikke fractie wordt gebruikt als beddingmateriaal in de ligboxen en wordt deels afgevoerd. De dunne fractie gaat door een stripper en hieruit ontstaat ammoniumsulfaat en effluent. Het effluent wordt vervolgens gebruikt als kalirijke meststof op het grasland.

Bemonsterde bedrijven	Schematische weergave systeem
M11, Noord-Brabant	

Beschikbare mestproducten:	Dikke fractie na mechanische scheiding digestaat Ammoniumsulfaat Effluent
Emissies en onderzoek:	Er is niet aan dit systeem gemeten. Wel worden de emissies op bedrijfsniveau modelmatig doorgerekend in de PPS NL Next Level Mestverwaarden.

2.1.9 Betonsleuvenvloer

Deze betonvloeren bevatten sleuven met giergaten. Urine stroomt via de gaten in de sleuven naar de kelder of goot onder de dichte vloer, terwijl feces op de vloer blijven liggen en worden verzameld door een mestschuif of -robot.

Bemonsterde bedrijven	Schematische weergave systeem
<p>Bedrijf M12, Noord-Brabant</p> <p>Urine loopt naar de goot en door dagelijks de goot te spoelen met water wordt de urine afgevoerd uit de stal. De afgeschoven feces worden mechanisch gescheiden. De dikke fractie na mechanische scheiding wordt gemengd met natuurhooi en wordt uitgereden op het land. De urine en dunne fractie na mechanische scheiding worden opgeslagen in een mestzak. Wanneer er voldoende gassen zijn gevormd, zorgt de fakkel voor verbranding van deze gassen.</p>	
<p>Beschikbare mestproducten:</p>	<p>Feces met stro Gier met water</p>
<p>Bedrijf M13, Noord-Brabant</p> <p>De urine wordt via een goot met gaten opgeslagen in de kelder onder de dichte vloer. De afgeschoven feces worden gemengd met stro, schelpenkalk, kleimineralen en fermentatievloestof met een speciale menger en dit mengsel wordt gefermenteerd in een afgedekte sleuvsilo (bokashi).</p>	
<p>Beschikbare mestproducten:</p>	<p>Gier Gefermenteerde feces met stro</p>
<p>Emissies en onderzoek:</p>	<p>20 – 50% ammoniakreductie in de stal (InfoMil, 2022; Huis in 't Veld, 2000), broeikasgasemissies onbekend.</p>

2.2 Varkens

2.2.1 Mestband onder de roosters

Urine en feces vallen door de roosters heen op een mestband. Deze mestband is V-vormig en is onder een helling geïnstalleerd, waardoor urine eerst naar het midden van de band afloopt en daarna wordt afgevoerd, terwijl de feces op de band blijven liggen. De feces worden verzameld door de band af te draaien en komen in een aparte opslag buiten de stal terecht. Aan het eind van de band is een schrapper bevestigd, waardoor de mestband volledig schoon wordt geschraapt en alle vaste mest kan worden opgevangen.

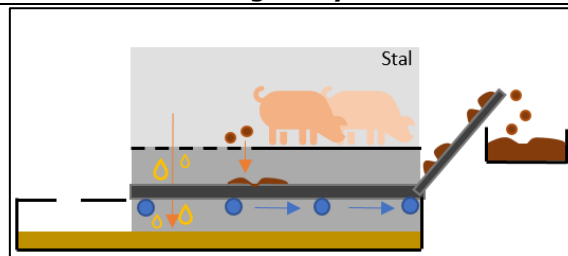
Bemonsterde bedrijven

Bedrijf V1, Limburg

In de stal ligt stro, wat samen met de feces op de mestband terecht komt.

Bedrijf V2, Gelderland

Dit is in feite geen mestband, maar bestaat uit losse tegels, die via een railsysteem onder de roosters lopen. Urine gaat via gaatjes door de tegels en de feces blijven erop liggen. Buiten de stal worden de feces van de tegels geschraapt.

Schematische weergave systeem**Beschikbare mestproducten:**

Gier
Feces (met stro)

Emissies en onderzoek:

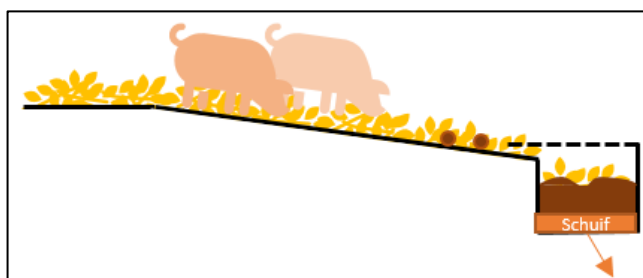
60 - 70% ammoniakreductie, 90% methaanreductie in de stal (Aarnink et al., 2007; Aarnink et al., 2019).

2.2.2 Wroetstal

De wroetstal bevat 90% dichte vloer met een 5 – 10 cm strooiselpakket om aan de wroetbehoeften van het varken te voldoen. De vloer ligt op afschot, waardoor het stro met eventuele feces en urine door de dieren naar de achterkant van het hok worden getrapt. De laatste meter dichte vloer loopt onder een grotere helling naar het mestkanaal. Boven het mestkanaal bevindt zich een verhoogd rooster wat als mestplaats van de varkens dient. De mest wordt uit het mestkanaal getransporteerd door middel van een mestschuif.

Bemonsterde bedrijven

Bedrijf V3, Gelderland

Schematische weergave systeem**Beschikbare mestproducten:**

Stro met urine en feces

Emissies en onderzoek:

±25% ammoniakreductie, 94% methaanreductie in de stal (Houwers et al., 2014).

2.2.3 Total Circular Farm Concept

In het mestkanaal onder de roosters wordt een laagje ammoniakarme vloeistof gezet. Feces en urine vallen door de roosters en worden opgevangen in de vloeistof. Eén keer per dag wordt het mestkanaal geleegd en nagespoeld. De verdunde mest wordt mechanisch gescheiden in een dikke en dunne fractie. De dunne fractie wordt vervolgens bewerkt door een Membraan Bio Reactor (MBR), waarbij ammoniak in verschillende stappen wordt omgezet in stikstofgas (N₂). Verder ontstaat een geurloze, ammoniakarme vloeistof die gebruikt wordt om de stallen te spoelen en deels afgevoerd wordt naar het riool.

Bemonsterde bedrijven	Schematische weergave systeem
Bedrijf V4, Noord-Brabant Op het moment van monsternamen werd in verband met de hoge energieprijzen 1 – 2 keer per week gespoeld.	
Beschikbare mestproducten:	Dikke fractie na mechanische scheiding Dikke fractie na slibontwatering Dunne fractie na slibontwatering Overtollige ammoniakarme vloeistof (mag naar riool)
Emissies en onderzoek:	80 - 85% ammoniakreductie, 90% methaanreductie in de stal op basis van dagelijks spoelen (Aarnink et al, 2019).

2.2.4 Intelligente varkenstoilet

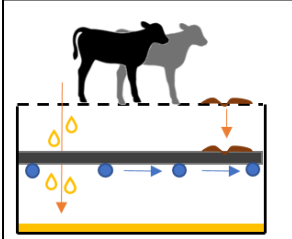
Het intelligente varkenstoilet maakt gebruik van het natuurlijke gedrag van varkens en hiermee kan het mestgedrag worden gestuurd. Varkens zijn van zichzelf zindelijk dieren en delen hun leefgebied op in drie functiegebieden: rusten, vreten en mesten. Door de stal in te richten met een toilet, wordt het varken voorzien in zijn natuurlijke behoeften om het leefgebied op te delen in functiegebieden en kan het hokoppervlak wat nodig is voor mesten worden verkleind, waardoor meer ruimte overblijft voor andere functies en voor verrijkingmateriaal. Het verkleinde mestoppervlak leidt ook tot minder ammoniakemissies, omdat het emitterende oppervlak is beperkt (Aarnink et al., 2010). Daarnaast is er een plek om te plassen en een aparte plek om te poepen, waardoor urine en feces van elkaar gescheiden worden. Wanneer de varkens op de juiste plek hun behoeften doen, ontvangen zij een beloning in de vorm van een snoepje.

Bemonsterde bedrijven	Schematische weergave systeem
Bedrijf V5, Noord-Brabant	
Beschikbare mestproducten:	Feces Urine
Emissies en onderzoek:	Toiletstal project (2011 – 2015) op VIC Sterksel, maar hier werden urine en feces niet gescheiden opgevangen Emissies nog niet door onderzoek vastgesteld Onderzoek op praktijkbedrijven

2.3 Kalveren

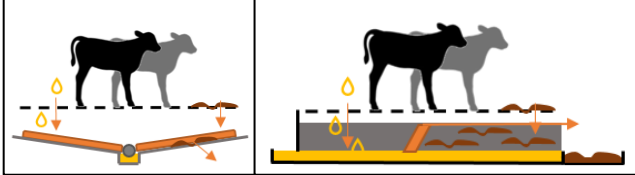
2.3.1 Geperforeerde mestband onder de roosters

Urine en feces vallen door de roosters heen op een V-vormige mestband. Op het laagste punt is deze mestband geperforeerd, waardoor urine door de band heen zakt, terwijl de feces op de band blijven liggen. De feces worden verzameld door de band af te draaien en komen in een aparte opslag buiten de stal terecht. Aan het eind van de band is een schraper bevestigd, waardoor de mestband volledig schoon wordt geschraapt en alle vaste mest kan worden opgevangen.

Bemonsterde bedrijven	Schematische weergave systeem
Bedrijf K1, Noord-Brabant	
Beschikbare mestproducten:	Gier Feces
Emissies en onderzoek:	40 - 50% ammoniakreductie (Puente-Rodríguez et al., 2021). Doordat de mest dagelijks uit de stal wordt verwijderd, wordt verwacht dat de methaanreductie 90% is. Daarnaast worden de emissies op bedrijfsniveau modelmatig doorgerekend in het project NL Next Level Mestverwaarden.

2.3.2 Mestschuif onder de roosters

Urine en feces vallen door de roosters heen in een ondiepe kelder. De vloer van de kelder ligt op afschot, waardoor urine weg kan stromen naar één kant van de stal. De feces worden frequent met een mestschuif weggeschoven richting de andere kant van de stal naar buiten.

Bemonsterde bedrijven	Schematische weergave systeem
Bedrijf K2, Utrecht (Rosé) Bedrijf K3, Gelderland (Rosé) Bedrijf K4, Gelderland (Blank)	
Beschikbare mestproducten:	Gier Feces
Emissies en onderzoek:	Voorlopige emissiefactor rosékalveren 48% ammoniakreductie (InfoMil, 2022). Doordat de mest dagelijks uit de stal wordt verwijderd wordt verwacht dat de methaanreductie 90% is. Daarnaast worden de emissies op bedrijfsniveau modelmatig doorgerekend in het project NL Next Level Mestverwaarden.

3 Analyse en indeling mestproducten

3.1 Methode monstername en -analyse

Monstername

Monsters uit kelders of onder roosters zijn genomen met een samplebuis van Eykelkamp. Op 10 verschillende plekken werd een monster genomen en deze monsters zijn samengevoegd in een emmer. Hieruit is vervolgens het te analyseren monster genomen. Zo is een dwarsdoorsnede van de kelder genomen. Van dikke fracties is zes keer een hoeveelheid genomen en hier is vervolgens een monster van genomen. Afhankelijk van de opslag van de dunne fracties is het monster afgetapt (bijvoorbeeld bij spuiwater of mineralenconcentraten) of is de dunne fractie in de opslag gemengd en is hier een monstername-pot uit gevuld.

Tabel 1 Analysemethode en bijbehorende normvoorschriften van de verschillende parameters

Parameter	Methode	Norm
Droge stof (DS)	Gravimetrisch: het onbewerkt monster is gedroogd gedurende 24 uur bij een temperatuur van 103°C.	NEN 7432:1998 nl
As	Gravimetrisch: het gedroogde monster is verhit gedurende 4 uur bij een temperatuur van 550°C.*	NEN 7432:1998 nl
Totaal stikstof (N-totaal)	Aan het voorbehandelde monster (NEN 7433) is een overmaat natriumhydroxide oplossing toegevoegd, waardoor ammoniakgas vrijkomt. Dit is gedestilleerd en opgevangen in een boorzuoroplossing, waarna het stikstofgehalte door titratie met zoutzuur is bepaald.**	NEN 7434:1998 nl
Ammonium stikstof (N-mineraal)	Het opgeloste ammonium stikstof in het onbewerkte monster is gedestilleerd en opgevangen in een boorzuoroplossing, waarna het ammoniumgehalte door titratie met zoutzuur is bepaald.*	NEN 7438:1998 nl
Fosfor	Aan het voorbehandelde monster (NEN 7433) is ammoniummolybdaat toegevoegd, zodat een complex ontstaat. Dit complex is met ascorbinezuur en antimoonkaliumtartraat omgezet in het sterk gekleurde molybdeenblauw-complex. De intensiteit van deze kleur is spectrometrisch gemeten en is recht evenredig met het fosfaatgehalte.	NEN 7435:2019 nl
Kalium	Aan het voorbehandelde monster (NEN 7433) wordt cesiumchloride oplossing toegevoegd. Het kaliumgehalte is met een vlamemissie spectrometer bepaald.	NEN 7436:1998 nl
pH	De pH is gemeten met een elektronische voltmeter ***	NEN 6411:1981 nl NEN-EN-ISO 10523:2012
Elektrische geleidbaarheid (EC)	De elektrische geleidbaarheid is gemeten met een geleidbaarheid cel **	NEN-ISO 7888:1995 en
Soortelijk gewicht (sg)	Gemeten met een aerometer	NEN-EN 17183:2019 en

* Analyse van spuiwater en ammoniumsulfaat leidt tot te lage as-gehaltenes, omdat ammoniumsulfaat bij deze hoge temperaturen ontleedt. Daarom is voor spuiwater aangenomen dat het geen organische stof bevat.

** Voor stapelbare mest is deze methode niet gevalideerd door een interlaboratorium onderzoek

*** Stapelbare mest is van tevoren vijf keer verdund met water

Chemische analyses

De chemische analyses zijn uitgevoerd door het laboratorium van Wageningen Livestock Research. De methoden en gevolgde normvoorschriften voor de analyse van de verschillende chemische parameters van de monsters zijn weergegeven in Tabel 1. De mestmonsters zijn geanalyseerd op droge stof (DS), as, totaal stikstof (N-totaal), ammoniak stikstof (N-mineraal), fosfor, kalium, pH, geleidbaarheid (EC) en soortelijk gewicht (sg). Het fosfor gehalte is omgerekend naar fosfaat en het kalium gehalte is omgerekend naar kali door te vermenigvuldigen met respectievelijk 2,291 en 1,205. Verder zijn het organische stof (OS) gehalte

en het organische koolstof gehalte (TOC) berekend met respectievelijk Formule 1 en 2. Voor spuiwater- en ammoniumsulfaatmonsters is aangenomen dat deze geen OS bevatten, waardoor het as-gehalte gelijk is aan het DS-gehalte.

Formule 1: OS = DS - as

Formule 2: TOC = OS * 0,5

3.2 RENURE

RENURE staat voor REcovered Nitrogen from manURE en het gaat om stikstofhoudende meststoffen die gewonnen worden uit dierlijke mest. De producten dienen een vergelijkbare werking te hebben qua benutting van stikstof als kunstmest en dienen geen verhoogd risico op nitraatuitspoeling te hebben. Voor het aanwenden van meststoffen zijn twee stikstofgebruiksnormen, namelijk de totale stikstofgebruiksnorm (afhankelijk van grondsoort en gewas) en een norm voor stikstof uit dierlijke mest (170 kg N/ha zonder derogatie, 230 of 250 kg N/ha met derogatie). Dit betekent dat voor gewassen met een hoge totale stikstofgebruiksnorm een deel met kunstmest moet worden bemest. Wanneer bepaalde meststoffen uit dierlijke mest worden beschouwd als kunstmestvervanger, kan het fossiele kunstmestgebruik worden verminderd.

In het SAFEMANURE onderzoek van het Joint Research Center zijn criteria opgesteld waar een kunstmestvervanger aan zou moeten voldoen (Huygens et al., 2020). Een van deze criteria stelt dat de meststof voor minimaal 90% anorganisch/mineraal is *of* de verhouding tussen totale koolstof en totale stikstof lager is dan 3. Dit betekent dat de verhouding N-mineraal/N-totaal groter of gelijk is aan 0,9 *of* de verhouding C-totaal/N-totaal kleiner of gelijk is aan 3. Op het moment van schrijven zijn stikstofhoudende meststoffen uit dierlijke mest nog niet toegelaten als kunstmestvervanger. De publicatie van SAFEMANURE geeft de wetenschappelijke en inhoudelijke onderbouwing om dit toe te kunnen laten, echter de nitraatrichtlijn geeft aan dat producten uit dierlijke mest als dierlijke mest beschouwd moeten worden en RENURE zou daar dus van afwijken. Daarnaast moet er politieke besluitvorming plaatsvinden in de Europese Commissie.

3.3 Organische meststoffen en bodemverbeteraars

Er zijn verschillende criteria waarmee bepaald kan worden of een meststof een bodemverbeteraar of organische meststof is. Veeken et al. (2017) stelt dat bodemverbeteraars een verhouding tussen effectieve organische stof (EOS) en minerale stikstof hebben van meer dan 150 kg/kg en de verhouding tussen EOS en fosfaat groter is dan 35 kg/kg. Organische meststoffen hebben een verhouding tussen EOS en minerale stikstof lager dan 150 kg/kg en de verhouding tussen EOS en fosfaat is kleiner dan 35 kg/kg. Dit houdt ook in dat er meststoffen kunnen zijn die niet aan beide criteria kunnen voldoen en dus zowel geen organische meststof als bodemverbeteraar zijn. Van Boekel et al. (2021) stelt daarom dat als de waarden voor beide parameters hoger zijn dan de grenswaarden er sprake is van een bodemverbeteraar en als maar aan één van beide criteria voor bodemverbeteraars wordt voldaan er sprake is van een organische meststof. In dit onderzoek is uitgegaan dat een meststof een bodemverbeteraar is als beide verhouding (EOS/minerale stikstof en EOS/fosfaat) groter dan de gestelde waarden zijn en als één of beide verhouding lager dan de gestelde waarden is, wordt de meststof als organische meststof beschouwd.

Tabel 2 Humificatiecoëfficiënten (HC) van verschillende mestproducten op basis van Veeken et al. (2017).

Meststof	HC
Varkensdrijfmest	0,33
Dikke fractie varkensmest	0,33
Rundveedrijfmest	0,75
Digestaat rundveedrijfmest	0,67
Dikke fractie rundveemest	0,75
Compost	0,90

Het effectieve organische stof gehalte is te berekenen aan de hand van het organische stofgehalte (OS) en de humificatiecoëfficiënt (HC) van het mestproduct (Formule 3). Hiervoor zijn de humificatiecoëfficiënten uit Tabel 2 aangehouden. Voor kalvermest is aangenomen dat de HC vergelijkbaar is met dat van melkvee (Hanegraaf et al., 2021) en voor de mestproducten met stro of hooi is de HC van compost gebruikt. Voor rundveedrijfmest wordt soms een HC van 0,70 gebruikt (www.handboekbodemenbemesting.nl), wat leidt tot iets lagere EOS waarden vergeleken met de EOS waarden zoals berekend in dit onderzoek.

Formule 3: $EOS = OS * HC$

Naast de verhouding tussen effectieve organische stof, stikstof en fosfaat is het ook van belang dat een bodemverbeteraar voornamelijk organische stikstof bevat. De verhouding N-organisch/N-totaal is idealiter meer dan 80%. De dikke fracties worden op grasland bovengronds uitgereden en een hoge N-organisch/N-totaal verhouding leidt dan tot minder ammoniakemissies bij aanwending. Op bouwland geldt een inwerkverplichting, waardoor de risico's van ammoniakemissies bij aanwending lager zijn. De gemiddelde emissiefactoren voor toediening van dikke fracties op grasland zijn 71% en op bouwland 22% bij direct inwerken en 46% bij niet-direct inwerken.

