



De potentie van mestbewerking in de melkveehouderij in de provincie Noord-Holland

Emma van Boxmeer, Barteld Vervelde, Gijs Hekkert, Sophie Veraa, Jos van Gastel, Flavia Casu, Luuk Gollenbeek

Rapport 1530



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

De potentie van mestbewerking in de melkveehouderij in de provincie Noord-Holland

Emma van Boxmeer¹, Barteld Vervelde¹, Gijs Hekker¹, Sophie Veraa¹, Jos van Gastel², Flavia Casu³, Luuk Gollenbeek¹

1 Wageningen Livestock Research

2 Promillicon

3 Terra Nova

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door de provincie Noord-Holland.

Wageningen Livestock Research
Wageningen, december 2024

Rapport 1530

Voor de provincie Noord-Holland is het potentieel van mestbewerking in beeld gebracht door middel van een literatuurstudie, een GIS-analyse en modelberekeningen. Vanuit verschillende doelen (natuurinclusiviteit, emissie reductie, stikstofoverschot en speciale mestproducten voor deze regio) is bekeken welke mestbewerkingen hierbij aansluiten. Van drie mestbewerkingsroutes zijn de financiën en de emissies berekend in een modelstudie. Het ging hier om 1) mest scheiden en centraal composteren, 2) mobiele mestscheiding en strippen/scrubben en 3) biologisch aanzuren van drijfmest gevolgd door vergisten. Ten opzichte van een situatie met derogatie (waarbij een groter deel van de mest op eigen land aangewend kon worden) zullen de kosten voor mestmanagement toenemen. Dit rapport geeft verschillende mogelijkheden voor mestbewerking in Noord-Holland weer. Welke technieken ingezet kunnen worden, hangt af van het te bereiken doelen. Dit rapport geeft informatie en inspiratie en kan door de provincie Noord-Holland worden gebruikt bij het stimuleren van mestbewerking die past bij de ontwikkelingen in de sector en de in dit onderzoek gestelde doelen..

For the province of Noord-Holland, the potential of manure processing has been mapped out by means of a literature study and a GIS analysis and modelling. Based on various objectives (nature inclusiveness, emission reduction, nitrogen surplus and special manure products for this region), it has been examined which manure processing techniques match with the objectives. The finances and emissions of three manure processing routes have been calculated in a model study. This involved 1) manure separation and central composting, 2) mobile manure separation and stripping/scrubbing and 3) biological acidification of liquid manure followed by digestion. Compared to a situation with derogation (in which the greater part of manure could be applied to their own land), the costs for manure management will increase. This report shows different possibilities for manure processing in Noord-Holland. Which techniques can be used depend on the goals to be achieved. This report provides information and inspiration and can be used by the province of Noord-Holland to stimulate manure processing that fits with the developments in the sector and the in this research mentioned objectives.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/679936> 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, 2024

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

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

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

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

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doel	9
1.3 Aanpak	10
2 Melkveehouderij in Noord-Holland en mestbewerkingsdoelen	11
2.1 Omschrijving melkveesector	11
2.2 Stalsystemen	13
2.3 Speelveld mestbewerking en -verwerking	14
2.4 PPLG: Buitengewoon Noord-Holland!	16
2.5 Gehanteerde doelen mestbewerking	16
3 Potentie mestbewerking voor natuurinclusiviteit	18
3.1 Omschrijving doel	18
3.2 Mogelijke technieken	19
3.3 Mogelijke mestroutes	23
4 Potentie mestbewerking voor emissiereductie	25
4.1 Omschrijving doel	25
4.2 Mogelijke technieken	26
4.3 Mestroutes emissiereductie	28
4.3.1 Vergisten + scheiding + strippen scrubben	28
4.3.2 Verdunnen + scheiden + strippen scrubben	29
4.3.3 Aanzuren in stal of opslag	29
5 Potentie mestbewerking voor verminderen stikstofoverschot	31
5.1 Omschrijving doel	31
5.2 Mogelijke technieken	33
5.3 Mestroutes ter vermindering stikstofoverschot	35
5.3.1 Scheiding + biologische mestzuivering	36
5.3.2 Scheiding + strippen scrubben	36
5.3.3 Scheiding + filter + omgekeerde osmose	36
6 Potentie mestproducten voor bollenteelt, glastuinbouw en akkerbouw	37
6.1 Omschrijving doel	37
6.1.1 Bloembollenteelt	37
6.1.2 Glastuinbouw	38
6.1.3 Akkerbouw	39
6.2 Mogelijke technieken	40
6.3 Mestroutes	41
7 Uitwerking mestbewerkingsroutes	43
7.1 Beschrijving scenario's	44
7.2 Exploitatie	46
7.3 Emissies	48
8 Centrale mestbewerking	50

8.1	Algemeen	50
8.2	Wipptal	50
	8.2.1 Omschrijving	50
	8.2.2 Proces en massabalans	50
	8.2.3 Lessons learned	51
8.3	Twence	51
	8.3.1 Omschrijving	51
	8.3.2 Proces en massabalans	52
	8.3.3 Lessons learned	52
8.4	Groot Zevert Vergisting	52
	8.4.1 Omschrijving	52
	8.4.2 Proces	52
	8.4.3 Massabalans	54
	8.4.4 Lessons learned	55
9	Potentie mestbewerking en reststromen Noord-Holland	56
	9.1 Reststromen als co-producten bij vergisting	56
	9.2 Reststromen gebruiken als meststof	58
10	Discussie en conclusies	60
Literatuur		63
Bijlage 1	SWOT-analyses technieken	68
Bijlage 2	Schema Twence	72
Bijlage 3	Uitgangspunten modelberekening	73

Woord vooraf

Mestverwerking was traditioneel een activiteit, die vooral voor de varkens- en pluimveehouderij belangrijk was. Deze intensieve sectoren konden hun mest niet in de eigen bedrijfsvoering gebruiken en daarom moest dit getransporteerd worden. Zo ontstond mestverwerking. De derogatie voor graasdierenbedrijven maakte het voor de melkveehouderij mogelijk om de mest wel op het eigen bedrijf te plaatsen. Echter, met de afbouw van de derogatie die voorzien is voor 2026, bereidt ook deze sector zich voor op de nieuwe situatie. Hierin zal mest een andere rol krijgen, zoals als grondstof voor biogasproductie, bio-based meststoffen in de tuinbouw, bodemverbeteraar in de bollenteelt of kunstmestvervanger op het eigen melkveebedrijf. In al deze opties is een verwerkingsslag van de mest noodzakelijk.

De provincie Noord-Holland heeft Wageningen Livestock Research de opdracht gegeven om te bezien of mestverwerking een rol kan spelen in het beter gebruik van dierlijke mest uit de melkveehouderij binnen de provincie. De melkveehouderij is een belangrijke agrarische sector in deze provincie. De onderzoekers hebben in het rapport een conceptueel raamwerk neergezet, waarin mestverwerking meerdere doelen kan dienen, zoals het verbeteren van de biodiversiteit, verminderen van emissies, verminderen van het bedrijfsoverschot en verbeteren van de nutriënten-effectiviteit door de productie van specifieke meststoffen.

Deze doelen kunnen allemaal bijdragen aan de brede opgave die er ligt voor het landelijke gebied in de provincie Noord-Holland. Daarbij worden ook de milieutechnische en economische opbrengsten van de meest kansrijke opties beschreven. Hiermee wordt inzichtelijk gemaakt hoe er omgegaan kan worden met mest uit de melkveehouderij en hoe meerdere doelen tegelijkertijd behaald kunnen worden.

Het project was onderdeel van een bredere onderzoeksprogramma, waarin ook gekeken is naar het verwaarden van reststromen uit de landbouw en industrie om een gesloten kringloop in de provincie Noord-Holland te creëren, en is de potentie van mestvergisting van melkveemest in de provincie Noord-Holland onderzocht.

Dit rapport is een mooie aanvulling op bovenstaande onderzoeken. Het geeft de beleidsmakers in de provincie Noord-Holland meer kader om het beleid rondom mestverwerking in de provincie mogelijk te maken. Maar ik hoop ook dat het u, als lezer, inspireert om te bezien welke mogelijke mestverwerkingsopties het meest passend zijn in de eigen situatie, om de waardevolle grondstoffen in dierlijke mest beter te gebruiken en te verwaarden. Het rapport draagt hiermee bij de ontwikkeling van een schoner en mooier landelijke gebied.

December 2024

Harm Smit, Projectleider Haalbaarheid Mestverwaarding Noord-Holland



Samenvatting

In de provincie Noord-Holland wordt ruim 60% van het grondoppervlak gebruikt voor land- en tuinbouw. Dat maakt landbouw een belangrijk thema in de startversie van het Provinciaal Programma Landelijk Gebied (PPLG) van Noord-Holland. Mestbewerking kan een belangrijke rol spelen in het behalen van de gestelde doelen. Het voorliggende onderzoek geeft inzicht in de potentie van mestbewerking in de Noord-Hollandse melkveehouderij. Hiervoor zijn verschillende stappen doorlopen, namelijk 1) het schetsen van het speelveld en het vaststellen van potentiële doelen voor mestbewerking in Noord-Holland, 2) het bepalen welke mogelijke mestbewerkingstechnieken op boerderijschaal kunnen worden toegepast in Noord-Holland, 3) de modellering van drie interessante mestbewerkingroutes om de impact op de mestketen, financiën en emissies te bepalen, 4) het beschrijven van drie al bestaande centrale mestverwerkers ter inspiratie voor Noord-Holland en 5) het beschouwen welke restproducten kunnen worden gebruikt in mestvervaardingsinitiatieven.

Volgens de startversie van het PPLG van Noord-Holland wordt ingezet op de transitie naar kringlooplandbouw. Hiermee wordt onder andere gewerkt aan het herstellen van de biodiversiteit, het verbeteren van bodemkwaliteit, diergezondheid, het tegengaan van klimaatverandering en het verbeteren van sociaaleconomische positie van agrarische ondernemers. Hierin is ook een transitie naar natuurinclusiviteit verweven. Deze transitie geldt niet alleen voor de melkveehouderij, maar ook voor de andere land- en tuinbouw sectoren. Naast de PPLG-doelen heeft de melkveehouderij ook te maken met ontwikkelingen in beleid en markt, waaronder de verplichte mestverwerking, het wegvallen van de derogatie en de ontwikkelingen rondom inzet van kunstmestvervangers van dierlijke mest (RENURE).

Tabel S.1 Mestbewerkingstechnieken en hoe deze bijdragen aan de gestelde doelen. + betekent dat de mestbewerkingstechniek bij het doel past, - betekent dat de techniek negatief bijdraagt aan het doel en 0 betekent dat de techniek geen invloed heeft op het doel.