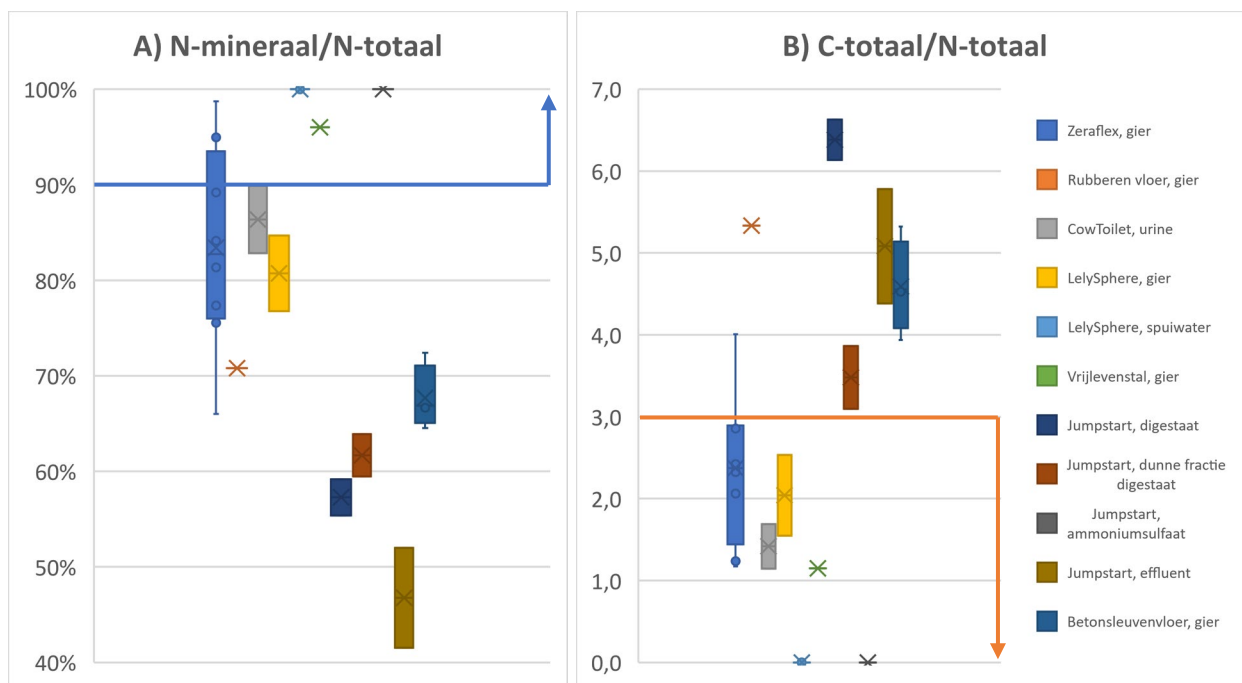
4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de analyseresultaten van de mestmonsters gegroepeerd weergegeven en besproken of ze voldoen aan de criteria voor RENURE, organische meststof of bodemverbeteraar. Per bedrijf staan de analysegegevens weergegeven in Bijlage 2.

4.1 RENURE

4.1.1 Melkvee

Figuur 1 geeft de verhouding tussen N-mineraal en N-totaal en de verhouding tussen C-totaal en N-totaal van de dunne fracties van verschillende stalsystemen in de melkveehouderij weer. De spreiding binnen de stalsystemen laat zien dat de samenstelling van de mestproducten binnen een systeem varieert. De gierfracties van bedrijven met een rubberen vloer of betonsleuenvloer voldoen aan beide RENURE-voorwaarden niet. Ook het digestaat na monomestvergisting van dagverse drijfmest (Jumpstart) en de dunne fractie na het mechanisch scheiden van het digestaat voldoen aan beide voorwaarden niet, echter de verhouding C-totaal/N-totaal van de dunne fractie na scheiding is lager (3,5) dan van het digestaat voor scheiding (6,4). Daarmee komt de dunne fractie van het digestaat dichterbij de grenswaarde van 3. Het spuiwater uit het LelySphere systeem en het ammoniumsulfaat wat ontstaat na het strippen van de dunne fractie van het digestaat (Jumpstart) voldoet wel aan beide voorwaarden en kan hiermee als RENURE-waardig gezien worden. Het effluent daarentegen voldoet aan beide voorwaarden niet. Voornamelijk de verhouding minerale stikstof is te laag (gemiddeld 47%). De enige gierfractie die overduidelijk aan beide RENURE-voorwaarden voldoet is de gierfractie uit de VrijLevenStal. De gierfracties van het LelySphere systeem voldoen niet aan de verhouding N-mineraal/N-totaal, maar wel aan de verhouding C-totaal/N-totaal.

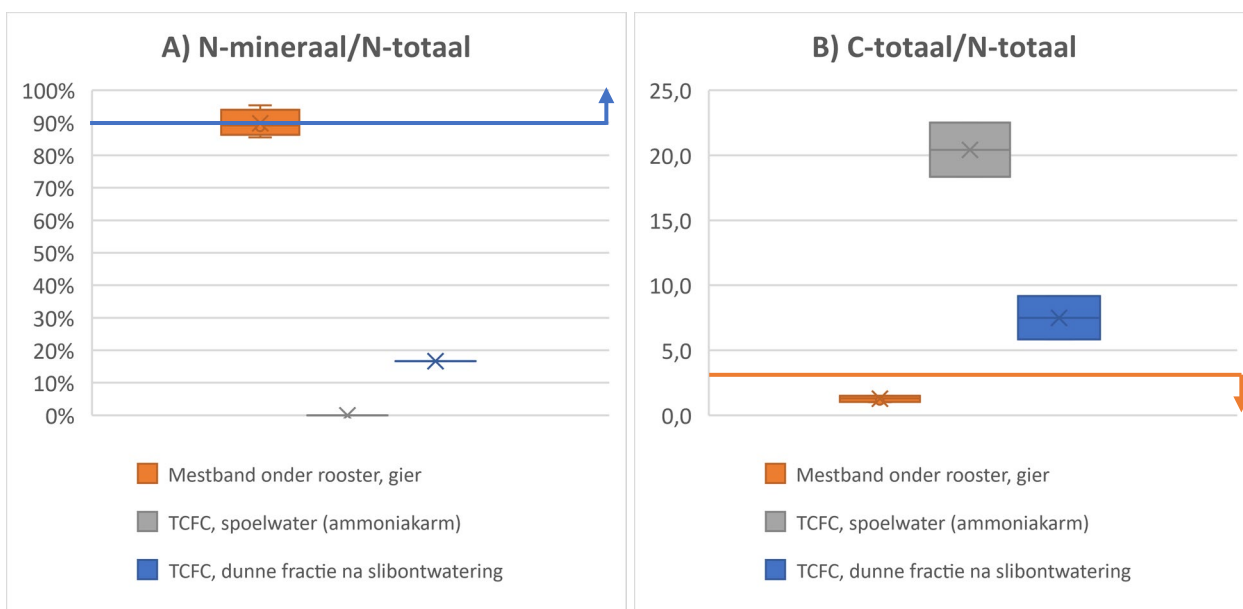


Figuur 1 Verhouding minerale stikstof (N-mineraal) en totale stikstof (N-totaal) (A) en totale koolstof (C-totaal) en totale stikstof (N-totaal) (B) van dunne mest- en gierfracties van verschillende stalsystemen in de melkveehouderij. De spreiding tussen de verschillende monsters die genomen zijn binnen een systeem wordt weergegeven in een boxplot. Eén van de RENURE-criteria stelt dat een meststof voor minimaal 90% anorganisch/mineraal is (zie blauwe lijn) en de verhouding tussen totale koolstof en totale stikstof lager is dan 3 (zie oranje lijn).

Bij enkele systemen leidt de variatie tussen bedrijven dat sommige mestproducten wel voldoen aan de RENURE-criteria, terwijl vergelijkbare mestproducten van een ander bedrijf met hetzelfde stalsysteem niet voldoen. De urine van het CowToilet voldoet aan de voorwaarde voor de verhouding tussen C-totaal/N-totaal, alleen niet bij alle monsters bestaat de stikstof uit minimaal 90% minerale stikstof. De meeste gierfracties van de Zeraflex vloer hebben wel een verhouding N-mineraal/N-totaal van minimaal 90%, echter niet alle fracties voldoen aan de C-totaal/N-totaal verhouding.

4.1.2 Varkens

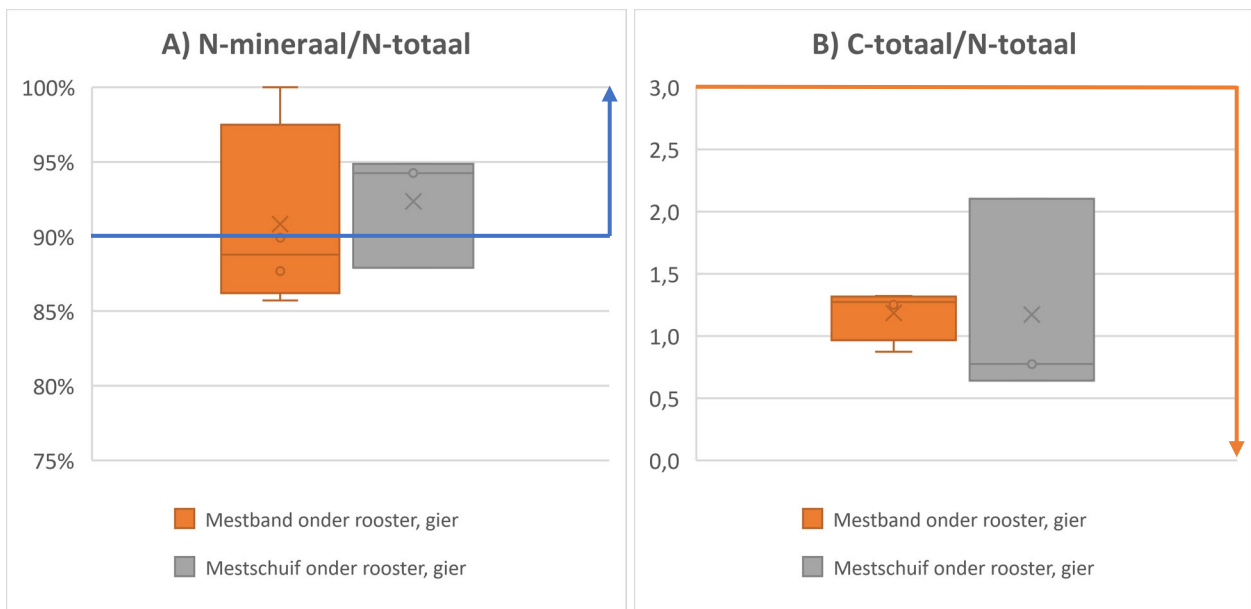
Figuur 2 geeft de verhouding tussen N-mineraal en N-totaal en de verhouding tussen C-totaal en N-totaal van de gierfracties van verschillende stalsystemen in de varkenshouderij weer. De spreiding binnen de stalsystemen laat zien dat de samenstelling van de mestproducten binnen een systeem varieert. De gierfractie bij een mestband onder de roosters voldoet aan de verhouding C-totaal/N-totaal, echter de verhouding N-mineraal/N-totaal is niet bij alle monsters hoger dan 90%. Het (ammoniakarme) spoelwater en de dunne fractie na slibontwatering bij het TCFC systeem voldoen aan beide RENURE-voorwaarden niet, want de N-mineraal verhouding is erg laag en de verhouding C-totaal/N-totaal is te hoog. De urinefractie van het varkenstoilet is niet weergegeven, omdat achteraf is gebleken dat er voor het monsternamemoment niet op het toilet was geürineerd, maar enkel spoel- en regenwater in het toilet was gekomen.



Figuur 2 Verhouding minerale stikstof (N-mineraal) en totale stikstof (N-totaal) (A) en totale koolstof (C-totaal) en totale stikstof (N-totaal) (B) van dunne mest- en gierfracties van verschillende stalsystemen in de varkenshouderij. De spreiding tussen de verschillende monsters die genomen zijn binnen een systeem wordt weergegeven in een boxplot. Een van de RENURE-criteria stelt dat een meststof voor minimaal 90% anorganisch/mineraal is (zie blauwe lijn) en de verhouding tussen totale koolstof en totale stikstof lager is dan 3 (zie oranje lijn).

4.1.3 Kalveren

Figuur 3 geeft de verhouding tussen N-mineraal en N-totaal en de verhouding tussen C-totaal en N-totaal van de gierfracties van verschillende stalsystemen in de kalverhouderij weer. De spreiding binnen de stalsystemen laat zien dat de samenstelling van de mestproducten binnen een systeem varieert. Niet alle gierfracties van zowel mestbanden als mestschuiven onder de roosters bestaan voor meer dan 90% uit mineraal stikstof (Figuur 3A). Wel hebben alle gierfracties een verhouding C-totaal/N-totaal lager dan 3 en daarmee voldoen zij aan één van de RENURE-voorwaarden (Figuur 3B).



Figuur 3 Verhouding minerale stikstof (N-mineraal) en totale stikstof (N-totaal) **(A)** en totale koolstof (C-totaal) en totale stikstof (N-totaal) **(B)** van gierfracties van verschillende stalsystemen in de kalverhouderij. De spreiding tussen de verschillende monsters die genomen zijn binnen een systeem wordt weergegeven in een boxplot. Een van de RENURE-criteria stelt dat een meststof voor minimaal 90% anorganisch/mineraal is (zie blauwe lijn) en de verhouding tussen totale koolstof en totale stikstof lager is dan 3 (zie oranje lijn).

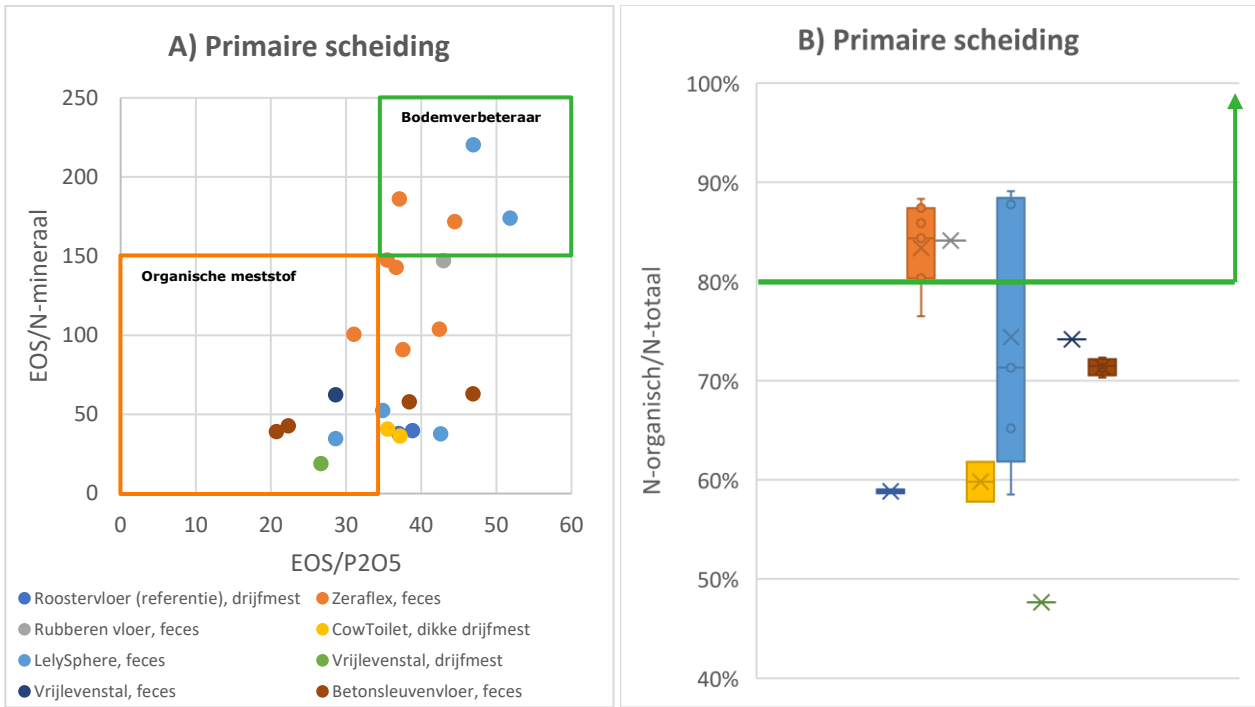
4.2 Organische meststoffen en bodemverbeteraars

4.2.1 Melkvee

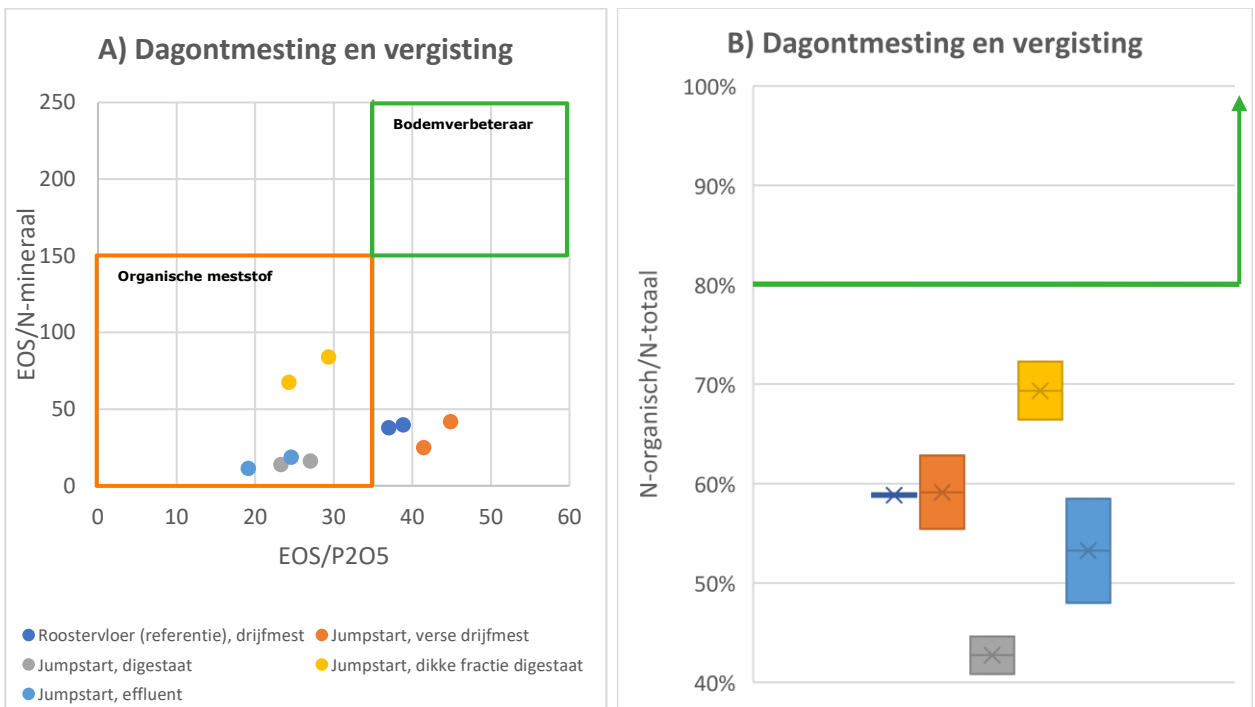
Primaire scheiding

Figuur 4A geeft de verhouding tussen EOS en N-mineraal en tussen EOS en P_2O_5 van de monsters genomen bij systemen met primaire scheiding weer. Wederom laat de spreiding zien dat de samenstelling van de mestproducten binnen een systeem varieert. De verhouding EOS/N-mineraal van de meeste monsters is lager dan 150. Enkele feces fracties van de Zeraflex vloer en LelyShpere hebben een EOS/N-mineraal verhouding hoger dan 150 en ook de verhouding EOS/ P_2O_5 ligt boven de grenswaarde (35), waardoor deze mestproducten als bodemverbeteraar gezien kunnen worden. Echter zijn er ook monsters van deze systemen die alleen aan de criteria EOS/ P_2O_5 voldoen of juist beide criteria onder de grens hebben en gezien kunnen worden als organische meststof. De fecesfractie van de rubberen vloer voldoet wel aan de verhouding EOS/ P_2O_5 (43), maar net niet aan de verhouding EOS/N-mineraal (147). Dit is bij dikke drijfmest van het CowToilet net andersom, waardoor deze fracties vergelijkbaar zijn met reguliere drijfmest. De fecesfracties van de betonsleuenvloer van bedrijf M12 voldoen aan beide criteria voor organische meststof, terwijl van de fecesfracties van de betonsleuenvloer van bedrijf M13 de verhouding EOS/ P_2O_5 hoog genoeg is om als bodemverbeteraar gezien te worden, echter is de EOS/N-mineraal verhouding hiervoor te laag. De drijfmest van de VrijLevenStal voldoet ook aan beide criteria voor organische meststof, evenals de fecesfractie waar relatief veel zand bij zit.