Mestbewerkingstechnieken	Doel 1: natuurinclusiviteit	Doel 2: emissiereductie	Doel 3: stikstofoverschot verminderen	Doel 4: productie van specifieke mestproducten
Composteren*	+	-	-	+
Centraal composteren	-	+	***	+
Vermicomposteren	+	0	0	0
Anaerobe fermentatie	+	-	0	0
Anaerobe vergisting	-	+	0	+
Stromest	+	-	0	+
N-strippen en scrubben	-	+	***	+
Aanzuren	-	+	0	0
Verdunnen	0	+	0	0
Biologische zuivering	-	+	+	0
Omgekeerde osmose	0	0	***	+
Struviet	0	0	***	0
Pyrolyse	0	+	+	0
Filtratie	0	0	0	+

*uitgaande van een simpele vorm van composteren op boerderijschaal met toevoeging van reststroom.

**uitgaande van in werking treden RENURE conceptvoorstel van EU (EU, 2024).

Naar aanleiding van deze ontwikkelingen en de PPLG-doelen voor Noord-Holland, zijn de volgende doelen voor mestbewerking gedefinieerd: 1) mestbewerking ter verhoging van natuurinclusiviteit, 2) reductie van ammoniak- en broeikasgasemissies, 3) verminderen van stikstofoverschot op bedrijfsniveau en 4) produceren van mestproducten voor andere landbouw takken, zoals de bollenteelt. Voor deze doelen zijn mestbewerkingstechnieken omschreven en voor elke techniek is een SWOT-analyse uitgevoerd. Daarnaast

zijn mogelijk interessant combinaties van technieken om bij de kunnen dragen aan de doelen beschreven. Tabel S.1 laat voor 14 mestbewerkingstechnieken of deze technieken bijdragen aan de vier doelen.

Op basis van de SWOT-analyses zijn drie mestbewerkingroutes geselecteerd en hiervan zijn de exploitatie en emissies doorgerekend voor een gemiddeld Noord-Hollands melkveebedrijf. De doorgerekende routes zijn: 1) mechanisch scheiden + centraal composteren dikke fractie, 2) biologisch aanzuren in de mestkelder + vergisten en 3) mechanisch scheiden + strippen/scrubben. Uit deze modelberekeningen blijkt dat het centraal composteren van de dikke fractie (scenario 1) geen extra kosten met zich meebrengt en dat het ook niet leidt tot extra emissies. Het biologisch aanzuren van de mest in de stal en het daarna vergisten van de mest (scenario 2) leidt ook niet tot extra kosten, maar geeft ook geen financieel voordeel. De ammoniakemissiereductie is beperkt, maar er kan wel een forse reductie in broeikasgasemissies worden behaald. Het strippen en scrubben van de mest met een mobiele stripper (scenario 3) geeft een minimaal financieel voordeel, wat afhankelijk is van het stikstofoverschot op het bedrijf. De emissiereductie in de keten is beperkt. Wel is ten opzichte van de situatie waarin derogatie gold mestbewerking kostenverhogend.

Verder is in dit onderzoek gekeken naar drie bestaande centrale mestbewerkinginitiatieven, ter inspiratie voor de provincie Noord-Holland. Uit deze projecten wordt als les voor de provincie Noord-Holland gehaald dat de mestproducten zo goed mogelijk afgestemd moeten worden op de regionale behoeften. Hierbij kan gedacht worden aan RENURE-producten die terug naar de melkveebedrijven gaan of ingezet kunnen worden bij akkerbouwers en mogelijk in de glastuinbouw. Organische stof rijke dikke fracties kunnen ingezet worden in de bollenteelt en ook in de akkerbouw. Het gebruik van co-producten bij mestvergistings of mestbewerking is ook mogelijk. Co-vergisten wordt minder wenselijk geacht vanwege het beperkte aanbod van co-vergistingsproducten die niet concurreren met andere gebruiken en praktische zaken als vergunningen, hogere benodigde expertise, benodigde technische aanpassingen vergister en het verhogen van de hoeveelheden aan nutriënten die als dierlijke mest worden aangemerkt. Voor het composteren van mest wordt een kans gezien voor het bijmengen van reststromen uit bollenteelt of van bermgras. Echter ook het mengen van deze producten verhoogd de hoeveelheden nutriënten die de status dierlijke mest krijgen.

Kortom, er zijn verschillende mogelijkheden voor mestbewerking in de provincie Noord-Holland. Voor de doelen die in dit rapport zijn gesteld naar aanleiding van het Provinciaal Programma Landelijk Gebied (PPLG) en de ontwikkelingen in de sector, zijn er mestbewerkingstechnieken beschikbaar. Sommige technieken dragen bij aan meerdere doelen tegelijkertijd. Veel mestbewerkingstechnieken zijn kostenverhogend. De doorgerekende mestroutes zijn op een middelgroot melkveebedrijf tegen neutrale of beperkte meerkosten te implementeren. Het biologisch aanzuren van de mest in de stal geeft daarnaast een forse reductie in de uitstoot van broeikasgassen. Combinaties van de beschreven technieken kunnen het stikstofoverschot op bedrijfsniveau verminderen, leveren specifieke mest producten die ingezet kunnen worden in de regio of verlagen gasvormige emissies. Vanwege de hoge kosten is niet elke techniek geschikt om toe te passen op bedrijfsniveau, maar dan zijn er mogelijkheden om op een centrale plek de mest te bewerken. Bij deze grotere centrale locaties is vergunningverlening wel een uitdaging. Dit rapport geeft informatie en inspiratie en kan door de provincie Noord-Holland worden gebruikt bij het stimuleren van mestbewerking die past bij de ontwikkelingen in de sector en de doelen van het PPLG.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De natuur en de kwaliteit van het water staan onder druk en het klimaat verandert. Door regionale verschillen in bodem, waterlichamen en inrichting van het landelijk gebied zijn er grote verschillen in de kwaliteit van natuur, water en bodem. De provincies werken daarom aan oplossingen per gebied, via zogenaamde gebiedsprogramma's. Via het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG) wordt bekeken wat nodig is voor een gezonde natuur, schoon water en een schone lucht en binnen deze kaders stellen provincies gebiedsprogramma's op. Voor Noord-Holland staan de opgaven waar de provincie voor staat en de doelen die de komende jaren nagestreefd worden beschreven in het Provinciaal Programma Landelijk Gebied (PPLG) 'Buitengewoon Noord-Holland!' (Provincie Noord-Holland, 2023; 2024a). Landbouw is een belangrijk thema in het PPLG, mede omdat ruim 60% van het grondoppervlak in Noord-Holland wordt gebruikt voor land- en tuinbouw.