Figuur 4B geeft de verhouding tussen N-organisch en N-totaal weer voor de mestproducten uit stalsystemen met primaire scheiding. De dikke drijfmest van het CowToilet, de drijfmest en de feces uit de VrijLevenStal en de feces van betonsleuenvloeren hebben een N-organisch/N-totaal verhouding die lager is dan 80%. De feces van de rubberen vloer en de meeste fecesfracties van de Zeraflex-vloer hebben een N-organisch/N-totaal verhouding hoger dan 80% en kunnen worden gezien als bodemverbeteraar. Aan de hand van deze verhouding volstaan meer fecesfracties als bodemverbeteraars vergeleken met de verhoudingen in Figuur (4A). De verhouding N-organisch/N-totaal van de feces fracties uit het LelySphere systeem variëren tussen 59 – 89%.



Figuur 4 Verhouding effectieve organische stof (EOS) en minerale stikstof (N-mineraal) en fosfaat (P_2O_5) (A) en de verhouding organische stikstof (N-organisch) en totale stikstof (N-totaal) (B) van de mestmonsters van feces fracties van stalsystemen met primaire scheiding. Bodemverbeteraars hebben EOS/N-mineraal groter dan 150, EOS/ P_2O_5 groter dan 35 en idealiter N-organisch/N-totaal groter dan 80%.



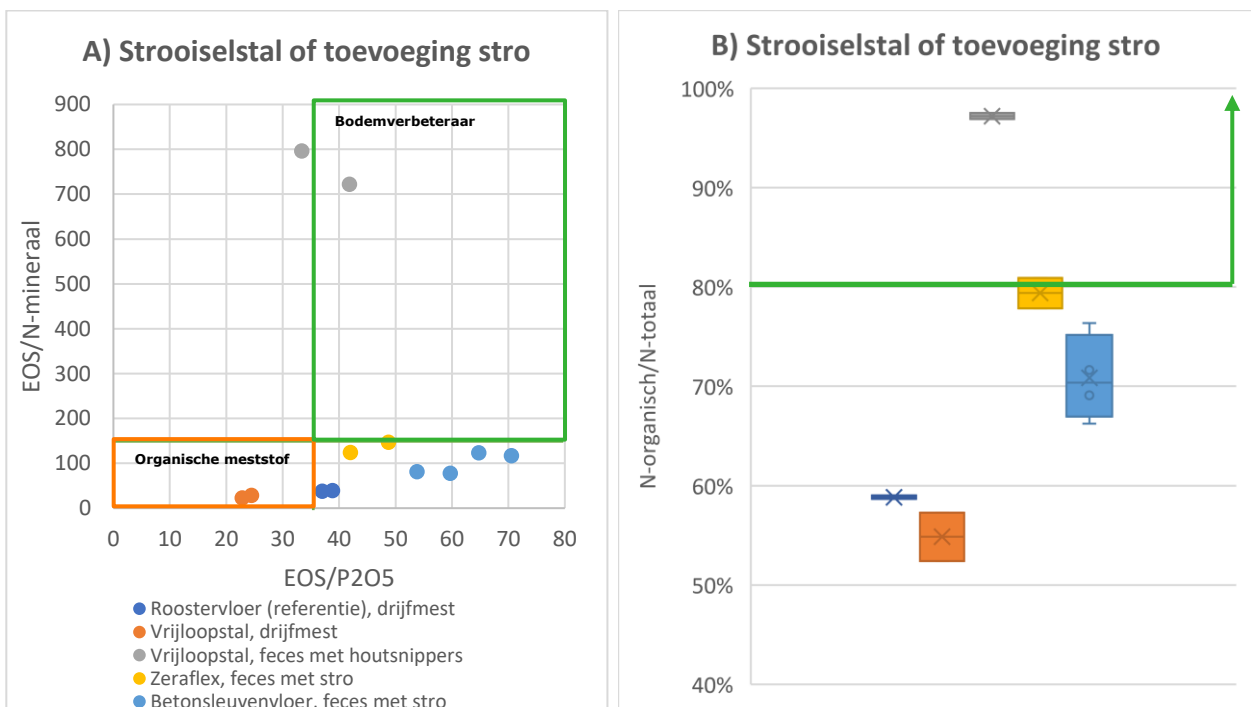
Figuur 5 Verhouding effectieve organische stof (EOS) en minerale stikstof (N-mineraal) en fosfaat (P_2O_5) (A) en de verhouding organische stikstof (N-organisch) en totale stikstof (N-totaal) (B) van de mestmonsters van mestproducten een stalsysteem met dagontmesting en vergisting. Bodemverbeteraars hebben EOS/N-mineraal groter dan 150, EOS/ P_2O_5 groter dan 35 en idealiter N-organisch/N-totaal groter dan 80%.

Dagontmesting en vergisting

Figuur 5B geeft de verhouding tussen EOS en N-mineraal en tussen EOS en P_2O_5 van de monsters genomen bij systemen met dagontmesting en vergisting weer. De monsters (mest- en vergistingsproducten) zijn allemaal genomen bij bedrijf M11, behalve de referentie drijfmest. Alle mestmonsters hebben een EOS/N-mineraalverhouding kleiner dan 150 en de vergistingsproducten (digestaat, dikke fractie na scheiding digestaat en het effluent) hebben ook een EOS/ P_2O_5 lager dan 35 en voldoen hiermee aan de criteria voor organische meststof. De verhouding EOS/ P_2O_5 van de verse drijfmest ligt boven de grens, vergelijkbaar met reguliere drijfmest. De verhouding N-organisch/N-totaal van alle mestproducten in dit systeem is lager dan 80% (Figuur 5B) en ook hieruit blijkt dat deze producten niet als bodemverbeteraar gebruikt kunnen worden.

Strooiselstallen en fracties met toegevoegd stro

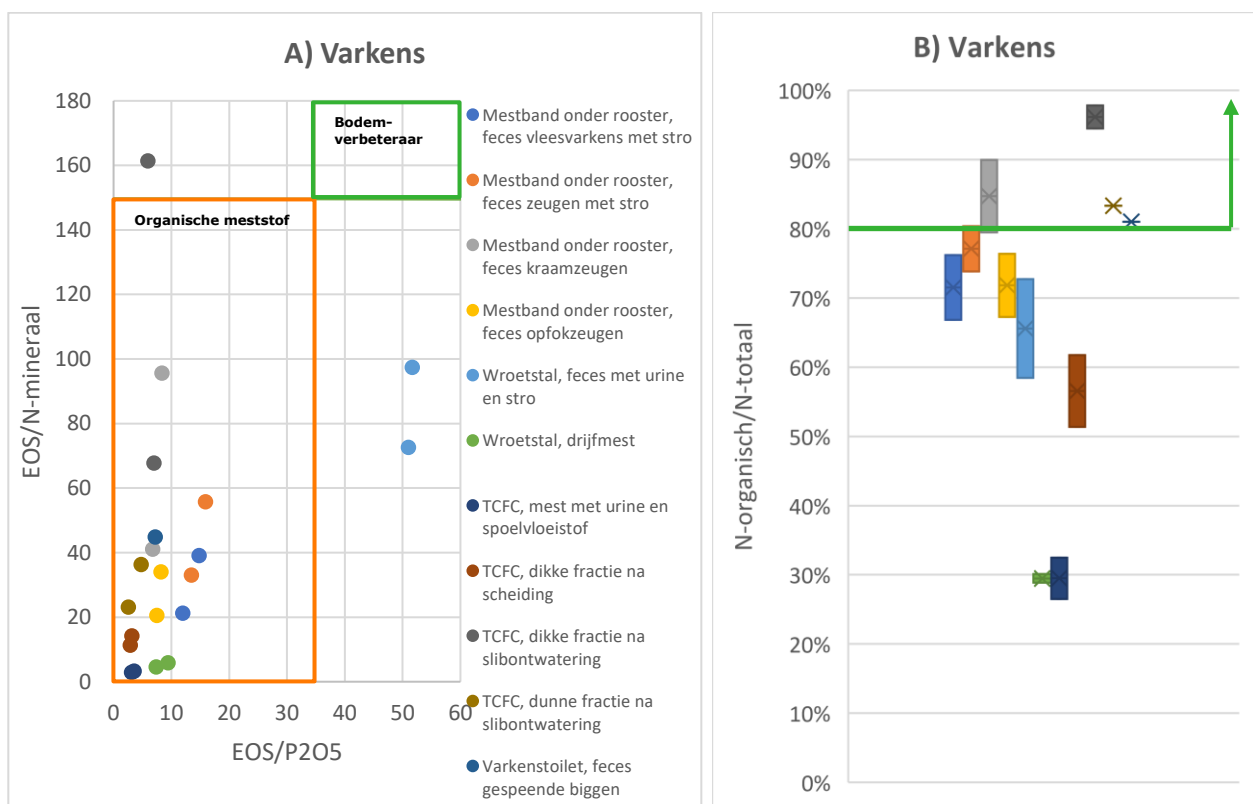
Figuur 6A geeft de verhouding tussen EOS en N-mineraal en tussen EOS en P_2O_5 van de monsters genomen bij vrijloopstallen of fracties waaraan stro is toegevoegd. Opvallend zijn de fecesfracties uit de vrijloopstal vanwege de hoge EOS/N-mineraal verhouding. Dit komt doordat de feces gemengd zijn met de houtsnippers van de stalbodem, wat zorgt voor een hoog organische stofgehalte. Een van de monsters heeft ook een voldoende hoge EOS/ P_2O_5 verhouding, waardoor die fractie als bodemverbeteraar gebruikt kan worden. De EOS/ P_2O_5 verhouding van het andere monster is hiervoor net te laag (33). Verder heeft de drijfmest uit de vrijloopstallen beide verhoudingen onder de grens, waardoor dit als organische meststof kan worden beschouwd. De fecesfracties met stro van de Zeraflex vloer en de betonsleuenvloer hebben een hoge EOS/ P_2O_5 verhouding, echter de EOS/N-mineraal verhouding is net te laag om als bodemverbeteraar gebruikt te kunnen worden. Verwacht werd dat dit mestproduct meer minerale stikstof zou bevatten, omdat dit wordt vastgelegd in het stro. Wellicht kan het toevoegen van meer stro of ander organisch materiaal ervoor zorgen dat de verhouding voldoende hoog wordt om aan beide criteria voor bodemverbeteraars te voldoen. Wederom laat Figuur 6B vergelijkbare resultaten zien vergeleken met Figuur 6A. De feces met houtsnippers hebben een hoge verhouding N-organisch/N-totaal, terwijl de referentie drijfmest, de drijfmest uit de vrijloopstal en de feces met stro van betonsleuenvloeren een N-organisch/N-totaal verhouding hebben lager dan 80%. De verhouding N-organisch/N-totaal in de feces met stro van de Zeraflex vloer varieert van 78 – 81%.



Figuur 6 Verhouding effectieve organische stof (EOS) en minerale stikstof (N-mineraal) en fosfaat (P_2O_5) (A) en de verhouding organische stikstof (N-organisch) en totale stikstof (N-totaal) (B) van de mestmonsters van mestproducten uit strooiselstallen of stalsystemen waarbij stro wordt toegevoegd. Bodemverbeteraars hebben EOS/N-mineraal groter dan 150, EOS/ P_2O_5 groter dan 35 en idealiter een N-organisch/N-totaal groter dan 80%.

4.2.2 Varkens

Figuur 7A geeft de verhouding tussen EOS en N-mineraal en tussen EOS en P₂O₅ van de monsters genomen uit varkensstallen weer. De feces fractie van mestbanden onder de roosters (alle varkenscategorieën), drijfmest uit de wroetstal en het spoelvoelstof met mest en urine, de dikke fractie na mestscheiding, de dunne fractie na slibontwatering bij TCFC en de feces van het varkenstoilet hebben een EOS/N-mineraal verhouding lager dan 150 en een EOS/P₂O₅ verhouding lager dan 35 en zijn dus organische meststoffen. De feces met urine en stro uit de wroetstal heeft een hoge EOS/P₂O₅ verhouding, echter de EOS/N-mineraal verhouding is te laag om beschouwd te worden als bodemverbeteraar. Eén van de monsters van de dikke fractie na slib ontwateren van TCFC heeft een hoge EOS/N-mineraal verhouding, echter de EOS/P₂O₅ verhouding is te laag om als bodemverbeteraar beschouwd te worden. De mestmonsters zijn genomen bij verschillende varkenscategorieën en leeftijden (vleesvarkens, gespeende biggen, kraamzeugen en opfokzeugen) echter laten de mestproducten van deze verschillende varkenscategorieën geen grote verschillen grote verschillen zien in Figuur 7A. Uit Figuur 7B blijkt dat op basis van de N-organisch/N-totaal verhouding, in tegenstelling tot de verhoudingen in Figuur 7A, de feces van kraamzeugen bij een mestband onder de roosters, de feces van gespeende biggen uit het varkenstoilet en de dunne en dikke fractie na slibontwatering bij TCFC een N-organisch/N-totaal verhouding groter dan 80% hebben en hiermee als bodemverbeteraar gebruikt kunnen worden.

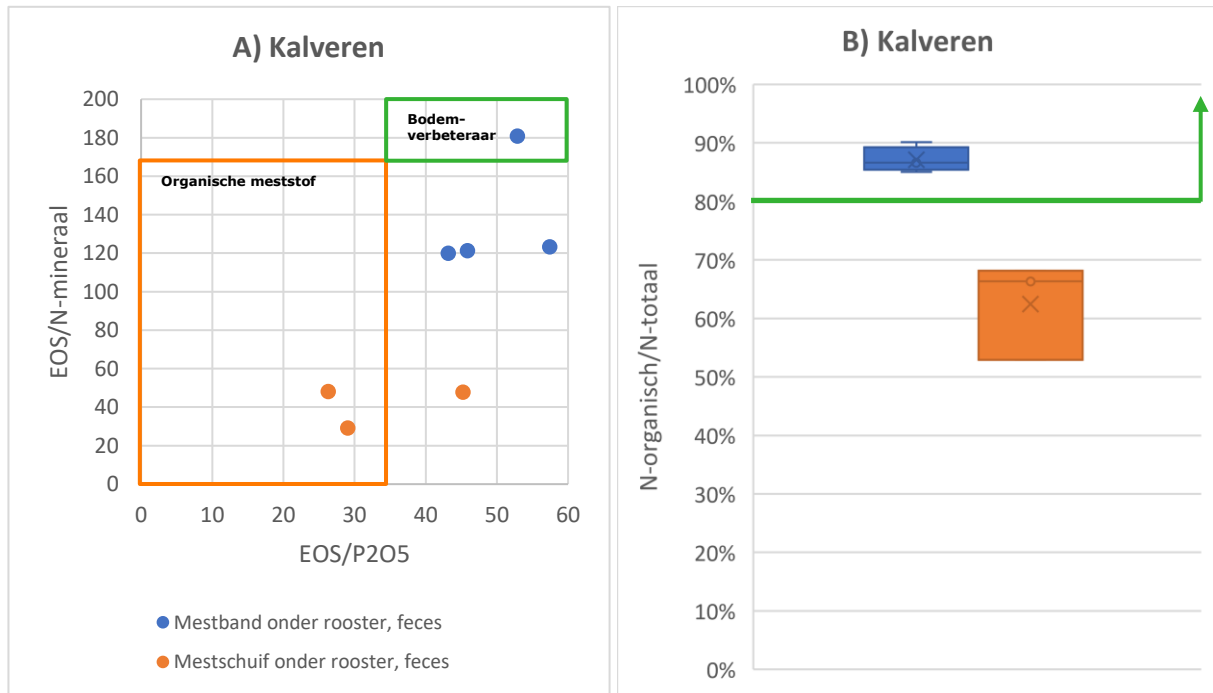


Figuur 7 Verhouding effectieve organische stof (EOS) en minerale stikstof (N-mineraal) en fosfaat (P₂O₅) (A) en de verhouding organische stikstof (N-organisch) en totale stikstof (N-totaal) (B) van de mestmonsters van mestproducten uit stalsystemen met varkens. Bodemverbeteraars hebben EOS/N-mineraal boven 150, EOS/P₂O₅ boven 35 en N-organisch/N-totaal boven 80%.

4.2.3 Kalveren

Figuur 8A geeft de verhouding tussen EOS en N-mineraal en tussen EOS en P₂O₅ van de monsters genomen uit kalverstallen weer. De feces bij een mestschuif onder de roosters is bij drie verschillende kalverbedrijven bemonsterd en van twee van deze monsters voldoen aan beide criteria voor organische meststof (bedrijf K2 en K3). Het derde monster (bedrijf K4) heeft voldoende hoge EOS/P₂O₅ verhouding, maar ook een te lage EOS/N-mineraal verhouding en voldoet daarmee niet als bodemverbeteraar. Wellicht komt het verschil tussen de bedrijven doordat K2 en K3 rosé kalveren houden en bedrijf K4 blankvleeskalveren. De feces fracties van de mestband onder de roosters voldoen vaak aan beide criteria niet. Een enkel monster voldoet

aan de criteria voor bodemverbeteraars, maar de overige fecesfracties van dit systeem hebben een te lage EOS/N-mineraal verhouding. Figuur 8B laat ook zien dat alle vier de fecesfracties van de mestschuif onder de roosters te weinig organische stikstof bevatten. De fecesfracties van de mestband onder de roosters hebben wel een voldoende hoge N-organisch/N-totaal verhouding om als bodemverbeteraar gebruikt te worden.



Figuur 8 Verhouding effectieve organische stof (EOS) en minerale stikstof (N-mineraal) en fosfaat (P_2O_5) (A) en de verhouding organische stikstof (N-organisch) en totale stikstof (N-totaal) (B) van de mestmonsters van mestproducten uit stalsystemen met kalveren. Bodemverbeteraars hebben EOS/N-mineraal boven 150, EOS/ P_2O_5 boven 35 en N-organisch/N-totaal boven 80%.

4.3 Overig

4.3.1 Kali

Het kaligehalte in de verschillende mestproducten varieert tussen de verschillende stalsystemen en tussen de diercategorieën (Tabel 3). Voor melkvee en kalveren geldt dat over het algemeen gier een hoog (respectievelijke 7,5 en 5 gr/kg) en feces een laag kaligehalte heeft (respectievelijk 3 en 3,5 gr/kg), terwijl dit bij varkens precies andersom is (3 gr/kg in gier en 4 – 7,5 gr/kg in feces, afhankelijk van de varkenssoort). Urine uit het CowToilet heeft zelfs een nog hoger kaligehalte (11 gr/kg). Ammoniumsulfaat en spuiwater bevatten zo goed als geen kali en ook de verschillende mestproducten uit het TCFC systeem (mest met urine en spoelwater, dunne en dikke fractie na slib-ontwateren, en de dikke en dunne fractie na mestscheiding) hebben een laag kaligehalte (< 3 g/kg). De vergistingsproducten uit het Jumpstart systeem hebben allemaal een kaligehalte rond 4,5 g/kg, waaruit opgemaakt kan worden dat tijdens deze processen kali in de producten (behalve ammoniumsulfaat) gelijk blijft. De houtsnippers in de vrijloopstallen geven het mengsel van snippers, urine en feces een hoog kaligehalte (17,8 gr/kg).