In opdracht van de provincie Noord-Holland is een kennisproject opgezet voor de Noord-Hollandse melkveehouderij. Naast extensivering, beweiding en het optimaliseren van voeding, kan mestbewerking bijdragen aan het behalen van de gestelde doelen. In dit project wordt kennis gegenereerd waarmee de haalbaarheid van business cases voor technieken van mestbewerking kunnen worden beoordeeld. Ook is de mogelijke bijdrage van deze technieken op de Noord-Hollandse stikstofaanpak in beeld gebracht, waarna deze technieken op grote schaal in Noord-Holland kunnen worden geïmplementeerd. Het project geeft inspiratie voor het bereiken van de PPLG doelen, maar daarnaast ook voor de omgang met ontwikkelingen in het beleid en de markt, waaronder het vervallen van de derogatie, het zevende actieprogramma nitraatrichtlijn, de voorbereidingen voor de Europese toelating van kunstmestvervangers, de energietransitie en de stijging van (kunstmest)prijzen. Het totale project gaat inhoudelijk in op de potentie van mestvergisting, groengasproductie en mestbewerking voor de Noord-Hollandse melkveehouderij en is opgedeeld in vier werkpakketten:

1. Werkpakket 1: Potentie vergisting voor melkveesector Noord-Holland
2. Werkpakket 2: Potentie groengas productie in Noord-Holland
3. Werkpakket 3: Potentie mestbewerking in Noord-Holland
4. Werkpakket 4: Ruimtelijke inpassing biogas, groengas en mestverwaarding in Noord-Holland

In het voorliggende rapport zijn de resultaten uit werkpakket 3 gepresenteerd, waarbij wordt ingegaan op de potentie van mestbewerking voor de Noord-Hollandse melkveehouderij. Hierbij is mestbewerking op bedrijfsniveau meegenomen, evenals grootschalige mestverwaarding en afstemming van de nutriëntenkringlopen in Noord-Holland.

1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te geven in de potentie van mestbewerking voor de Noord-Hollandse melkveehouderij. Om de potentie in beeld te brengen, zijn de volgende onderzoeksvragen opgepakt:

- Welke mestbewerkingstechnologieën zijn geschikt voor uitvoering op boerderijschaal in Noord-Holland?
- Wat is de impact van een aantal potentiële mestbewerkingsroutes op boerderijschaal op de mestketen, financiën en de emissies?
- Hoe kan centrale mestbewerking bijdragen aan een duurzamere melkveehouderij in Noord-Holland?
- Kunnen reststromen, zoals vastgesteld in het onderzoek Gerritsen et al. (2023), gebruikt worden in de mestverwaardingsinitiatieven?

1.3 Aanpak

Het onderzoek bestaat uit vijf stappen, namelijk:

Stap 1: Schetsen speelveld en vaststellen potentiële doelen mestbewerking in Noord-Holland

In Smit et al. (2024) is de melkveehouderij in Noord-Holland deels beschreven. In voorliggend rapport zijn een aantal zaken over de melkveesector, stalsystemen in de melkveehouderij, mestbewerking en -verwerking verder uitgewerkt en zijn de doelen van het PPLG beschreven (Hoofdstuk 2). Op basis van het daarmee geschetste speelveld zijn vier doelen opgesteld, waarvoor mestbewerking ingezet kan worden in Noord-Holland. Daarnaast is een geografisch informatiesysteem (GIS) analyse gedaan, zoals is beschreven in Smit et al. (2024).

Stap 2: Bepalen mogelijke mestbewerkingen op boerderijschaal

Op basis van de situatie in Noord-Holland zijn vier mestbewerkingdoelen vastgesteld en deze zijn verder uitgewerkt door middel van literatuuronderzoek. Hiervoor zijn zowel wetenschappelijke bronnen als ook informatie van websites van bedrijven en overheden, rapporten en vakbladen is gebruikt. Als belangrijkste bronnen zijn Gollenbeek et al. (2024), Hoekstra en Brouwer (2018), Lemmens et al. (2007) en www.wikimest.nl gebruikt. Vanuit deze mestbewerkingdoelen is geïnventariseerd welke technieken voor mestbewerking mogelijk zouden aansluiten bij het doel (Hoofdstuk 3, 4, 5 en 6). Door middel van Strengths, Weaknesses, Opportunities en Threats (SWOT) op basis van het literatuuronderzoek is bepaald welke mestbewerkingstechnieken het meest interessant zijn voor de provincie Noord-Holland. De SWOT-analyses zijn opgenomen in Bijlage 1.

Stap 3: Modelleren van drietal interessante mestbewerkingroutes

Met de verzamelde informatie over de potentiële mestbewerkingstechnieken en de SWOT-analyse zijn een drietal interessante mestbewerkingroutes geselecteerd. Belangrijkste selectiecriteria was dat met de mestbewerkingroute een oplossing moest bieden voor de kleine tot gemiddelde bedrijven, die niet in de buurt van een centrale mestbewerking zitten en de mestbewerking op bedrijfsniveau moet praktisch haalbaar zijn. Dit betekent lage investeringskosten en zo min mogelijk ingrepen op het melkveebedrijf zelf. Voor drie van deze routes is inzichtelijk gemaakt wat de potentie van deze technieken op bedrijfsniveau is, door middel van het berekenen van de stoffenbalansen, broeikasgas- en ammoniakemissies en financiën voor een gemiddeld Noord-Hollandse melkveebedrijf (Hoofdstuk 7). Hiervoor zijn de modellen gebruikt die in het project NL Next Level mestverwaarden ontwikkeld zijn (Gollenbeek et al., 2022). Tevens zijn de uitgangspunten zoveel mogelijk gelijk gehouden met de modelleringen uit Smit et al. (2024).

Stap 4: Beschrijven van een drietal centrale mestverwerkers: lessen voor Noord-Holland

In Hoofdstuk 8 zijn drie voorbeelden van bestaande centrale mestvervaardingsinstallaties beschreven te weten Biogas Wipptal, Twence en GrootZevert. Er is gekozen voor deze drie mestvervaardingsinstallaties, omdat van deze drie installaties redelijk wat informatie beschikbaar is. Hiervoor is een deskstudie uitgevoerd, waarbij gebruik is gemaakt van wetenschappelijke bronnen, informatie van websites van bedrijven, rapporten en vakbladen. De studie geeft een beschrijving van het proces en een massabalans van de verschillende mestproducten die geproduceerd worden. Op basis van de beschrijvingen zijn een aantal leerpunten gefilterd die voor de provincie Noord-Holland relevant kunnen zijn.

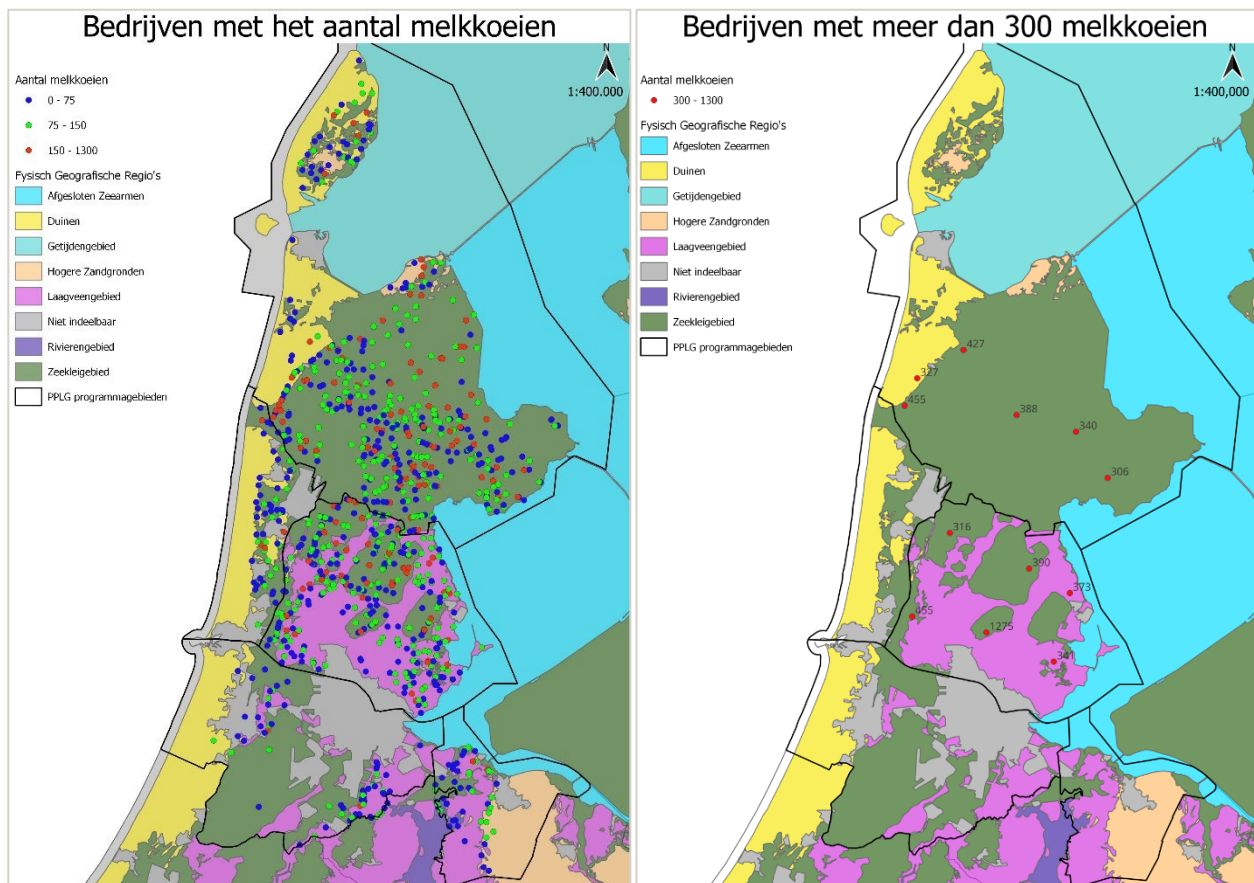
Stap 5: Aansluiting met reststromen in Noord-Holland

In Hoofdstuk 9 is beschouwd welke restproducten in Noord-Holland van toegevoegde waarde kunnen zijn. Als basis zijn hiervoor de reststromen gebruikt waarvan Gerritsen et al. (2023) heeft vastgesteld dat deze kunnen bijdragen aan het sluiten van de nutriënten kringlopen binnen de provincie Noord-Holland. Hierbij is gekeken naar de mogelijkheden tot co-vergisten of tot het gebruik van reststromen bij mestcompostering of mestfermentering.