Wat verder opvalt is dat het kaligehalte in varkensfeces erg verschilt tussen de varkenscategorieën. Zo bevatten de feces van opfokzeugen meer kali dan van vleesvarkens (respectievelijk 7,6 en 5,7 gr/kg) en feces van (kraam)zeugen en gespeende biggen bevatten minder kali (3 – 5 gr/kg). Er wordt in het algemeen geen kalium aan varkensvoerders toegevoegd. Het kaliumgehalte in de grondstoffen is ruim voldoende om in de behoefte te voorzien. Het grondstoffenpatroon en de variatie daarin (bij droogvoer en brijvoer) bepaalt dus het kaliumgehalte van de voeders. De relatie met het kaligehalte in het voer is in deze studie niet te achterhalen.

Tabel 3

Gemiddeld kali gehalte (g/kg) en elektrische geleidbaarheid (mS/cm) met bijbehorende standaarddeviatie van verschillende mestproducten uit verschillende stalsystemen. De diercategorieën (melkvee, varkens en kalveren) zijn opgesplitst en de kaligehaltes zijn gesorteerd van laag naar hoog per diercategorie. Schuingedrukte mestproducten zijn tussenproducten en worden bij de bemonsterde bedrijven niet als meststof gebruikt.

* $n = 1$, dus geen standaarddeviatie mogelijk.

Stalsysteem	Mestproduct	Gemiddeld Kali gehalte (g/kg)	Gemiddelde elektrische geleidbaarheid (mS/cm)
<i>Melkvee</i>			
Jumpstart	Ammoniumsulfaat	0,0 ± 0,0	221,1 ± 122,0
LelySphere	Spuiwater	0,0 ± 0,0	158,1 ± 106,2
Zeraflex	Feces	2,4 ± 0,5	23,1 ± 10,9
LelySphere	Feces	2,4 ± 0,6	11,4 ± 3,2
VrijLevenStal	Feces, zand	2,5 *	7,5 *
Zeraflex	Feces met stro	2,8 ± 0,3	20,5 ± 2,4
Rubberen vloer	Feces	2,9 *	25,8 *
Jumpstart	<i>Dunne fractie digestaat</i>	4,1 ± 0,0	26,6 ± 0,3
Betonsleuenvloer	Feces met stro	4,1 ± 0,5	24,4 ± 3,8
CowToilet	Dikke drijfmest	4,1 ± 1,3	25,5 ± 12,0
Jumpstart	Effluent	4,1 ± 0,7	20,0 ± 0,7
Jumpstart	Dikke fractie digestaat	4,2 ± 0,5	19,0 ± 2,5
Jumpstart	<i>Digestaat</i>	4,4 ± 0,7	23,5 ± 1,1
Jumpstart	<i>Verse drijfmest</i>	4,4 ± 0,9	19,6 ± 0,3
Vrijloopstal	Drijfmest	4,8 ± 0,4	17,4 ± 1,6
Betonsleuenvloer	Feces	4,9 ± 0,5	15,4 ± 1,3
VrijLevenStal	Drijfmest	5,0 *	20,1 *
Gangbare roostervloer	Drijfmest	5,0 ± 0,5	25,5 ± 10,5
LelySphere	Gier	5,8 ± 0,1	30,4 ± 0,9
Zeraflex	Gier	7,1 ± 1,5	34,1 ± 7,9
Betonsleuenvloer	Gier	7,5 ± 3,1	31,5 ± 6,3
Rubberen vloer	Gier	8,1 *	40,1 *
VrijLevenStal	Gier	8,1 *	37,7 *
Zeraflex	Aangezuurde gier	8,7 *	42,6 *
CowToilet	Urine	11,6 ± 0,5	51,4 ± 0,5
Vrijloopstal	Feces, urine, houtsnippers	17,8 ± 1,4	39,0 ± 3,4
<i>Varkens</i>			
TCFC	Dunne fractie na slibontwatering	1,7 ± 0,2	7,4 ± 1,0
TCFC	<i>Spoelwater (ammoniakarm)</i>	2,0 ± 0,2	9,1 ± 1,2
TCFC	<i>Mest, urine, spoelvoestof</i>	2,2 ± 0,2	20,0 ± 2,2
TCFC	Dikke fractie na scheiding	2,6 ± 0,3	13,0 ± 3,5
Mestband onder roosters	Gier	2,8 ± 0,7	22,3 ± 6,3
TCFC	Dikke fractie na slibontwatering	2,9 ± 0,1	19,1 ± 3,6
Mestband onder roosters	Feces zeugen met stro	3,9 ± 1,0	22,2 ± 1,1
Varkenstoilet	Feces gespeende biggen	5,0 *	26,0 *
Mestband onder roosters	Feces kraamzeugen	5,3 ± 1,0	25,5 ± 7,0
Wroetstal	Drijfmest	5,6 ± 0,1	34,2 ± 1,3
Mestband onder roosters	Feces vleesvarkens met stro	5,7 ± 0,2	34,6 ± 0,5
Wroetstal	Feces, urine, stro	7,0 ± 0,2	31,7 ± 6,7
Mestband onder roosters	Feces opfokzeugen	7,6 ± 4,4	36,8 ± 10,8
<i>Kalveren</i>			
Mestband onder rooster	Feces	3,3 ± 1,1	24,3 ± 10,1
Mestschuif onder rooster	Feces	3,8 ± 0,7	14,0 ± 3,8
Mestschuif onder rooster	Gier	4,6 ± 0,5	29,5 ± 6,8
Mestband onder rooster	Gier	5,8 ± 1,8	41,5 ± 7,9

Kali heeft meerdere functies, zowel in de bodem als in het rantsoen. Een overmaat aan kali geeft problemen met de gezondheid van het (rund)vee, terwijl bij onvoldoende kali gewasgroei stagneert. Als de derogatie het komende jaar wordt afgebouwd, zal de druk om gier of urine als RENURE te beschouwen toenemen. Wanneer gier of urine niet als dierlijke mest wordt gezien, mag dit bovenop de 170 kilogram stikstof uit dierlijke mest per hectare toegediend worden en kan er daardoor een overbemesting van kali ontstaan. Er zijn geen kali normen, maar in de praktijk rekent men met het bemestingsadvies (Verstraten et al., 2022).

4.3.2 Elektrische geleidbaarheid

De elektrische geleidbaarheid (EC) geeft het vermogen van een vloeistof om elektrische stroom te geleiden weer. Elektrische lading wordt door ionen door een stof gedragen en hoe meer ionen beschikbaar zijn, hoe hoger de geleidbaarheid. Dit wordt uitgedrukt in millisiemens per centimeter (mS/cm). Zuiver gedistilleerd water is water zonder zouten en mineralen en heeft een EC-waarde van 0 mS/cm. De EC-waarde zegt alleen iets over de hoeveelheid zout-ionen in een oplossing en niet direct iets over de samenstelling van de oplossing. Toch kan op basis van de relatie tussen de concentratie ammonium- of kaliumionen in mest en de EC waarde van mest de concentratie ammonium of kalium worden geschat (Stevens et al., 1995). De EC waarde van een bodem geeft het totale zoutgehalte, dus alle opgeloste mineralen en zouten in het bodemvocht, weer en is een maat voor eventuele bodemverzilting. Verschillende gewassen zijn in meer of mindere mate gevoelig voor een hoge EC waarde van de bodem. Aan de andere kant kan een te lage EC waarde leiden tot verminderde groei, omdat bepaalde nutriënten ontbreken. Door bemesting met mestproducten met een hoog zoutgehalte en dus een hoge EC, kan de EC van de bodem oplopen (Omeira et al., 2006; Li-Xan et al., 2007; Azeez & Averbeke, 2012). Afhankelijk van de bodemsoort en het gewas kan een mestproduct met een hoge of lagere EC gewenst zijn. Uit Tabel 3 blijkt dat bij melkvee en kalveren voornamelijk gier- en urinefracties een hoge EC hebben, terwijl dit bij varkens voornamelijk de fecesfracties zijn. Daarnaast hebben ammoniumsulfaat en spuitwater ook een hoge EC, al was de variatie tussen de genomen monsters in dit onderzoek groot. Alle mestproducten uit het TCFC hebben een lage EC.

4.3.3 pH

In een mestproduct met een lage pH verschuift het evenwicht tussen ammonium en ammoniak naar de kant van ammonium, waardoor er minder ammoniak kan vervluchtigen. Een hoge pH zorgt er juist voor dat het evenwicht verschuift naar de kant van ammoniak en veel kan vervluchtigen. Mestproducten met relatief veel minerale stikstof en een hoge pH, kunnen dus leiden tot grotere stikstofverliezen.

Tabel 4 Gemiddelde pH en standaarddeviatie van mestproducten uit verschillende stalsystemen. Alleen de mestproducten met een pH lager dan 6 of hoger dan 8 zijn weergegeven. De diercategorieën (melkvee, varkens en kalveren) zijn opgesplitst en de mestproducten zijn gesorteerd op pH van laag naar hoog per diercategorie. Schuingedrukte mestproducten zijn tussenproducten en worden bij de bemonsterde bedrijven niet als meststof gebruikt.
* $n = 1$, dus geen standaarddeviatie mogelijk.

Stalsysteem	Mestproduct	Gemiddelde pH
<i>Melkvee</i>		
LelySphere	Spuiwater	1,9 ± 0,5
Jumpstart	Ammoniumsulfaat	3,6 ± 0,0
Zeraflex	Aangezuurde gier	4,4 *
Jumpstart	Effluent	8,2 ± 0,1
VrijLevenStal	Feces, zand	8,8 *
Jumpstart	Dikke fractie digestaat	8,6 ± 0,2
Zeraflex	Gier	8,8 ± 0,4
Betonsleuenvloer	Gier	8,9 ± 0,1
CowToilet	Urine	9,1 ± 0,0
Vrijloopstal	Feces, urine, houtsnippers	9,1 ± 0,4
<i>Varkens</i>		
Varkenstoilet	Feces gespeende biggen	5,7 *
TCFC	Spoelwater (ammoniakarm)	8,2 ± 0,1
TCFC	Dunne fractie na slibontwatering	8,3 ± 0,0
TCFC	Dikke fractie na scheiding	8,3 ± 0,2
Mestband onder roosters	Gier	8,4 ± 0,4
<i>Kalveren</i>		
Mestband onder rooster	Feces	5,8 ± 0,3
Mestschuif onder rooster	Gier	8,0 ± 0,3
Mestband onder rooster	Gier	8,9 ± 0,2

Uit Tabel 4 blijkt dat met name gier fracties bij zowel melkvee, varkens als kalveren een hoge pH hebben. Deze gierfracties bevatten over het algemeen ook relatief veel minerale stikstof, waardoor het gevaar ontstaat dat deze stikstof vervluchtigt. De aangezuurde gier heeft een lage pH, waardoor het risico op

ammoniakvervluchtiging vermindert. Spuiwater en ammoniumsulfaat bevatten ook veel minerale stikstof, maar door de extreem lage pH zal deze waarschijnlijk niet snel vervluchtigen. De fecesfracties in het varkenstoilet van gespeende biggen en van de mestband onder de roosters bij kalveren hebben ook een lagere pH en bovendien bevatten deze fracties relatief weinig minerale stikstof, waardoor het risico op ammoniakemissies klein is.

4.3.4 Fosfaat

Naast organische stof en stikstof gehalte van de mestproducten is ook het fosfaatgehalte van belang. Veehouderijbedrijven kunnen een fosfaatoverschot hebben en akkerbouwers zijn gebonden aan een maximale fosfaatbemestingsnorm.

Tabel 5 Gemiddelde fosfaat (P_2O_5) gehalten (g/kg) van mestproducten uit verschillende stalsystemen. De diercategorieën (melkvee, varkens en kalveren) zijn opgesplitst en de fosfaat gehalten zijn gesorteerd van laag naar hoog per diercategorie.
* $n = 1$, dus geen standaarddeviatie mogelijk.

Stalsysteem	Mestproduct	Gemiddeld fosfaat gehalte (g/kg)	
<i>Melkvee</i>			
VrijLevenStal	Gier	0,1	*
Zeraflex	Aangezuurde gier	0,2	*
Zeraflex	Gier	0,3	± 0,1
Cowtoilet	Urine	0,4	± 0,3
LelySphere	Gier	0,5	± 0,2
VrijLevenStal	Feces met zand	0,5	*
Jumpstart	Effluent	0,8	± 0,1
Betonsleuenvloer	Gier	1,0	± 0,5
Rubberen vloer	Gier	1,0	*
VrijLevenStal	Drijfmest	1,2	*
Vrijloopstal	Drijfmest	1,5	± 0,0
LelySphere	Feces	1,5	± 0,2
Cowtoilet	Dikke drijfmest	1,7	± 0,1
Roostervloer	Drijfmest	1,8	± 0,0
Betonsleuenvloer	Feces met stro	1,9	± 0,1
Rubberen vloer	Feces	2,0	*
Betonsleuenvloer	Feces	2,1	± 0,5
Zeraflex	Feces	2,3	± 0,3
Zeraflex	Feces met stro	2,8	± 0,0
Vrijloopstal	Feces, urine, houtsnippers	6,2	± 0,7
<i>Varkens</i>			
TCFC	Dunne fractie slibontwatering	0,1	± 0,0
Mestband onder rooster	Gier	0,1	± 0,1
Wroetstal	Drijfmest	4,0	± 0,1
Mestband onder rooster	Feces zeugen met stro	4,3	± 0,1
Wroetstal	Feces, urine en stro	4,5	± 0,0
Mestband onder rooster	Feces vleesvarkens met stro	4,8	± 0,3
TCFC	Dikke fractie slibontwatering	5,9	± 0,3
Varkenstoilet	Feces	7,8	*
Mestband onder rooster	Feces opfokzeugen	10,5	± 0,8
Mestband onder rooster	Feces kraamzeugen	16,3	± 0,5
TCFC	Dikke fractie na scheiding	21,7	± 0,7
<i>Kalveren</i>			
Mestschuif onder rooster	Gier	0,3	± 0,2
Mestband onder rooster	Gier	0,5	± 0,3
Mestband onder rooster	Feces	2,9	± 0,3
Mestschuif onder rooster	Feces	3,0	± 0,5

In Tabel 5 zijn de fosfaat (P_2O_5) gehalten vermeld van de mestproducten die aangewend kunnen worden op het land. De tussenproducten (bijvoorbeeld digestaat uit het Jumpstart systeem wat vervolgens nog verder wordt verwerkt) zijn daarom niet weergegeven. Ook ammoniumsulfaat en spuiwater zijn niet weergegeven,

omdat deze producten (bijna) geen fosfaat bevatten. Uit Tabel 5 blijkt dat voor elk systeem en diercategorie blijkt dat gier, urine en dunne fracties het laagste fosfaatgehalte hebben en feces en dikke fracties het meeste fosfaat bevatten.

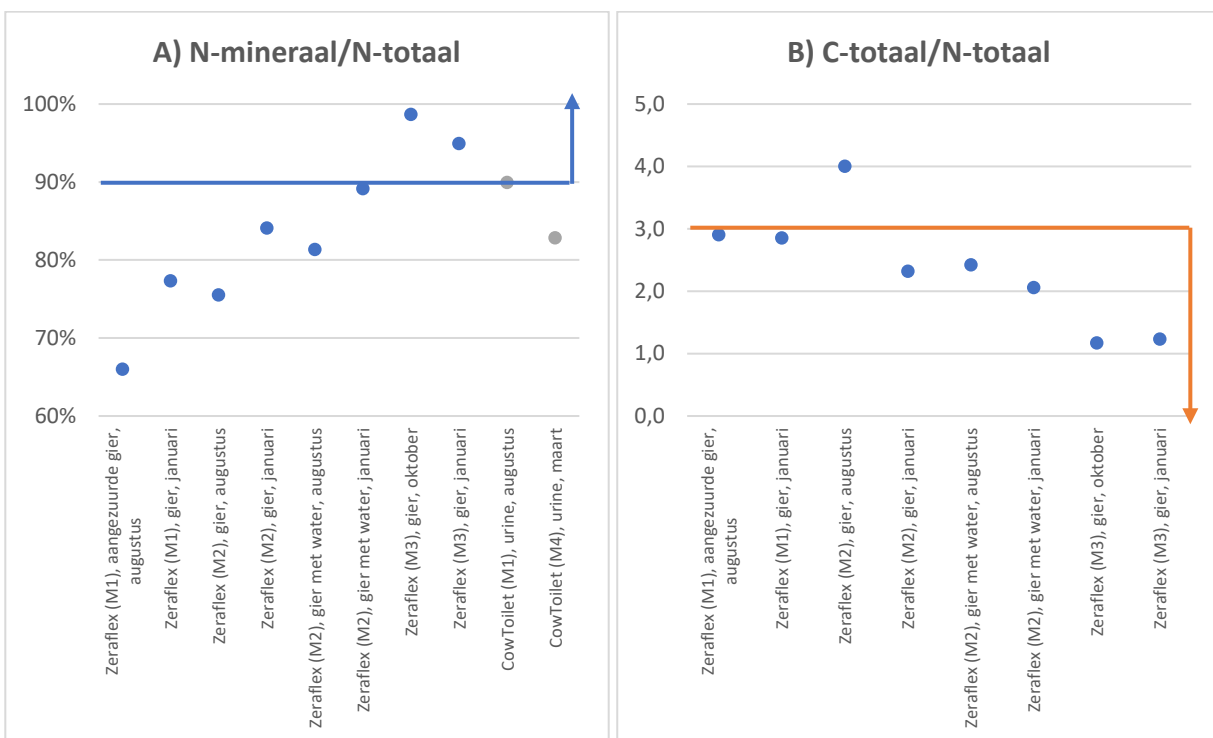
5 Discussie

5.1 Variaties tussen en binnen bedrijven

Bij enkele systemen is variatie tussen bedrijven gevonden, waarbij een mestproduct van het ene bedrijf wel zou voldoen aan de RENURE-voorwaarden terwijl een vergelijkbaar mestproduct van een ander bedrijf met het zelfde stalsysteem niet voldoet.

5.1.1 Melkvee

Uit Figuur 9A blijkt dat de urinefractie van het CowToilet van bedrijf M1 net voldoet aan de RENURE-voorwaarde van minimaal 90% minerale stikstof, terwijl de verhouding in de urinefractie van het CowToilet van bedrijf M4 te laag is (83%). Aangezien de urine in het CowToilet zuiver wordt opgevangen, werd verwacht dat deze urine veel minerale stikstof zou bevatten. De N-mineraal/N-totaal verhouding is lager dan verwacht en waarschijnlijk komt er toch feces in het CowToilet terecht, waardoor de urine is vervuild. Beide fracties voldoen wel aan de verhouding C-totaal/N-totaal en deze fracties kunnen dus als RENURE-waardig gezien worden.



Figuur 9 Verhouding minerale stikstof (N-mineraal) en totale stikstof (N-totaal) (A) en verhouding totale koolstof (C-totaal) en N-totaal (B) van de individuele mestmonsters van gierfracties van het stalsysteem met een Zeraflex vloer (blauw) en CowToilet (grijs) in de melkveehouderij. De blauwe lijn geeft de minimale grens van 90% anorganisch/mineraal aan en de oranje lijn geeft de maximale verhouding koolstof ten opzichte van stikstof van 3 aan. M1 t/m M4 geeft de unieke bedrijven aan.

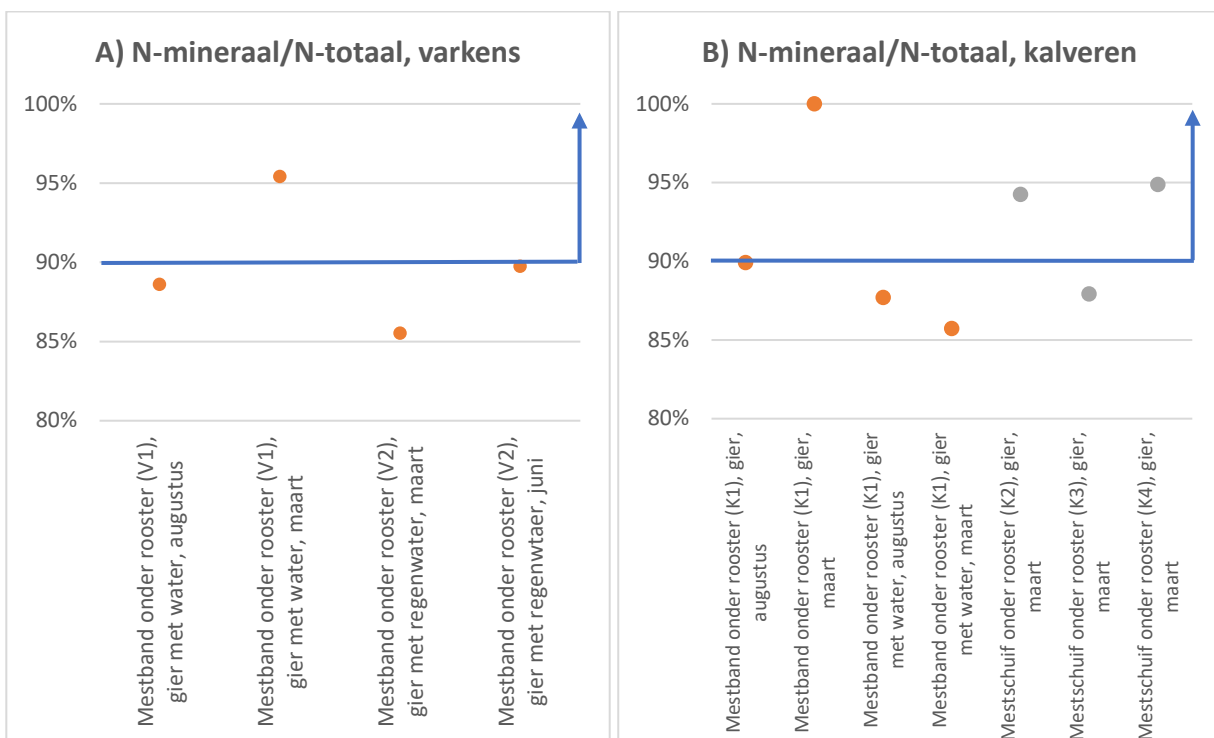
De meeste gierfracties van de Zeraflex vloer voldoen aan de RENURE-voorwaarde dat de verhouding C-totaal/N-totaal lager is dan 3 (Figuur 9B). Wel is variatie tussen de bedrijven M1, M2 en M3 te zien. Dit verschil tussen de bedrijven kan mogelijk verklaard worden door het scheidingsrendement van de vloer in een bepaalde bedrijfsvoering. Hoe meer feces bij de gierfractie komt, hoe meer ammoniakvorming en dus

hoe minder ammoniak achterblijft in de gier. Het organische stof gehalte van bedrijf M3 was lager (9,1 en 9,8) vergeleken met bedrijven M1 en M2 (26,6; 16,9; 26,2; 16,4 respectievelijk), wat kan betekenen dat de gierfractie van bedrijf M3 minder bevuild is met feces. Dit is ook terug te zien in Figuur 9B, waarbij de twee gierfracties van bedrijf M3 ook de laagste verhouding C-totaal/N-totaal hebben. Echter zijn er, naast de emissies uit de kelder, meer factoren die van invloed kunnen zijn op de stikstofverhouding in het mestproduct, zoals bijvoorbeeld het aandeel krachtvoer en de hoeveelheid en kwaliteit van het eiwit in het rantsoen (Duinkerken et al., 2003). Daarnaast zijn maar enkele monsters per bedrijf genomen en kunnen hier dus geen harde conclusies over de verschillen tussen bedrijven uit worden getrokken.

Uit Figuur 9 blijkt ook dat de meeste gierfracties van de Zeraflex vloer een verhouding C-totaal/N-totaal lager dan 3 hebben, echter de gierfracties van bedrijf M1 liggen dicht bij deze grens (2,9). De specifieke fracties van dit individuele bedrijf voldoen dus wel aan de RENURE-criteria. Echter, aangezien zij niet voldoen aan de voorwaarde van 90% mineraal stikstof, kan het bij kleine variaties in organische stof of stikstof gehalten al voorkomen dat de fracties niet meer RENURE-waardig zijn.

5.1.2 Varkens

Uit Figuur 10A blijkt dat bij beide bedrijven met een mestband onder de roosters enkel één monster voldoet aan het percentage van 90% en het andere monster ligt hier net onder (88% en 89%). Bij beide bedrijven wordt de gier opgevangen en gemengd met water. Bij bedrijf V1 is dit spoelwater en bij bedrijf V2 is dit regenwater. Het verdunnen met water heeft geen direct effect op de verhouding tussen mineraal en organisch stikstof. Wel leidt verdunnen met water tot minder ammoniakemissies, waardoor meer minerale stikstof achterblijft. Mogelijk bevatten de monsters met een hoge N-mineraal/N-totaal verhouding meer water, waardoor minder ammoniak is geëmitteerd en er dus meer mineraal stikstof in het mestproduct is achtergebleven.



Figuur 10 Verhouding minerale stikstof (N-mineraal) en totale stikstof (N-totaal) van de individuele mestmonsters van gierfracties van het stalsysteem met een mestband onder de roosters in de varkenshouderij (A) en mestband of -schuif in de kalverhouderij (B). De blauwe lijn geeft de grens van 90% anorganisch/mineraal aan. V1 en V2 geven de unieke bedrijven aan. V1, V2 en K1 t/m K4 geeft de unieke bedrijven aan.

5.1.3 Kalveren

Niet alle gierfracties hebben een N-mineraal/N-totaal verhouding van meer dan 90% (Figuur 10B). Bij stalsystemen met een mestband hebben de gierfracties met water een N-mineraal/N-totaal verhouding minder dan 90% en daardoor voldoen zij niet aan deze RENURE-voorwaarde. Ook bij één van de kalverbedrijven met een mestschuif heeft de gierfractie minder dan 90% N-mineraal, ook al komt de verhouding van 88% wel in de buurt. Wel hebben alle gierfracties een verhouding C-totaal/N-totaal onder 3 en daarmee voldoen zij aan de voorwaarden voor RENURE (Figuur 3B).

5.2 Macro- en micronutriënten

Naast de macro-elementen stikstof (N), fosfor (P) en kalium (K), hebben gewassen ook de macro-elementen calcium (Ca), magnesium (Mg) en zwavel (S) en sporenelementen (micronutriënten) borium (B), molybdeen (Mo), mangaan (Mn), koper (Cu), kobalt (Co), zink (Zn), ijzer (Fe), jodium (I) en selenium (Se) nodig voor groei. Jodium en selenium zijn in de meststoffenregelgeving niet benoemd als micronutriënten en natrium is voor de meeste gewassen (behalve bieten) niet essentieel. Veel van deze sporenelementen spelen daarnaast ook een rol in de gezondheid van het vee. De dieren krijgen de sporenelementen binnen via het rantsoen en het deel wat niet door het dier wordt opgenomen, wordt uitgescheiden via feces en urine. Momenteel wordt vooral een mengsel van feces en urine (drijfmest) gebruikt als meststof. Echter, wanneer feces en urine primair of mechanisch gescheiden gaan worden en beide fracties een andere bestemming krijgen, kan er mogelijk een tekort van bepaalde sporenelementen ontstaan.

Tabel 6 Overzicht van macro- en sporenelementen welke niet zijn geanalyseerd in de mestproducten in dit onderzoek en of deze (voornamelijk) via feces of urine worden uitgescheiden, voor runderen en varkens.

	Runderen	Bron	Varkens	Bron
Zwavel (S)	Beide	11, 14	Urine	11, 25
Magnesium (Mg)	Feces	20, 21, 22, 24	Urine	16
Calcium (Ca)	Feces	11, 17	Feces	15
Natrium (Na)	Urine***	18, 19	Urine*	16
Borium (Bo)	Urine	1*, 9*, 12, 13*	Urine**	
Molybdeen (Mo)	Feces	2, 11	Urine	2
Mangaan (Mn)	Feces	3, 11, 12	Feces	11, 5
Koper (Cu)	Feces	4, 11, 12	Feces	11, 2, 5, 8
Kobalt (Co)	Feces**	11	**	
Zink (Zn)	Feces	11, 12	Feces	11, 5, 7
IJzer (Fe)	Feces	11, 12	Feces	7
Jodium (I)	Urine	12	Urine	6
Selenium (Se)	Beide	10, 11, 13, 23	Urine	5

* grotendeels in urine, maar ook kleine hoeveelheid in feces ($\pm 60 - 70\%$ via urine)

** weinig tot geen beschikbare informatie

*** grotendeels (75%) in urine

1 Owen (2009), 2 Corzo (1972), 3 Hidioglou (1979), 4 Loeff (2015), 5 Novotny et al. (2005), 6 Schöne et al. (2006), 7 Ricker et al. (2005), 8 Carlson et al. (2012), 9 Green & Weeth (1977), 10 Juniper et al. (2006), 11 Gustafson & Olsson (2007), 12 Devasena & Sangeetha (2022), 13 Suttle (2010), 14 Kear & Watkinson (2003), 15 Fernández (1995), 16 Novotny et al. (2016), 17 Martin-Tereso & Versteegen (2011), 18 Bannink et al. (1999), 19 Kemp (1964), 20 Oberson et al. (2019), 21 Holtenius et al. (2008), 22 Martens et al. (2018), 23 Walker et al. (2010), 24 Simesen et al. (1962), 25 PigProgress (2021)

In Tabel 5 staat weergegeven via welke weg verschillende nutriënten worden uitgescheiden. Dit is voor runderen en varkens grotendeels gelijk. Alleen molybdeen en magnesium worden bij runderen via de feces uitgescheiden, terwijl dit bij varkens via de urine gebeurt. Bij productie van mineralenconcentraten uit dierlijke mest wordt de grootste hoeveelheid sporenelementen teruggevonden in de dikke fractie (Velthof, 2011; Hoeksma et al., 2011; Ehlert & Hoeksma, 2011). Tabel 6 geeft enkel een inzicht in welke elementen in welke fracties terecht komen. In een ander onderzoek binnen de PPS BSMO zal het effect van de aan- of afwezigheid van deze nutriënten voor specifieke gewassen bekeken worden.

5.3 Aanvullende criteria RENURE

Naast de in Hoofdstuk 4.1 behandelde criteria voor RENURE met betrekking tot de verhouding tussen minerale stikstof en totaal stikstof en tussen totale koolstof en totale stikstof zijn er nog meer criteria opgenomen in de gebruiksvoorschriften. Zo dienen te hoge gehalten aan zware metalen, met name koper en zink, te worden voorkomen. Het koper- en zinkgehalte dient kleiner of gelijk te zijn dan respectievelijk 300 en 800 mg/kg droge stof. In dit onderzoek zijn het koper- en zinkgehalte van de urine en dunne fracties niet geanalyseerd. Echter, uit Tabel 5 blijkt dat koper en zink voornamelijk uitgescheiden worden via de feces, waardoor naar verwachting de gierfracties aan dit criteria zullen voldoen.

5.3.1 Zeven van urine

Bij bedrijf M13 (betonsleuvenvloer) is uitgeprobeerd of het zeven van de gierfractie ervoor kan zorgen dat deze fractie wel voldoet aan de RENURE-voorwaarden (Tabel 7). De oorspronkelijke gierfractie zoals deze wordt opgevangen in de gieropslag voldoet aan beide RENURE-voorwaarden niet ($N\text{-mineraal}/N\text{-totaal} < 90\%$ en $C\text{-totaal}/N\text{-totaal} > 3$). Wanneer de gierfractie met een 5 mm zeef wordt gezeefd, wordt organische stof eruit gezeefd, waardoor de verhouding $C\text{-totaal}/N\text{-totaal}$ daalt. De $N\text{-mineraal}/N\text{-totaal}$ verhouding verandert niet. Uit Tabel 7 blijkt dat het zeven van de gierfractie met een 5 mm zeef al leidt tot een $C\text{-totaal}/N\text{-totaal}$ verhouding lager dan 3 en dat het gebruik van fijnere zeven (3 en 4 mm) leidt tot een verdere verlaging van deze verhouding. Het zeven van de gier fractie kan dus een goede manier zijn om een mestproduct geschikt(er) te maken als kunstmestvervanger.

Tabel 7 Organische stof (OS), totaal koolstof (C-totaal), totaal stikstof (N-totaal), mineraal stikstof (N-mineraal) gehalte (gr/kg) en de verhouding tussen N-mineraal en N-totaal en tussen C-totaal en N-totaal van een gier fractie van een betonsleuvenvloer welke is gezeefd met een 5, 4 en 3 mm zeef.

	OS	C-totaal	N-totaal	N-mineraal	N-mineraal/N-totaal	C-totaal/N-totaal
Gier fractie	38,5	19,3	4,89	3,54	72%	3,9
5 mm zeef	30,3	15,2	5,41	3,99	74%	2,8
4 mm zeef	28,4	14,2	5,44	4,09	75%	2,6
3 mm zeef	24,3	12,2	4,96	3,75	75%	2,4

5.4 Beperkingen

5.4.1 Betrouwbaarheid

Dag en plaats van monsternamen zijn erg bepalend voor de resultaten, alsook het rantsoen (waar in dit onderzoek geen zicht op was), de ouderdom van de mest en de manier waarop mest wordt opgeslagen. Per systeem zijn slechts één of twee monsters in de tijd genomen en bekend is dat de spreiding in de praktijk groot is (Hoeksma, 1988; Timmerman en Smolders, 2003). Daarnaast waren niet alle genomen monsters geschikt om mee te nemen in de resultaten, omdat sommige monsters geen pure mestproducten uit de stalsystemen bleken te zijn, maar dat deze vermengd waren met andere (mest)producten. Zo zijn niet alle mestmonsters van het LelySphere systeem meegenomen, omdat niet op alle bedrijven de pure mestproducten beschikbaar waren. Bij bedrijf M7 kwamen urine en feces in de kelder weer samen, waardoor het niet mogelijk was om een monster van de urinefractie te nemen. Bij bedrijf M5 werden de feces mechanisch gescheiden en werd de ontstane dunne fractie samen met de gierfractie in de kelder opgeslagen. Het genomen monster uit de kelder is dus niet representatief voor een (pure) gierfractie en is daarom niet in de resultaten meegenomen. Ook het genomen monster van de dunne fractie van het intelligente varkenstoilet (V5) is niet meegenomen in de resultaten, omdat bleek dat voor het monsternamemoment niet op het toilet was geürineerd en het monster enkel spoel- en regenwater betrof.

De resultaten laten zien dat vaak enkele monsters wel aan de criteria voldoen, maar andere monsters van hetzelfde bedrijf of systeem niet. Het is daarom lastig aan te geven of dit verschil wordt bepaald door bedrijfsvoering, stalsysteem of door variatie in monsternamen. Om dit beter in beeld te krijgen zijn meerdere

monsternames op één bedrijf nodig op verschillende momenten van de dag en in de verschillende seizoenen. De resultaten van dit onderzoek zijn daarom niet nauwkeurig genoeg om beleid op te baseren, maar geven wel een richting om te beoordelen welke mestproducten waardevol zijn in de keten en bij aanwending. Hier zal in een ander onderzoek binnen de PPS BSMO verder op in worden gegaan.

5.4.2 Kwantificering meststromen

In dit onderzoek zijn enkel mestmonsters genomen om de samenstelling van de mestproducten te bepalen. Het was niet mogelijk om op alle praktijkbedrijven de hoeveelheden van de verschillende meststromen te bepalen. Om die reden zijn er in dit onderzoek ook geen massabalansen opgesteld. Een massabalans kan mede inzicht geven in de verdeling van de nutriënten over de verschillende producten en bewerkingen. Ook zijn deze hoeveelheden per meststroom nodig in verband met giften per hectare en aanwendingsmethoden. Aanbevolen wordt om bij de meest perspectievolle mestketens ook de massabalansen op te stellen. Daartoe zal extra onderzoek op praktijkbedrijven of op proefbedrijven nodig zijn.

5.4.3 Emissies uit mestproducten

In dit onderzoek zijn de emissies vanuit de mestproducten niet gemeten. Echter is het wel van belang om de emissies vanuit de mest, de opslag en de mestbewerking in de beschouwing te betrekken of om dit in een later onderzoek mede vast te stellen. In een ander onderzoek binnen de PPS BSMO zullen verschillende duurzaamheidsaspecten, waaronder emissies worden onderzocht. Als bijvoorbeeld een hoog gehalte organische stikstof in de mest wordt gemeten, is het mogelijk dat de minerale stikstof al uit dit mestproduct is geëmitteerd als ammoniak of lachgas. Daarnaast wordt het gehalte aan organische stof sterk beïnvloed door de emissies van methaan of CO₂ vanuit het mestproduct.

6 Conclusie/aanbevelingen

Op basis van de samenstelling van de mestproducten blijkt dat over het algemeen geldt dat:

- Gierfracties rijk aan stikstof zijn en dit vooral mineraal stikstof is.
- Fecesfracties veel fosfaat en organische stof bevatten. De stikstof in fecesfracties is vooral organische stikstof.
- Gierfracties van melkvee en kalveren en fecesfracties van varkens de meeste kali bevatten.

Verder blijkt uit dit onderzoek dat de gierfracties van stalsystemen met primaire scheiding (Zeraflex, CowToilet, LelySphere en betonsleuenvloer) veelbelovend zijn om als kunstmestvervanger gebruikt te worden (Tabel 8). Soms is echter nog verdere bewerking nodig voordat alle fracties kunnen voldoen aan de voorwaarden van RENURE. Alleen de rubberen scheidingsvloer blijkt niet voldoende in staat de fracties te scheiden en daarnaast leidt dit systeem ook niet tot ammoniakemissiereductie in de stal.

Tabel 8 Overzicht van de verschillende stalsystemen per diercategorie met bijbehorende mestproducten en of deze voldoen aan de voorwaarden voor RENURE, organische meststoffen (org. meststof) of bodemverbeteraars (bodem verb.). Schuingedrukte mestproducten zijn tussenproducten en worden bij de bemonsterde bedrijven niet als meststof gebruikt.

Stalsysteem	Mestproduct	RENURE	Mestproduct	Org. meststof	Bodem verb.
Melkvee					
Zeraflex	Gier	1	Feces	1	1
			Feces, stro	0	1
Rubberen vloer	Gier	0	Feces	0	1
CowToilet	Urine	1	Dikke drijfmest	1	0
LelySphere	Gier	1	Feces	1	1
	Spuiwater	NA			
VrijLevenStal	Gier	2	Drijfmest	2	0
			Feces, zand	2	0
Betonsleuenvloer	Gier	0	Feces	1	0
			Feces, stro	1	0
Jumpstart	Ammoniumsulfaat	2	Verse drijfmest	1	0
	Dunne fractie digestaat	0	Dikke fractie digestaat	2	0
	Digestaat	0	Digestaat	2	0
	Effluent	0	Effluent	2	0
Vrijloopstal			Drijfmest	2	0
			Urine, feces, houtsnippers	0	1
Varkens					
Mestband onder roosters	Gier	1 - 2	Feces	1	1
Wroetstal			Drijfmest	2	0
			Feces, urine, stro	1	1
TCFC	Urine, feces, spoelvoeistof	0	Urine, feces, spoelvoeistof	2	0
	Spoelvoeistof	0	Dikke fractie na scheiding	2	0
	Dunne fractie slib ontwateren	0	Dunne fractie slib ontwateren	1	1
			Dikke fractie slib ontwateren	1	1
Varkenstoilet			Feces	1	1
Kalveren					
Mestband onder roosters	Gier	1 - 2	Feces	0	1
Mestschuif onder roosters	Gier	1 - 2	Feces	1	0

RENURE: 2 = voldoet aan beide voorwaarden, 1 - 2 = voldoet aan één voorwaarde en circa 50% van de genomen monsters voldoet aan beide voorwaarden, 1 = voldoet aan één voorwaarde, 0 - 1 = circa 50% van de genomen monsters voldoet aan één van de voorwaarden, 0 = voldoet niet.