2 Melkveehouderij in Noord-Holland en mestbewerkingsdoelen

2.1 Omschrijving melkveesector

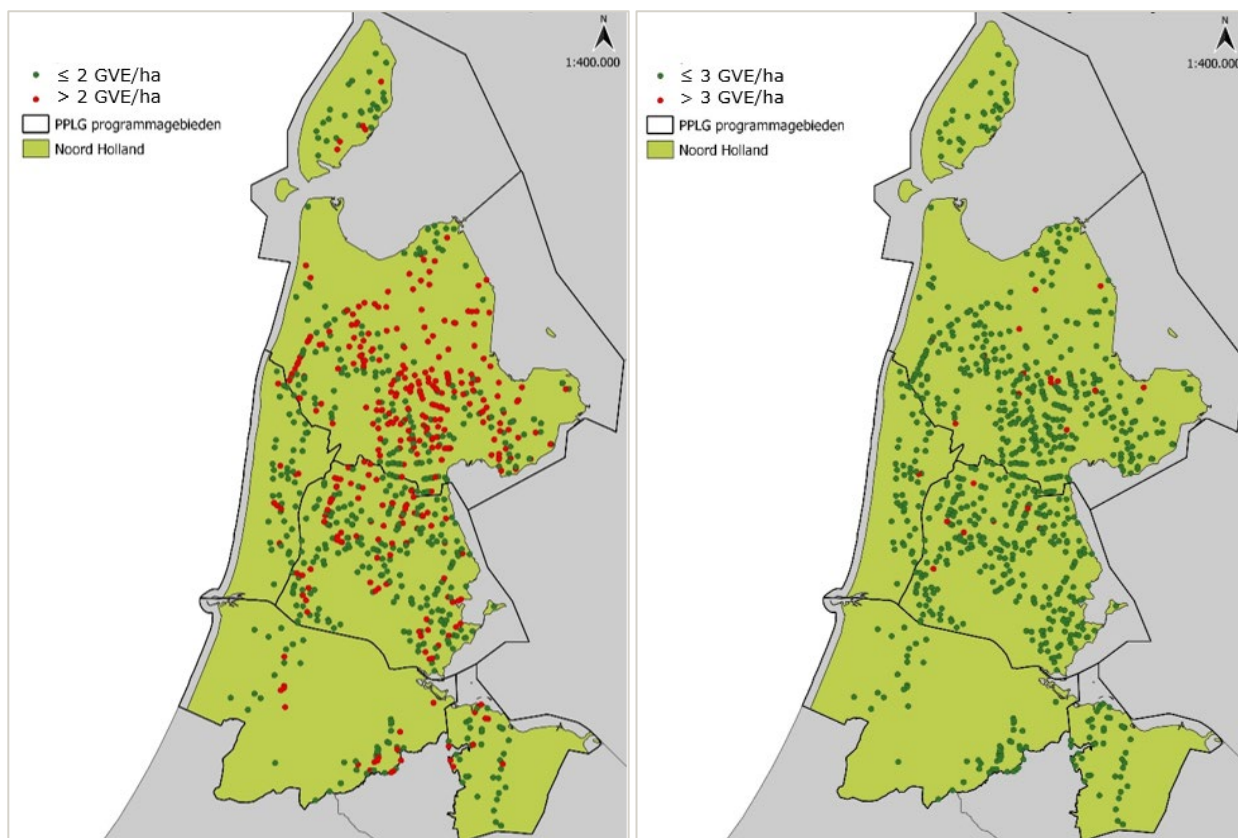
De melkveehouderij is een belangrijke landbouwsector in Noord-Holland. In het totaal zijn er 849 bedrijven met melkkoeien, waarvan 95% een gespecialiseerd melkveebedrijf is (Agrimatie, 2022a). Gemiddeld heeft een melkveebedrijf 100 melkkoeien, 60 stuks jongvee, 77 hectare grasland en 7 hectare voedergewassen (CBS, 2023). 44% van de melkveebedrijven in Noord-Holland heeft meer dan 100 koeien, 16% van de bedrijven heeft maximaal 50 koeien en circa 3% heeft meer dan 250 koeien (Agrimatie, 2022a). In Noord-Holland past bijna 97% van de melkveebedrijven een vorm van weidegang toe, waarbij circa 94% van de koeien minimaal 120 dagen met minimaal 6 uren weidegang krijgt (Agrimatie, 2022b). In Noord-Holland zijn relatief veel biologische bedrijven, namelijk 4,4% ten opzichte van het nationale gemiddelde van 3% (Agrimatie, 2022c).



Figuur 2.1 Verdeling melkveebedrijven in Noord-Holland (links). De kleur van de stippen geeft de omvang van het bedrijf (aantal koeien) weer. De kleur van de kaart geeft de grondsoort weer. Rechts de melkveehouderijen met meer dan 300 melkkoeien.

De melkveehouderij in Noord-Holland is verspreid over de hele provincie en komt zowel op kleigrond als veengrond voor (Figuur 2.1). Er bevinden zich over het algemeen geen melkveebedrijven in de duinen, op enkele uitzonderingen in de kop van Noord-Holland na. Verder is er is geen duidelijke patroon te herkennen op basis van bedrijfsgrootte en grondsoort (klei/veen). In Figuur 2.1 (rechts) is wel te zien dat er slechts twaalf melkveebedrijven in de provincie Noord-Holland zijn met meer dan 300 melkkoeien.