Org. meststof: 0 = voldoet niet, 1 = voldoet één van de twee voorwaarden, 2 = voldoet aan beide voorwaarden

Bodem verb.: 0 = voldoet niet, 1 = voldoet bijna aan beide voorwaarden, 2 = voldoet aan beide voorwaarden

NA = niet van toepassing

Het intelligente varkenstoilet geeft waardevolle feces, echter dient het systeem nog verder ontwikkeld te worden om ook een RENURE-waardige gier- of urine fractie te kunnen geven. De wroetstal voor varkens en de vrijloopstal voor melkvee zijn oorspronkelijk ontwikkeld om het dierenwelzijn te verbeteren en door de toevoeging van organische stof (stro of houtsnippers) werd verwacht dat deze mestproducten als bodemverbeteraar gebruikt zouden kunnen worden. Echter blijkt op basis van de genomen mestmonsters dat deze mestproducten hier niet altijd aan voldoen.

Op basis van de mestproducten en emissiereducties in de stal zijn de volgende stalsystemen het meest perspectiefvol:

- CowToilet: de opgevangen urine voldoet aan één van de RENURE-voorwaarden. Primaire scheiding leidt tot ammoniakemissiereductie en dit kan verder gereduceerd worden door het CowToilet te combineren met een emissiearme vloer.
- Zeraflex: de gierfracties voldoen aan één van de RENURE-voorwaarden. Wanneer de feces gemengd worden met stro voldoen deze als bodemverbeteraar en het systeem reduceert ammoniakemissies in de stal.
- LelySphere: de gierfracties voldoen aan één van de RENURE-voorwaarden en wanneer de fecesfracties zorgvuldig worden opgeraapt en apart worden opgeslagen, kunnen deze voldoen als bodemverbeteraar. Ook reduceert dit stalsysteem ammoniakemissies uit de stal. Wel is het van belang dat de verschillende meststromen (gier, feces, spuiwater) gescheiden worden opgeslagen en niet later weer worden gemengd.
- VrijLevenStal: deze gierfractie voldoet aan beide RENURE-voorwaarden en zowel de drijfmest als de feces met zand voldoen als organische meststof. Wel moet onderzoek nog aantonen dat emissies gereduceerd worden, met name stikstofverliezen.
- Total Circular Farm Concept: de dikke fractie na mestscheiding kan gebruikt worden als organische meststof, terwijl de twee fracties na slibontwatering als bodemverbeteraar gebruikt kunnen worden. Daarnaast zijn door de dagontmesting en verdunning van de mest de ammoniak- en methaanemissies in dit stalsysteem laag.
- Jumpstart: het ammoniumsulfaat voldoet aan beide RENURE-voorwaarden en het effluent en de dikke fractie na scheiding van het digestaat voldoen als organische meststof. Het is echter onbekend wat de emissies uit de stal zijn. Verwacht wordt dat deze laag zijn, omdat de mest ieder uur uit de stal wordt verwijderd.
- Mestbanden en schuiven: de gierfracties voldoen aan één of beide RENURE-voorwaarden en de fecesfracties volstaan als organische meststof (varkens en kalveren) of bodemverbeteraar (kalveren). Daarnaast leidt primaire scheiding (en dagontmesting) tot lage ammoniak- en methaanemissies.

Literatuur

- Aarnink, A., J. de Groot, N. Ogink (2019) Brongerichte maatregelen voor beperking emissies uit bestaande varkensstallen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1205
- Aarnink, A.J.A., J. Huis in 't Veld, A. Hol, I. Vermeij (2007) *Kempfarm vleesvarkensstal: milieu-emissies en investeringskosten*. Animal Sciences Group, Lelystad, Rapport 67
- Aarnink, A.J.A., M.C.J. Smits, I. Vermeij (2010) Reductie van ammoniakemissie op vleesvarkensbedrijven via gecombineerde maatregelen. Wageningen Livestock Research, Rapport 366
- Azeez, J.O., W. van Averbeke (2012) Dynamics of Soil pH and Electrical Conductivity with the Application of Three Animal Manures, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, volume 43(6), <https://doi.org/10.1080/00103624.2012.653022>
- Bannink, A., H. Valk, A.M. van Vuuren (1999) Intake and Excretion of Sodium, Potassium, and Nitrogen and the Effects on Urine Production by Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. Volume 82. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75321-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75321-X)
- Boekel, E. van, P. Groenendijk, J. Kros, L. Renaud, R.J.C. Voogd, G. Ros, Y. Fujita, G.J. Noij, W. van Dijk (2021) Effecten van maatregelen in het zevende Actieprogramma Nitraatrichtlijn. Milieueffectrapportage op planniveau. Wageningen Environmental Research, rapport 3108, Wageningen
- Buissonjé, F.E. de, R. Verheijen (2014) Drijfmest verliest snel zijn waarde voor biogas. V-focus (11). P20-21
- Carlson, D., J.V. Norgaard, B. Torun, I. Cakmak, H.D. Poulsen (2012) Bioavailability of Trace Elements in Beans and Zinc-Biofortified Wheat in Pigs, *Biological Trace Element Research*, Volume 150
- Corzo, M.A. (1972) Effects of copper, sulfide and molybdenum on performance, hematology and copper, iron and zinc stores of pigs, Thesis graduate school University of Kentucky
- Dairy Campus (2021a) Doorlatende tegelvloer in bedrijfsverband. <https://dairycampus.nl/>. Geraadpleegd: 19-08-2022
- Devasena, M., V. Sangeetha (2022) Chapter Eleven – Cow urine: Potential resource for sustainable agriculture, *Emerging Issues in Climate Smart Livestock Production, Biological Tools and Techniques*, ISBN 978-0-12-822265-2
- Duinkerken, G. van, G. André, M.C.J. Smits, G.J. Monteny, K. Blanken, M.J.M. Wagemans, L.B.J. Šebek (2003) Relatie tussen voeding en ammoniakemissie vanuit de melkveestal, *Praktijkonderzoek Veehouderij, Praktijkrapport Rundvee 25*
- Ehlert, P., P. Hoeksma (2011) Landbouwkundige en milieukundige perspectieven van mineralenconcentraten, Deskstudie in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten, Alterra, Wageningen, rapport 2185
- Fernández, J.A. (1995) Calcium and phosphorus metabolism in growing pigs. I. Absorption and balance studies. *Livestock Production Science*. Volume 41(3). [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(94\)00063-D](https://doi.org/10.1016/0301-6226(94)00063-D)
- Gollenbeek, L. J. van Gastel, F. Casu, N. Verdoes (2021) Emissies en kosten van verschillende scenario's voor de verwaarding van varkensmest: NL Next Level Mestverwaarden, Wageningen Livestock Research, Wageningen, rapport 1331
- Gollenbeek, L. J. van Gastel, F. Casu, N. Verdoes (2021) Emissies en kosten van verschillende scenario's voor de verwaarding van kalvermest: NL Next Level Mestverwaarden, Wageningen Livestock Research, Wageningen, rapport 1340
- Gollenbeek, L., J. van Gastel, F. Casu, I. Huisman, N. Verdoes (2022) Berekeningen emissies en economie voor verschillende scenario's voor verwaarding van rundveemest: NL Next Level Mestverwaarden, Wageningen Livestock Research, Wageningen, rapport 1372
- Green, G.H., H.J. Weeth (1977) Responses of Heifers Ingesting Boron in Water, *Journal of Animal Science*, Volume 45 (4)
- Gustafson, G.M., I. Olsson (2007) Partitioning of nutrient and trace elements in feed between body retention, faeces and urine by growing dairy-breed steers, *Acta Agriculturae Scandinavica*, volume 54
- Hanegraaf, M., C. Nienhuis, W. Vervuurt, I. Selin Noren, W. van Geel, J. de Haan (2021) Kengetallen HC en EOS van organische meststoffen en bodemverbeteraars. Wageningen Plant Research, rapport 873, Wageningen
- Hidiroglou, M. (1979) Manganese in ruminant nutrition, *Canadian Journal of Animal Sciences*, volume 59
- Hoeksma, P. (1988) De samenstelling van drijfmest die naar akkerbouwbedrijven wordt afgezet, Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, Wageningen

- Hoeksma, P., F.E. de Buissonjé, P.A.I. Ehlert, J.H. Horrevorts (2011) Mineralenconcentraten uit dierlijke mest, Monitoring in het kader van de pilot mineralenconcentraten, Wageningen Livestock Research, Wageningen, rapport 481
- Holtenius, K., C. Kronqvist, E. Briland, R. Spörndly (2008) Magnesium Absorption by Lactating Dairy Cows on a Grass Silage-Based Diet Supplied with Different Potassium and Magnesium Levels. *Journal of Dairy Science*. Volume 91(2). <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0309>
- Houwers, H.W.J., K.H. de Greef, A.J.A. Aarnink (2014) Ammoniakemissie-arme wroetstal voor vleesvarkens. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. Rapport 751
- Huis in 't Veld, J.W.H., G.J. Monteny, R. Scholtens (2000) Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVIII: natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer tijdens de zomerperiode, Instituut voor Milieu- en Agritechneek, Wageningen, rapport: P 2000-84
- Huygens, D., G. Orveillon, E. Lugato, S. Tavazzi, S. Comero, A. Jones, B. Gawlik, H.G.M. Saveyn (2020) Technical proposals for the safe use of processed manure above the threshold established for Nitrate Vulnerable Zones by the Nitrate Directive (91/676/EEC). JRC science for policy report 121636. Publication Office of the European Union, Luxemburg. <http://dx.doi.org/10.2760/373351>
- InfoMil. 2022. Emissiefactoren per diercategorie, hoofdcategorie A: Rundvee. <https://www.infomil.nl/>. Geraadpleegd: 19-08-2022
- Juniper, D.T., R.H. Phipps, A.K. Jones, G. Bertin (2006) Selenium Supplementation of Lactating Dairy Cows: Effect on Selenium Concentration in Blood, Milk, Urine, and Feces, *Journal of Dairy Science*, Volume 89 (9)
- Kear, M.J., J.H. Watkinson (2003) Soil Extractable Organic Sulfur and Sulfate Increases Under Dairy Cow Feces and Urine Patches: The Consequences for Soil Testing. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 34 (1-2). <https://doi.org/10.1081/CSS-120017425>
- Kemp, A. (1964) Sodium requirement of milking cows: balance trials with cows on rations of freshly mown herbage and on winter rations. *Wageningen Journal of Live Sciences*. Volume 12(4). <https://doi.org/10.18174/njas.v12i4.17513>
- Li-Xian, Y., L. Guo-Liang, T. Shi-Hua, S. Gavin, H. Zhao-Huan (2007) Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application, *Science of the Total Environment*, volume 383(1-3), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.05.027>
- Loeff, M. (2015) Verschillen in kopermetabolisme tussen runderrassen, literatuurstudie in het kader van de masterproef, Universiteit Gent, Faculteit diergeneeskunde
- Martens, H., S. Leonhard-Marek, M. Röntgen, F. Stumpff (2018) Magnesium homeostasis in cattle: absorption and excretion. *Nutrition Research Reviews*. Volume 31. <https://doi.org/10.1017/S0954422417000257>
- Martin-Tereso, J., M.W.A. Verstegen (2011) A novel model to explain dietary factors affecting hypocalcaemia in dairy cattle. *Nutrition Research Reviews*. Volume 24(2). <https://doi.org/10.1017/S0954422411000126>
- Novotny, J., H. Seidel, G. Kovac, R. Babcek (2005) Bioavailability of trace elements proteinates in pigs, *University of Veterinary Medicine, Medycyna Weterynaryjna*, Volume 61 (1)
- Novotny, J., P. Reichel, B. Kósa, D. Sipos (2016) Excretion of calcium, phosphorus, magnesium and sodium in lactating sows. *Folia Veterinaria*. Volume 60(2). <https://doi.org/10.1515/fv-2016-0020>
- Oberson, J.L., S. Probst, P. Schlegel (2019) Magnesium absorption as influenced by the rumen passage kinetics in lactating dairy cows fed modified levels of fibre and protein. *Animal*. Volume 13(7). <https://doi.org/10.1017/S1751731118002963>
- Omeira, N., E.K. Barbour, P.A. Nehme, S.K. Hamadeh, R. Zurayk, I. Bashour (2006) Microbiological and chemical properties of litter from different chicken types and production systems, *Science of the Total Environment*, volume 367(1), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.02.019>
- Owen, E.C. (2009) The excretion of borate by the dairy cow, *Journal of Dairy Research*, Volume 13 (3)
- PigProgress (2021) Sulphur and sulphate in diets: is it a concern? <https://www.pigprogress.net/health-nutrition/>, geraadpleegd op 17-08-2022
- Puente-Rodríguez, D., I.D.E. van Dixhoorn, F.A. Hoorweg, L.R. Gollenbeek, C.G. van Reenen, A.J.A. Aarnink, N. Verdoes, en S. Bokma (2021) *Kalverstal van de toekomst – (bijna) Praktijkrijpe ontwerpconcepten*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1298
- Rinkcer, M.J., G.M. Hill, J.E. Link, A.M. Meyer, J.E. Rowntree (2005) Effects of dietary zinc and iron supplementation on mineral excretion, body composition, and mineral status of nursery pigs, *Journal of Animal Science*, Volume 83

-
- Scholten, M, F. Bianchi, I. de Boer, S. Conijn, J. Dijkstra, A. van Doorn, E. van den Ende, L. Fresco, R. Jongschaap, H. van Kernebeek, J.P. Lesschen, E. de Olde, R. Schulte, K. Termeer, J. van der Vorst, B. de Vos, G. Woltjes (2018) Technische Briefing Kringlooplandbouw; notitie opgesteld op verzoek van de Tweede Kamer Commissie LNV, Wageningen University and Research, Wageningen
- Schöne, F., C. Zimmermann, G. Quanz, G. Richter, M. Leiterer (2006) A high dietary iodine increases thyroid iodine stores and iodine concentration in blood serum but has little effect on muscle iodine content in pigs, *Meat Science*, Volume 72 (2)
- Simesen, M.G., T. Lunaas, T.A. Rogers, J.R. Luick (1962) The endogenous excretion of magnesium in cattle. *Acta Veterinaria Scandinavica*. Volume 3.
- Stevens, R.J., C.J. O'Brick, O.T. Carton (1995) Estimating nutrient content of animal slurries using electrical conductivity, *Journal of Agricultural Science*, volume 125, <https://doi.org/10.1017/S0021859600084367>
- Suttle, N.F. (2010) *Mineral Nutrition of Livestock*, CABI, ISBN 9781845934729
- Timmerman, M., M.A.H.H. Smolders (2003) Bezinking en bemonstering van varkensmest, Praktijkrapport Varkens nr. 21, Animal Sciences Group / Praktijkonderzoek Lelystad
- Van Dooren, H.J.C, J.M.G. Hol, K. Blanken, P.J. Galama (2019) Gasvormige emissies uit vrijloopstallen met houtsnippers; ammoniak-, lachgas- en methaanemissie op stalniveau. Wageningen Livestock Research, Wageningen. Rapport 1163
- Veeken, A., F. Adani, D. Fanguero, L. Stoumann Jensen (2017) The value of recycling organic matter to soils; classification as organic fertiliser or organic soil improver. EIP-AGRI Focus Group – Nutrient recycling
- Veeteelt (2022) Alternatief kan (nog) niet tippen aan ligboxenstal. Veeteelt special huisvesting, juli 2022
- Velthof, G.L. (2011) Synthese van het onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten, Alterra, Wageningen, rapport 2211
- Verstraten, J., J.C. van Middelkoop, A.P. Philipsen, C. van Dongen, D.W. Bussink, A.J. Bos, G.L. Velthof, J. de Haan, W. van Dijk, K. Broksma, N. van Eekeren, 2022. Bemestingsadvies, Commissie Bemesting Grasland en Voedergewas, <http://edepot.wur.nl/413891>
- Walker, G.P., F.R. Dunshea, J.W. Heard, C.R. Stockdale, P.T. Doyle (2010) Output of selenium in milk, urine, and feces is proportional to selenium intake in dairy cows fed a total mixed ration supplemented with selenium yeast. *Journal of Dairy Science*. Volume 93(10). <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3186>
- WUR (2021). Doorlaatbare tegelvloer in bedrijfsverband. Wageningen University & Research. <https://www.wur.nl/>
- WUR (2021) Wisselende effecten bij mestscheiden aan de bron. Wageningen University & Research. <https://www.wur.nl/nl/nieuws/>. Geraadpleegd: 19-08-2022

Bijlage 1 Bemonsterde bedrijven

Bedrijf	Locatie	Diersoort	Systeem	Moment	Mestproducten
M1	Friesland	Melkvee	Gangbare roostervloer	Aug 21, Jan 22	Drijfmest
M1	Friesland	Melkvee	Zeraflex	Aug 21, Jan 22	Gier, feces
M1	Friesland	Melkvee	Rubberen vloer met sleuven en gaten	Aug 21	Gier, feces
M1	Friesland	Melkvee	CowToilet	Aug 21	Urine, dikke drijfmest
M2	Utrecht	Melkvee	Zeraflex	Aug 21, Jan 22	Gier, feces
M3	Friesland	Melkvee	Zeraflex met toevoeging stro en composteren	Okt 1, Jan 22	Gier, feces, feces met stro
M4	Gelderland	Melkvee	CowToilet	Mrt 22	Urine, dikke drijfmest
M5	Noord-Brabant	Melkvee	LelySphere	Feb 22	Gier, feces, spuiwater
M6	Noord-Brabant	Melkvee	LelySphere	Mrt 22	Gier, feces, spuiwater
M7	Noord-Brabant	Melkvee	LelySphere	Nov 21, Feb 22	Drijfmest, spuiwater
M8	Noord-Holland	Melkvee	Vrijloopstal met houtsnippers	Jan 22	Drijfmest, houtsnippers met urine en feces
M9	Overijssel	Melkvee	Vrijloopstal met houtsnippers	Jan 22	Drijfmest, houtsnippers met urine en feces
M10	Zuid-Holland	Melkvee	VrijLevenStal met zandbodem	Jan 22	Gier, drijfmest, feces met zand
M11	Noord-Brabant	Melkvee	Jumpstart mestvergisting	Aug 21, Feb 22	Verse drijfmest
M12	Noord-Brabant	Melkvee	Swaans G6 vloer, mechanische scheiding, toevoeging stro, mestzak	Okt 21, Mrt 22	Gier, feces, dikke fractie met stro
M13	Noord-Brabant	Melkvee	HCI welzijnsvloer, toevoeging stro, fermenteren	Dec 21, Feb 22	Gier, feces, feces met stro
V1	Limburg	Varkens	Mestband onder roosters (met stro)	Nov 21, Jan 22	Gier, feces met stro
V2	Gelderland	Varkens	Mestband/tegels onder de roosters	Mrt 22	Gier, feces
V3	Gelderland	Varkens	Wroetstal	Nov 21	Drijfmest met stro
V4	Noord-Brabant	Varkens	Total circular farm concept	Aug 21, Feb 22	Verdunde mest, dikke fractie na mechanische scheiding, spoelwater, dikke en dunne fractie na slibontwateren
V5	Noord-Brabant	Varkens	Intelligente varkenstoilet	Jul 22	Urine, feces
K1	Noord-Brabant	Kalveren	Geperforeerde mestband onder roosters	Aug 21, Mrt 22	Gier, feces
K2	Utrecht	Kalveren	Mestschuif onder roosters	Mrt 22	Gier, feces
K3	Gelderland	Kalveren	Mestschuif onder roosters	Mrt 22	Gier, feces
K4	Gelderland	Kalveren	Mestschuif onder roosters	Mrt 22	Gier, feces

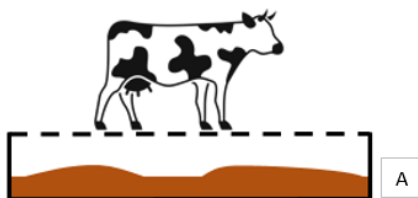
Bijlage 2 Analyseresultaten per bedrijf

In deze bijlage zijn de analyseresultaten per bedrijf weergegeven. De volgende eenheden zijn in de tabellen gebruikt:

- Droge stof, anorganische stof (as), totaal-N, ammonium-N, fosfaat (P_2O_5) en kali (K_2O) in gr/kg
- pH heeft geen eenheid
- Soortelijk gewicht (SG) in kg/liter
- Elektrische geleidbaarheid in (EC) mS/cm

Gangbare roostervloer

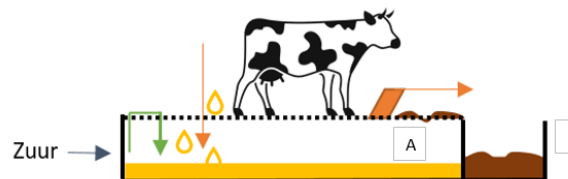
M1, Friesland



	A) Drijfmest	
	31-8-2021	20-1-2022
Droge stof	115,0	111,9
As	26,6	20,7
Totaal-N	4,27	4,16
Ammonium-N	1,75	1,72
Fosfaat	1,79	1,76
Kali	4,64	5,3
pH	6,9	6,8
EC	35,9	15
SG	1,046	1,048
RENURE	-	-
Organische meststof	Ja	Ja
Bodemverbeteraar	Nee	Nee

Zeraflex doorlatende tegelvloer

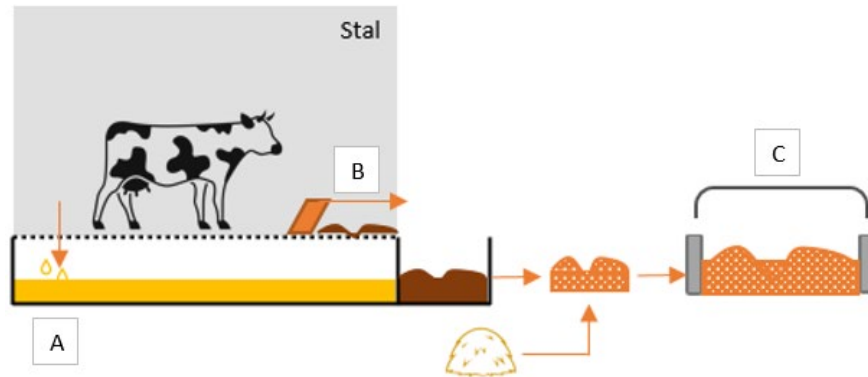
M1, Friesland



	A) Gier (aangezuurd)	A) Gier (niet aangezuurd)	B) Feces
	31-8-2021	24-1-2022	31-8-2021
Droge stof	48,8	36,7	140,2
As	25,2	19,8	23,5
Totaal-N	4,06	2,96	4,03
Ammonium-N	2,68	2,29	0,47
Fosfaat	0,238	0,46	2,36
Kali	8,65	7,4	2,17
pH	4,4	8,2	6,6
EC	42,6	33,7	23,5
SG	1,03	1,029	1,049
RENURE	Ja	Ja	-
Organische meststof	-	-	Nee
Bodemverbeteraar	-	-	Ja

Zeraflex doorlatende tegelvloer

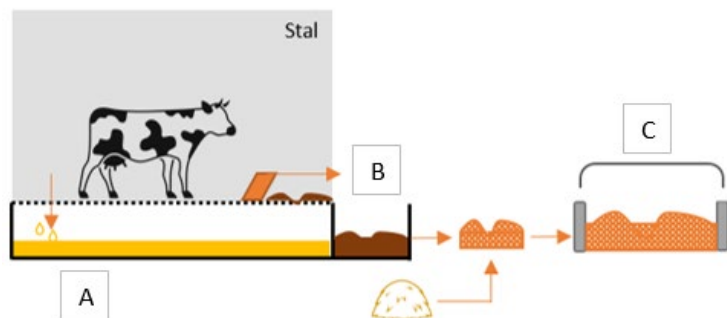
M2, Utrecht



	A) Gier (stal)		A) Gier (met speelwater van melkrobot)		B) Feces (op vloer)		C) Feces + stro (opslag)	
	9-8-2021	26-1-2022	9-8-2021	26-1-2022	9-8-2021	26-1-2022	9-8-2021	26-1-2022
Droge stof	47,7	35,7	31,4	14,8	125,8	125	202,6	128,6
As	21,5	19,3	17,1	8,7	25	18,4	62,9	24,4
Totaal-N	3,27	3,53	2,95	1,48	3,49	3,58	5,25	3,66
Ammonium-N	2,47	2,97	2,4	1,32	0,44	0,56	1,01	0,86
Fosfaat	0,458	0,3	0,318	0,14	1,7	2,18	2,47	2,08
Kali	6,92	8,31	6,75	3,69	1,67	2,04	2,33	3,01
pH	8,2	9,1	8,7	9	6,4	7,4	7,1	7,2
EC	34,6	33,1	34,6	17,3	22,15	7	22,25	19,5
SG	1,033	1,02	1,024	1,009	1,044	1,013	1,087	-
RENURE	Nee	Ja	Ja	Ja	-	-	-	-
Organische meststof	-	-	-	-	Nee	Ja	Ja	Ja
Bodemverbeteraar	-	-	-	-	Ja	Nee	Nee	Nee

Zeraflex doorlatende tegelvloer

M3, Friesland



	A) Gier		B) Feces		C) Na menging stro	
	8-10-2021	24-1-2022	8-10-2021	24-1-2022	8-10-2021	24-1-2022
Droge stof	26,5	27,7	147,3	137,0	178,8	156,1
As	17,4	17,9	21,4	23,1	29,8	24,4
Totaal-N	3,88	3,96	4,53	4,32	4,77	4,29
Ammonium-N	3,83	3,76	0,64	0,85	0,91	0,95
Fosfaat	0,09	0,1	2,66	2,75	2,75	2,82
Kali	7,89	7,48	2,07	3,1	3,06	2,61
pH	9,3	9,3	6,7	7	7,6	7,9
EC	42,7	43	21,1	46,5	22,8	18,1
SG	1,026	1,026	1,052	1,041	-	-
RENURE	Ja	Ja	-	-	-	-
Organische meststof	-	-	Ja	Ja	Ja	Ja
Bodemverbeteraar	-	-	Nee	Nee	Nee	Nee

Rubberen vloer met sleuven en gaten

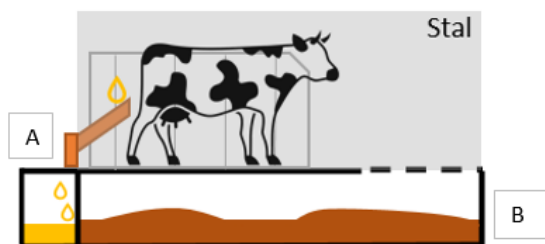
M1, Friesland



	A) Gier	B) Feces
	31-8-2021	31-8-2021
Droge stof	69,0	133,5
As	22,6	21,7
Totaal-N	4,35	3,59
Ammonium-N	3,08	0,57
Fosfaat	0,99	1,95
Kali	8,09	2,87
pH	7,5	6,6
EC	40,1	25,75
SG	1,04	1,051
RENURE	Nee	-
Organische meststof	-	Ja
Bodemverbeteraar	-	Nee

CowToilet

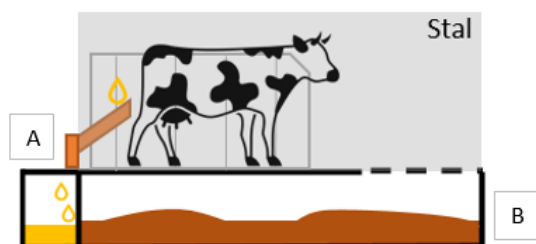
M1, Friesland



	A) Urine	B) Drijfmest
	31-8-2021	31-8-2021
Droge stof	37,7	112,1
As	26,8	23,3
Totaal-N	4,76	4,36
Ammonium-N	4,28	1,84
Fosfaat	0,014	1,79
Kali	11,19	5,02
pH	9,1	7,1
EC	50,9	37,5
SG	1,031	1,047
RENURE	Ja	-
Organische meststof	-	Ja
Bodemverbeteraar	-	Nee

CowToilet

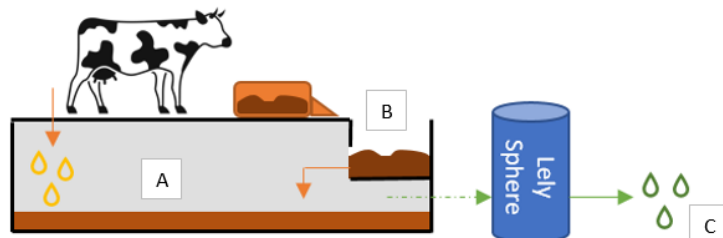
M4, Gelderland



	A) Urine	B) Drijfmest
	11-3-2022	11-3-2022
Droge stof	53,0	112,1
As	28,6	33,9
Totaal-N	7,22	3,77
Ammonium-N	5,98	1,44
Fosfaat	0,69	1,65
Kali	11,91	3,24
pH	9,1	7,1
EC	51,8	13,5
SG	1,039	1,05
RENURE	Ja	-
Organische meststof	-	Ja
Bodemverbeteraar	-	Nee

LelySphere

M7, Noord-Brabant

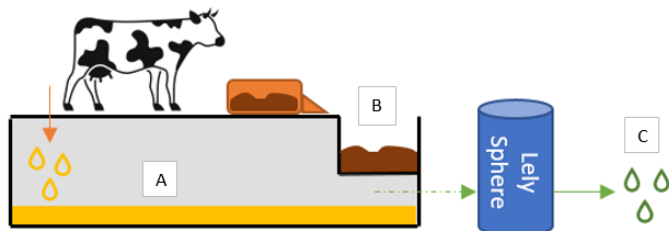


	A) Drijfmest		B) Feces		C) Spuiwater*	
	2-11-2021	28-2-2022	2-11-2021	28-2-2022	2-11-2021	28-2-2022
Droge stof	107,8	56,4	128,7	125,1	222,8	245,5
As	21,1	14,5	14,1	20,7	0	3,5
Totaal-N	4,78	3,33	3,58	3,68	35,77	44,33
Ammonium-N	2,72	2,16	0,39	0,45	38,83	47,17
Fosfaat	1,21	0,78	1,83	1,51	0,002	0,03
Kali	6,4	4,39	1,89	1,96	< 0,06	0,02
pH	7,7	7,7	6,3	7	1,1	2,1
EC	26,6	20,6	14,8	5,7	158,2	71,7
SG	1,043	1,025	1,039	1,046	1,1	1,122
RENURE	-	-	-	-	Ja	Ja
Organische meststof	Ja	Ja	Nee	Nee	-	-
Bodemverbeteraar	Nee	Nee	Ja	Ja	-	-

*Het is niet mogelijk dat totaal-N lager is dan ammonium-N. Dit is ontstaan doordat de concentraties dicht bij elkaar liggen en hierdoor de meeton nauwkeurigheid zichtbaar wordt.

LelySphere

M5, Noord-Brabant

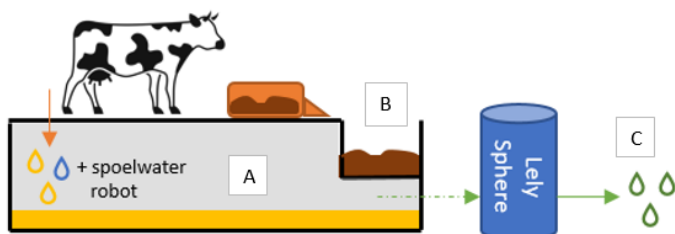


	B) Feces (nieuwe stal)	B) Feces (oude stal)	C) Spuiwater*
	16-2-2022	16-2-2022	16-2-2022
Droge stof	96,6	73,8	236,9
As	27,3	23	1,3
Totaal-N	3,45	3,16	46,5
Ammonium-N	0,99	1,1	49,1
Fosfaat	1,49	1,33	0,007
Kali	2,54	2,45	0,02
pH	7	7,2	2,1
EC	10,4	12,3	331,5
SG	1,043	1,03	1,139
RENURE	-	-	Ja
Organische meststof	Ja	Ja	-
Bodem-verbeteraar	Nee	Nee	-

*Het is niet mogelijk dat totaal-N lager is dan ammonium-N. Dit is ontstaan doordat de concentraties dicht bij elkaar liggen en hierdoor de meetonauwkeurigheid zichtbaar wordt.

LelySphere

M6, Noord-Brabant

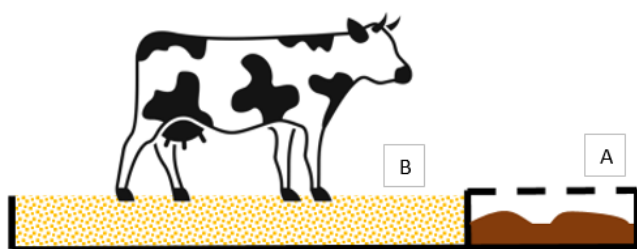


	A) Gier met spoelwater robot (put 4)	A) Gier met spoelwater robot (put 5)	B) Feces + 10% dunne fractie	C) Spuiwater *
	10-3-2022	10-3-2022	10-3-2022	10-3-2022
Droge stof	30,5	23,4	96,9	256,8
As	14,6	13,9	16,2	3,3
Totaal-N	3,14	3,07	3,88	51,42
Ammonium-N	2,41	2,60	1,61	52,32
Fosfaat	0,35	0,167	1,42	0,005
Kali	5,88	5,72	3,30	0,01
pH	7,7	7,9	6,9	2,2
EC	29,5	31,3	13,7	71,0
SG	1,018	1,016	1,035	1,149
RENURE	Ja	Ja	-	Ja
Organische meststof	-	-	Ja	-
Bodemverbeteraar	-	-	Nee	-

*Het is niet mogelijk dat totaal-N lager is dan ammonium-N. Dit is ontstaan doordat de concentraties dicht bij elkaar liggen en hierdoor de meetonauwkeurigheid zichtbaar wordt.

Vrijloopstal (met houtsnippers)

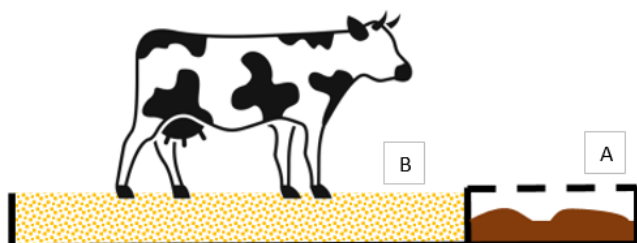
M8, Noord-Holland



	A) Drijfmest	B) Houtsnippers met feces en urine
	19-1-2022	19-1-2022
Droge stof	66,2	363,5
As	20,8	106,7
Totaal-N	3,09	11,69
Ammonium-N	1,47	0,29
Fosfaat	1,49	6,92
Kali	5,07	18,75
pH	7,3	8,7
EC	18,9	42,3
SG	42,3	-
RENURE	-	-
Organische meststof	Ja	Ja
Bodemverbeteraar	Nee	Nee

Vrijloopstal (met houtsnippers)

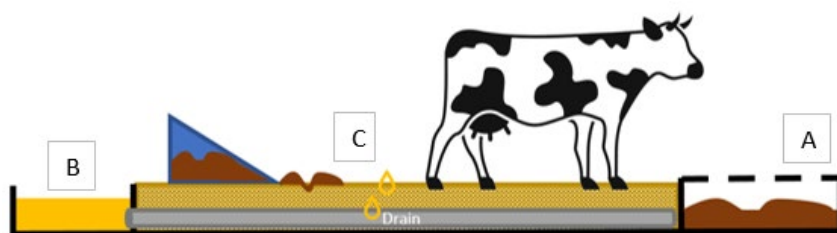
M9, Overijssel



	A) Drijfmest	B) Houtsnippers met feces en urine
	19-1-2022	19-1-2022
Droge stof	64,8	339,3
As	17,8	82,5
Totaal-N	2,88	10,34
Ammonium-N	1,23	0,32
Fosfaat	1,44	5,52
Kali	4,52	16,81
pH	7,4	9,5
EC	15,8	35,6
SG	1,028	-
RENURE	-	-
Organische meststof	Ja	Nee
Bodemverbeteraar	Nee	Ja

VrijLevenStal met zandbodem

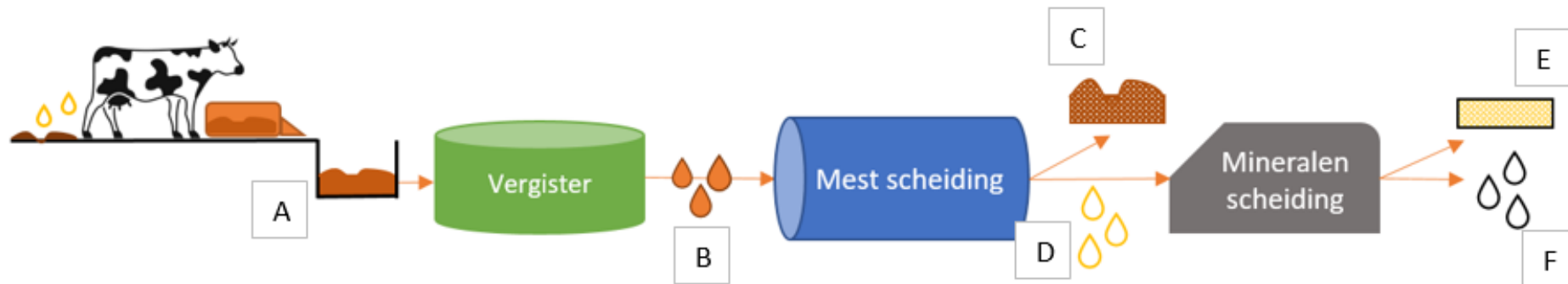
M10, Zuid-Holland



	A) Drijfmest	B) Gier	C) Feces met zand
	18-1-2022	18-1-2022	18-1-2022
Droge stof	69,6	22,9	790,9
As	28	18,3	771,8
Totaal-N	3,17	2	0,89
Ammonium-N	1,66	1,92	0,23
Fosfaat	1,17	0,05	0,5
Kali	4,96	8,12	2,51
pH	7,5	8	8,8
EC	20,1	37,7	7,5
SG	1,038	1,024	1,96
RENURE	-	Ja	-
Organische meststof	Ja	-	Ja
Bodemverbeteraar	Nee	-	Nee

Jumpstart mestvergisting en strippen

M11, Noord-Brabant

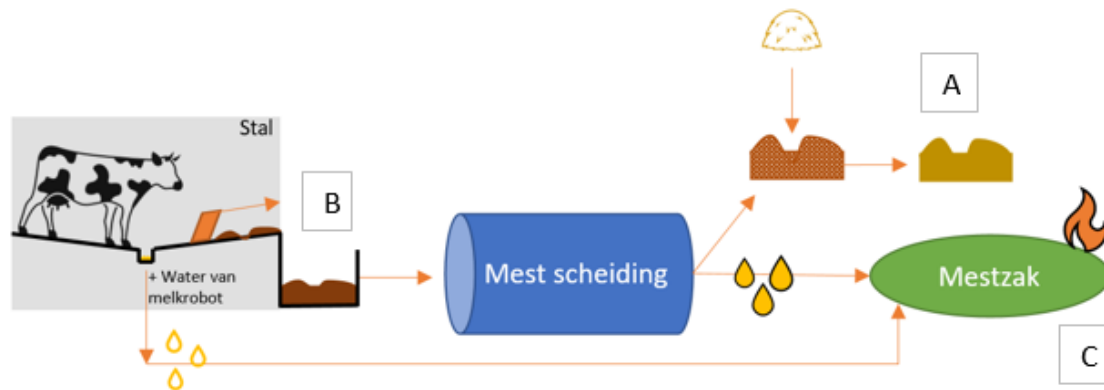


	A) Verse drijfmest		B) Digestaat		C) Dikke fractie na scheiding		D) Dunne fractie na scheiding		E) Ammonium sulfaat *		F) Effluent	
	9-8-2021	2-2-2022	9-8-2021	2-2-2022	9-8-2021	2-2-2022	9-8-2021	2-2-2022	9-8-2021	2-2-2022	9-8-2021	2-2-2022
Droge stof	100,9	93,5	67,4	75,3	298,0	371,7	40,4	42,3	270,7	248,2	39,4	41,8
As	20,1	20,0	15,7	19,7	41,3	63,1	13,5	17,6	1,8	2,0	13,5	15,5
Totaal-N	3,9	4,96	3,9	4,53	7,39	9,12	3,48	3,99	52,34	51,45	2,24	3,00
Ammonium-N	1,45	2,21	2,16	2,68	2,05	3,06	2,07	2,55	54,75	51,72	0,93	1,56
Fosfaat	1,35	1,33	1,28	1,60	5,86	8,50	0,735	1,00	0	< 0,0005	0,706	0,92
Kali	3,82	5,07	3,94	4,86	4,1	4,05	3,88	4,54	0	0,01	3,62	4,65
pH	6,8	8,5	7,9	8	8,4	8,8	7,9	8,1	3,6	3,6	8,1	8,3
EC	19,24	19,9	24,6	22,4	21,4	16,5	26,8	26,3	99,1	343,1	19,3	20,7
SG	1,04	1,043	1,035	1,036	1,101	1,154	1,031	1,026	1,51	1,143	1,029	1,022
RENURE	-	-	Nee	Nee	-	-	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee
Organische meststof	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	-	-	-	-	Ja	Ja
Bodemverbeteraar	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	-	-	-	-	Nee	Nee

*Het is niet mogelijk dat totaal-N lager is dan ammonium-N. Dit is ontstaan doordat de concentraties dicht bij elkaar liggen en hierdoor de meeton nauwkeurigheid zichtbaar wordt.