In Figuur 2.2 (rechts) is te zien dat maar enkele bedrijven meer dan 3 grootvee-eenheden (GVE) per hectare heeft en daardoor waarschijnlijk mest moet afvoeren. Zonder derogatie (Figuur 2.2, links) is dit ongeveer de helft van de bedrijven. De bedrijven met meer dan 2 GVE per hectare liggen voornamelijk in het noordelijke kleigebied (PPLG gebied Wadden, kop van Noord-Holland en West-Friesland).



Figuur 2.2 Aantal grootvee-eenheden (GVE) per hectare (ha) per melkveebedrijf. Er is uitgegaan van meer (rood) of minder (groen) dan 2 (links) of 3 (rechts) GVE/ha. Hierbij is er vanuit gegaan dat met derogatie met 3 GVE/ha alle mest op eigen land gebruikt kan worden. Zonder derogatie ligt deze grens bij 2 GVE/ha.

In 2022 was de mestproductie van de rundveehouderij in Noord-Holland 16,1 kton stikstof en 4,64 kton fosfaat (CBS, 2022). Er werd in totaal 1.036 kton mest (5.871 kg N en 2.290 kg P₂O₅) aangevoerd op landbouwbedrijven in Noord-Holland en 592 kton mest (3.290 kg N en 1.150 kg P₂O₅) afgevoerd (CBS, 2022). Netto werd er op landbouwbedrijven dus 444 kton mest aangevoerd. Dit komt mede doordat er in Noord-Holland veel gewassen worden geteeld met een hoge N-gebruiksnorm, zoals gras, suikerbieten en aardappelen. Ook Gerritsen et al. (2023) concludeerden op basis van nutriënten excretie en plaatsingsruimte dat er voor Noord-Holland als provincie een nutriënten tekort is. Op bedrijfsniveau kan echter wel sprake zijn van overschotten dierlijke mest.

Melkverwerking

In Noord-Holland zijn twee grotere verwerkers van zuivel actief, namelijk CONO kaasmakers en Friesland Campina. Beiden zijn coöperaties waar melkveehouders lid van zijn en hun melk aan leveren. CONO kaasmakers is gevestigd in de Beemster en neemt van circa 400 boeren melk af en verwerkt dit voornamelijk tot kaas (CONO, 2023). CONO heeft het duurzaamheidsprogramma Caring Dairy, wat gericht is op verduurzaming van de aangesloten melkveehouderijen. Hierbij staan vier thema's centraal, namelijk 1) blijve koeien, 2) meer gras en biodiversiteit, 3) beter klimaat en milieu en 4) maatschappelijk betrokken. Daarnaast pakken ze de klimaatsopgaven als verwerkende industrie en toeleveranciers samen op. Onbekend is hoeveel van de 400 aangesloten melkveebedrijven in Noord-Holland gevestigd zijn, maar naar verwachting zal het overgrote deel van deze groep zich in de regio bevinden. CONO kaasmakers zal als een belangrijke stakeholder kunnen optreden in de verduurzaming van het mestmanagement bij de aangesloten melkveehouders.

Friesland Campina is een wereldwijd opererende zuivelverwerker. Het betreft een coöperatie met meer dan 9.000 leden in Nederland, Duitsland en België (Friesland Campina, 2024). In het Noord-Hollandse PPLG gebied 'Wadden, kop van Noord-Holland en West-Friesland' bevindt zich een zuivelfabriek van Friesland Campina, waar kaas en boter worden gemaakt. Het is onbekend hoeveel van de melkveehouders in Noord-Holland leveren aan Friesland Campina. Friesland Campina heeft een duurzaamheidsprogramma '*Nourishing a better planet*'. Dit programma beoogt een positieve invloed uit te oefenen op boeren, gemeenschappen en de planeet. Mestbewerking vindt raakvlakken in dit programma onder de prioriteiten beter klimaat, betere natuur en duurzame grondstoffen. Friesland Campina heeft eerder een programma gehad om mono-mestvergistings bij melkveehouders te stimuleren via het Jumpstart initiatief. In dit project zijn circa 40 mono-mestvergisters bij melkveehouders gerealiseerd. Ook Friesland Campina kan een belangrijke stakeholder zijn in het opzetten van mestbewerking initiatieven in de provincie Noord-Holland.

Andere in Nederland actieve zuivelverwerkers, zoals Arla Foods, Vreugdenhill Dairy Foods, Royal A-ware, DOC Kaas en Royal Lactalis Leerdammer, hebben geen productielocatie in Noord-Holland. Het is wel mogelijk dat melkveehouders in Noord-Holland de melk buiten de provincie afzetten. Deze melkverwerkers hebben allemaal duurzaamheidsprogramma's, waarbij veelal de CO₂ footprint en circulariteit thema's zijn die goed aansluiten bij mestbewerking.

2.2 Stalsystemen

Binnen de melkveehouderij bestaan verschillende stalsystemen. Het meest gangbare stalstelsel is een ligboxenstal met roostervloer. Hierbij vallen de feces en urine door de roosterspleten in de onderliggende mestkelder, waar het mengt tot drijfmest. De drijfmest wordt hier opgeslagen, totdat het wordt uitgereden op het land of wordt afgevoerd naar een mestverwerker. Als de mestkelder gedurende deze periode (in de winter) vol raakt, kan de mest tijdelijk worden opgeslagen in een externe mestopslag buiten de stal.