Beton sleuenvloer met mechanische scheiding en fakkel

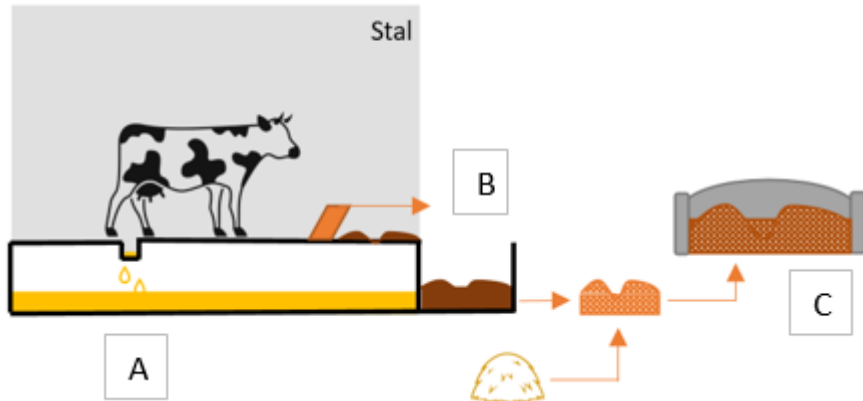
M12, Noord-Brabant



	A) Dikke fractie met stro		A) Dikke fractie met natuurhooi		B) Feces		C) Gier en dunne fractie in mestzak		C) Gier en dunne fractie uit mestzak + water zodenbemester	
	29-10-2021	16-3-2022	29-10-2021	16-3-2022	29-10-2021	16-3-2022	16-3-2022	16-3-2022	16-3-2022	16-3-2022
Droge stof	165,5	170,7	94,3	96,4	52,8	47,1				
As	19,7	22,4	21,4	22,3	16,5	14,7				
Totaal-N	3,95	4,57	4,31	4,94	3,96	3,58				
Ammonium-N	1,12	1,08	1,28	1,42	2,64	2,31				
Fosfaat	1,86	2,06	2,45	2,68	1,55	1,33				
Kali	3,47	4,21	4,45	4,69	5,3	4,43				
pH	8	7,4	6,9	7,2	7,1	7,6				
EC	25,4	22,0	16,7	15,3	26,6	24,0				
SG	-	-	1,034	1,04	1,028	1,028				
RENURE	-	-	-	-	Nee	Nee				
Organische meststof	Ja	Ja	Ja	Ja	-	-				
Bodemverbeteraar	Nee	Nee	Nee	Nee	-	-				

Beton sleuenvloer met toevoeging stro en fermentatie

M13, Noord-Brabant

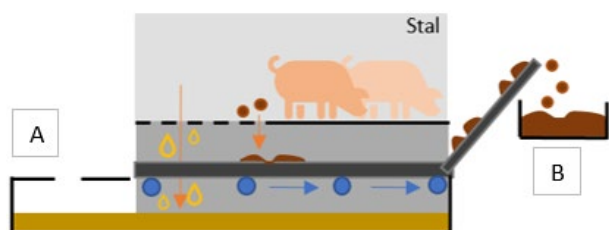


	A) Gier		B) Feces		C) Gefermenteerde fractie		Gier 3 mm zeef	Gier 4 mm zeef	Gier 5 mm zeef
	16-12-2021	1-2-2022	16-12-2021	1-2-2022	16-12-2021	1-2-2022	1-2-2022	1-2-2022	1-2-2022
Droge stof	64,2	61,2	114,4	120,0	152,7	162,9	45,6	52,2	54,1
As	23,1	22,7	21,2	31,9	37,2	40,9	21,3	23,8	23,8
Totaal-N	3,86	4,89	3,92	4,12	3,94	4,37	4,96	5,44	5,41
Ammonium-N	2,59	3,54	1,11	1,14	1,33	1,35	3,75	4,09	3,99
Fosfaat	0,60	0,44	1,49	1,72	1,74	2,04	0,48	0,53	0,56
Kali	10,71	9,58	5,51	5,10	4,57*	4,21*	8,85	9,40	9,50
pH	8,7	9,1	7,1	7,6	6,4	7,2	9,1	9,1	9,1
EC	36,9	38,6	16,4	13,3	30,1	20,0	36,4	38,6	37,9
SG	1,035	1,033	1,045	1,053	1,065	-	1,033	1,038	1,037
RENURE	Nee	Nee	-	-	-	-	Ja	Ja	Ja
Organische meststof	-	-	Ja	Ja	Ja	Ja	-	-	-
Bodemverbeteraar	-	-	Nee	Nee	Nee	Nee	-	-	-

*Hier wordt een hoger K gehalte verwacht dan in de feces fractie, vanwege de afbraak en omdat er stro (K-rijk) wordt toegevoegd. Mogelijk zijn er enige lekverliezen opgetreden.

Mestband onder de roosters

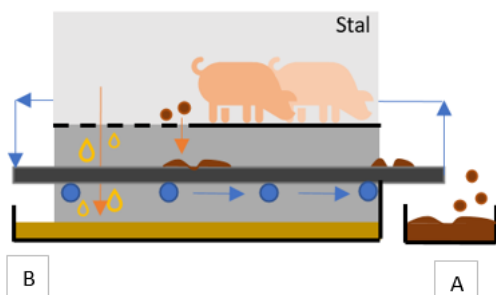
V1, Limburg



	A) Gier+ spoelwater		B) Feces vleesvarkens		C) Feces zeugen	
	2-11-2021	18-1-2022	2-11-2021	18-1-2022	2-11-2021	18-1-2022
Droge stof	10,2	16,7	231,0	219,6	226,5	206,6
As	5,7	8,4	27,3	33,0	22,2	29,1
Totaal-N	1,49	3,70	7,23	8,75	6,16	6,77
Ammonium-N	1,32	3,53	1,72	2,90	1,21	1,77
Fosfaat	0,09	0,12	4,54	5,13	4,24	4,35
Kali	2,25	3,41	4,68	6,63	3,25	4,62
pH	8,3	9,0	7,6	8,5	7,5	7,6
EC	17,9	30,3	35,0	34,1	21,1	23,2
SG	1,013	1,017	-	-	-	-
RENURE	Ja	Ja	-	-	-	-
Organische meststof	-	-	Ja	Ja	Ja	Ja
Bodemverbeteraar	-	-	Nee	Nee	Nee	Nee

Mesttegels onder de roosters

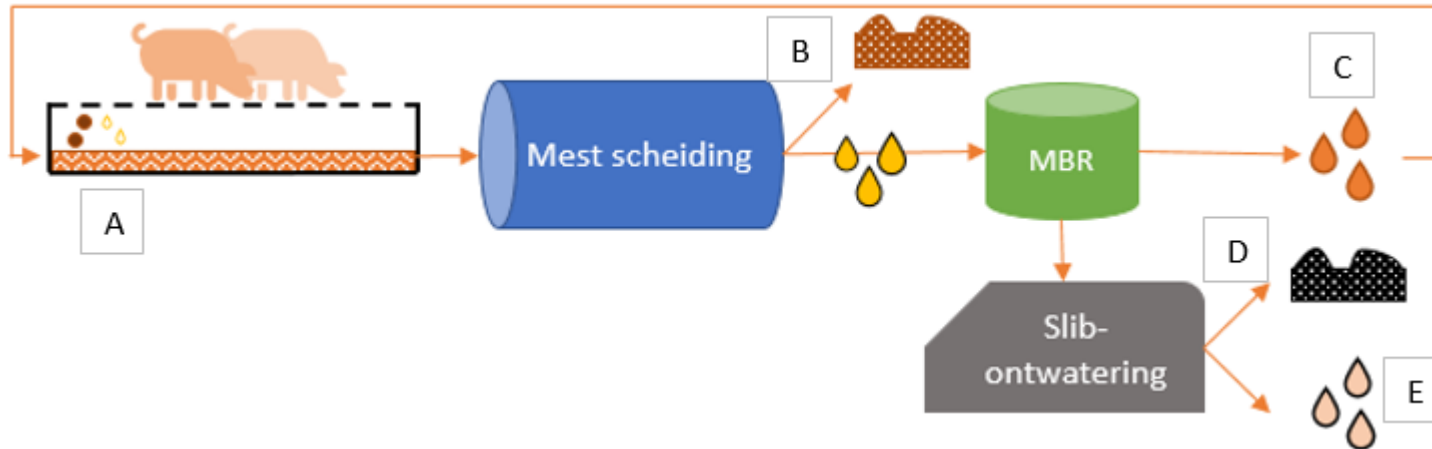
V2, Gelderland



	A) Feces kraamzeugen		B) Feces opfok gelten		C) Gier + regenwater	
	11-3-2022	16-6-2022	11-3-2022	16-6-2022	11-3-2022	16-6-2022
Droge stof	539,2	394,6	328,4	298,3	10,5	13,3
As	110,2	68,6	70,1	56,2	5,5	8,2
Totaal-N	14,74	12,78	12,68	9,95	1,66	2,54
Ammonium-N	1,48	2,62	4,15	2,35	1,42	2,28
Fosfaat	16,86	14,87	11,32	9,74	0,06	0,25
Kali	6,06	4,54	10,7	5,88	2,07	3,42
pH	6,5	8,0	7,8	7,9	7,8	8,4
EC	32,5	18,5	47,5	26,0	16,1	25,0
SG	-	-	-	-	1,01	1,017
RENURE	-	-	-	-	Ja	Ja
Organische meststof	Ja	Ja	Ja	Ja	-	-
Bodemverbeteraar	Nee	Nee	Nee	Nee	-	-

Total Circular Farm Concept

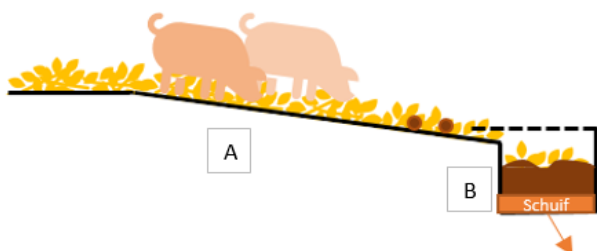
V4, Noord-Brabant



	A) Urine, feces en spoelvoeistof		B) Dikke fractie na scheiding		C) Spoelwater (ammoniakarm)		D) Dikke fractie na slib ontwatering		E) Dunne fractie na slib ontwatering	
	11-8-2021	2-2-2022	11-8-2021	2-2-2022	11-8-2021	2-2-2022	11-8-2021	11-2-2022	11-8-2021	11-2-2022
Droge stof	29,1	31,5	292,1	280,8	6,5	5,9	150,6	140,7	5,4	4,9
As	10,8	12,8	94,8	77,4	5,4	5,0	31,5	28,2	4,3	4,2
Totaal-N	2,83	2,74	11,85	12,36	0,03	0,02	10,49	10,50	0,06	0,06
Ammonium-N	2,08	1,85	5,76	4,73	0	0	0,58	0,23	0,01	0,01
Fosfaat	1,92	1,72	22,36	21,05	0,069	0,05	5,61	6,23	0,076	0,09
Kali	2,12	2,36	2,36	2,78	2,16	1,92	2,95	2,83	1,82	1,53
pH	7,8	7,6	8,4	8,1	8,3	8,1	7,3	7,8	8,3	8
EC	22,1	17,8	22,75	15,5	10,28	7,9	16,5	9,5	8,39	6,4
SG	1,02	1,021	1,146	1,13	1,008	1,007	1,056	1,055	1,008	1,008
RENURE	Nee	Nee	-	-	Nee	Nee	-	-	Nee	Nee
Organische meststof	Ja	Ja	Ja	Ja	-	-	Ja	Ja	Ja	Ja
Bodemverbeteraar	Nee	Nee	Nee	Nee	-	-	Nee	Nee	Nee	Nee

Wroetstal

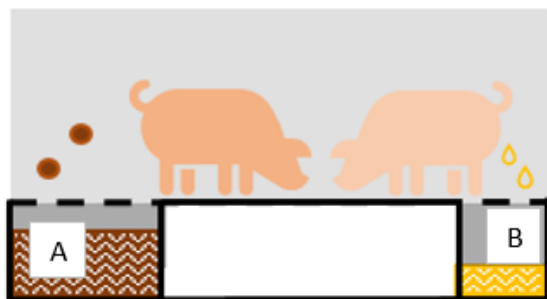
V3, Gelderland



	A) Urine, feces en stro		B) Drijfmest (vleesvarkens)	
	4-11-2021	24-1-2022	4-11-2021	24-1-2022
Droge stof	291,8	290,3	142,8	110,3
As	30,9	38,5	26,4	23,8
Totaal-N	8,83	7,51	9,37	8,69
Ammonium-N	2,41	3,12	6,55	6,18
Fosfaat	4,54	4,44	4,06	3,87
Kali	7,15	6,80	5,68	5,53
pH	8,2	7,9	7,6	7,7
EC	38,4	25,0	35,5	32,9
SG	1,138	1,123	1,066	1,055
RENURE	-	-	-	-
Organische meststof	Ja	Ja	Ja	Ja
Bodemverbeteraar	Nee	Nee	Nee	Nee

Varkenstoilet

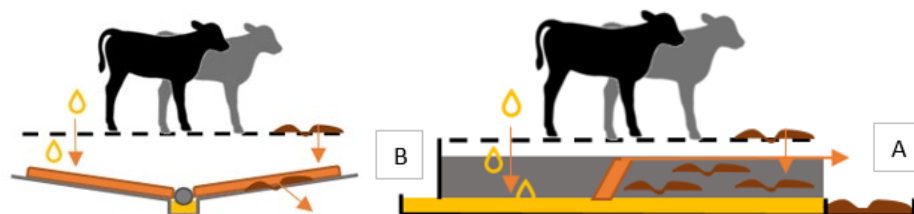
V5, Noord-Brabant (gespeende biggen)



	A) Feces	B) Urine
	19-7-2022	19-7-2022
Droge stof	200,4	6,6
As	29,2	3,9
Totaal-N	6,64	1,06
Ammonium-N	1,26	0,9
Fosfaat	7,79	0,19
Kali	4,95	1,72
pH	5,7	8,7
EC	26	10,9
SG	1,079	1,009
RENURE	-	N.A.
Organische meststof	Ja	-
Bodemverbeteraar	Nee	-

Mestschuif onder de roosters

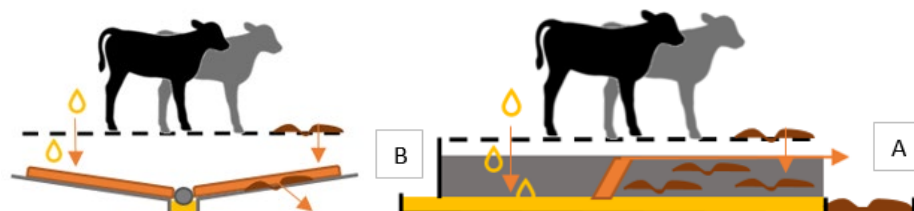
K2, Utrecht



	A) Feces	B) Gier
	10-3-2022	10-3-2022
Droge stof	148,1	17,8
As	18,7	11,6
Totaal-N	6,34	4,00
Ammonium-N	2,02	3,77
Fosfaat	3,69	0,17
Kali	3,06	4,23
pH	6,4	8,1
EC	10,3	35,7
SG	1,063	1,032
RENURE	-	Ja
Organische meststof	Ja	-
Bodemverbeteraar	Nee	-

Mestschuif onder de roosters

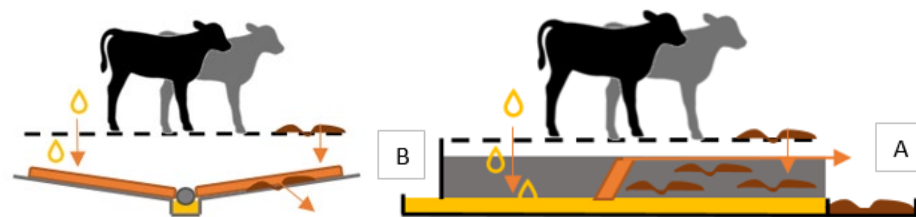
K3, Gelderland



	A) Feces	B) Gier
	15-3-2022	15-3-2022
Droge stof	138,4	21,7
As	23,0	11,6
Totaal-N	6,33	2,4
Ammonium-N	2,98	2,11
Fosfaat	2,98	0,5
Kali	4,35	4,36
pH	6,2	7,6
EC	19,3	26,3
SG	1,058	1,020
RENURE	-	Ja
Organische meststof	Ja	-
Bodemverbeteraar	Nee	-

Mestschuif onder de roosters

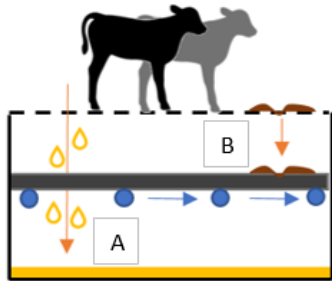
K4, Gelderland



	A) Feces	B) Gier
	7-3-2022	7-3-2022
Droge stof	167,2	17,9
As	19,5	13,4
Totaal-N	6,89	3,51
Ammonium-N	2,32	3,33
Fosfaat	2,45	0,08
Kali	3,88	5,11
pH	6,3	8,4
EC	12,5	35,3
SG	1,067	1,019
RENURE	-	Ja
Organische meststof	Ja	-
Bodemverbeteraar	Nee	-

Mestband onder de roosters

K1, Noord-Brabant



	A) Gier van band		A) Gier met water		B) Feces van de band		B) Feces van de schraper	
	11-8-2021	16-3-2022	11-8-2021	16-3-2022	11-8-2021	16-3-2022	11-8-2021	16-3-2022
Droge stof	35,5	18,4	18,7	27,1	214,8	199,0	224,3	213,5
As	21,4	11,8	12,0	15,8	24,0	18,3	21,9	26,5
Totaal-N	5,45	3,78	2,68	4,27	8,80	7,36	8,52	8,77
Ammonium-N	4,90	3,85	2,35	3,66	1,18	1,10	0,84	1,17
Fosfaat	0,133	0,76	0,401	0,87	3,12	2,36	2,87	3,25
Kali	8,17	4,45	4,53	5,86	3,74	2,27	2,66	4,68
pH	9,1	8,7	8,9	8,7	5,9	5,3	5,8	6,1
EC	54,7	37,0	34,4	39,9	36,5	20,0	30,5	10,0
SG	1,027	1,020	1,017	1,023	1,083	1,077	1,085	1,082
RENURE	Ja	Ja	Ja	Ja	-	-	-	-
Organische meststof	-	-	-	-	Ja	Ja	Nee	Ja
Bodemverbeteraar	-	-	-	-	Nee	Nee	Ja	Nee

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



Wageningen Livestock Research

Zodiac, De Elst 1
6708 WD Wageningen
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T (+31) 317 - 483 953

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.