Er zijn verschillende stalsystemen ontwikkeld (of nog in ontwikkeling) om emissies uit melkveestallen te verminderen. Deze systemen berusten in het algemeen op twee principes: het aan de bron scheiden van feces en urine of snelle verwijdering van mest uit de stal. Stalsystemen waarbij mest snel uit de stal wordt verwijderd bestaan in de melkveehouderij over het algemeen uit een dichte vloer, waarbij de drijfmest frequent met een mestschuif- of robot van de vloer wordt verwijderd. Stalsystemen waarbij feces en urine worden gescheiden hebben meestal een scheidende stalvloer. Dit kan een vloer met sleuven, goten en gaten zijn, waarbij de urine afgevoerd wordt naar een aparte opslag en de feces worden verzameld met een mestschuif of -robot. Een ander stalstelsel waarbij urine wordt gescheiden van de mest is het koetoilet. Dit is een automatisch urineopvangsysteem in een krachtvoerbox, waarin circa 35% van de urine die een koe uitscheid kan worden opgevangen en de overige urine komt met de feces in de mestkelder (De Boer, 2023). De urine die met het koetoilet wordt opgevangen is vrij zuiver, omdat dit niet in aanraking is geweest met de (bevuilde) stalvloer. Van Boxmeer et al. (2023) beschrijft verschillende (innovatieve) stalsystemen waarbij mest en urine worden gescheiden of drijfmest snel uit de stal wordt verwijderd en waar bekend wordt de emissiereductie weergegeven.

Naast ligboxenstallen zijn er in de melkveehouderij ook strooiselstallen, zoals de potstal en de vrijloopstal, waar de koeien zelf kunnen bepalen waar ze gaan liggen. In een potstal en vrijloopstal is de bodem van de stal bedekt met strooisel (bijvoorbeeld stro of houtsnippers) en telkens wordt de mest bedekt met een nieuwe laag strooisel. Hierdoor ontstaat een mengsel van mest en stro wat steeds dikker wordt. Als dit mengsel een bepaalde hoogte heeft bereikt, wordt de hele stal leeggehaald. Dit gebeurt enkele keren per jaar. In sommige vrijloopstallen bevindt zich aan het voerhek nog wel een roostervloer, waar drijfmest wordt opgevangen.

Uit het Basisbestand Agrarische bedrijfsgegevens (2021), aangeleverd door de provincie Noord-Holland, blijkt dat 84% van de melkveebedrijven een gangbare stal met roostervloer heeft, waarbij de drijfmest in de kelder onder de roosters wordt opgeslagen (HA1.100 volgens Bijlage 6 van de Omgevingsregeling, voorheen RAV type A1.100). Er is niet vastgelegd of hier ook sprake is van mestschuiven of mestrobots in de stal, bijvoorbeeld met als doel verbetering van de kauwgezondheid. Daarnaast zijn er enkele tientallen melkveestallen bekend met een emissie-reducerend stalstelsel. Bijvoorbeeld aangepaste roostervloeren of semi-dichte vloeren, waarbij urine snel wordt afgevoerd naar de kelder om het emitterende oppervlak te

verminderen. De feces wordt met een mestschuif ook naar de kelder gebracht (10%). Daarnaast zijn er ook melkveestallen met een dichte vloer, waarbij urine en feces gezamenlijk regelmatig worden afgevoerd naar de kelder (3%), grupstallen (2%) en mechanisch geventileerde stallen met een chemische luchtwasser (1%).

2.3 Speelveld mestbewerking en -verwerking

De meeste melkveehouders hebben land voor de productie van ruwvoer en vaak kan een groot deel van de geproduceerde dierlijke mest hierop toegepast worden. Het aanwenden van drijfmest op het eigen land is de goedkoopste optie, aangezien voor het afvoeren van mest naar een mestverwerker een poorttarief geldt, wat betekent dat er voor het afvoeren van mest geld betaald moet worden door de veehouder. Er spelen een aantal zaken als het gaat om de bewerking of verwerking van mest.

Verplichte mestverwerking (fosfaat)

In de Meststoffenwet en bijbehorende Uitvoeringsregeling is opgenomen dat boeren met een overschot aan dierlijke mest (op basis van fosfaat) een deel van deze mest dienen te verwerken. Dit betekent dat deze mest wordt verwerkt, zodat deze buiten de Nederlandse landbouw gebruikt gaat worden. Hiervoor zijn een aantal technieken benoemd namelijk:

- Dierlijke mest exporteren.
- Dierlijke mest verbranden of vergassen, zodat er niet meer dan 10% organische stof overblijft.
- Mestkorrels maken van de dierlijke mest, waarbij het droge stof gehalte van de mestkorrels in elk geval 90% is. De installatie moet door de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) erkend zijn.

Voor de provincie Noord-Holland geldt een verplichte mestverwerking van 10% van het overschot, vergeleken met 59% in Zuid-Nederland en 52% in Oost-Nederland (Meststoffenwet). Het mestoverschot voor de verplichte mestverwerking wordt bepaald op basis van de excretie van fosfaat en de plaatsingsruimte voor fosfaat per bedrijf. Derogatie gaat over de plaatsingsruimte voor stikstof in dierlijke mest en heeft geen directe invloed op de verplichte mestverwerking. Verplichte mestverwerking zal voor het merendeel van de melkveehouders in Noord-Holland van ondergeschikt belang zijn, aangezien deze melkveehouders relatief veel grond bezitten. Ook als er al een verplichte mestverwerking is, dan kan dit door middel van Vervangende Verwerkings Overeenkomsten (VVO) worden afgekocht. Een VVO kan ontstaan, doordat een veehouder meer mest verwerkt dan hij volgens de mestverwerkingsplicht genoodzaakt is. Als bijvoorbeeld een varkenshouder in Nederland 100% van zijn mest verwerkt, terwijl hij maar 10% verplicht is, kan hij het overige deel verkopen aan melkveehouders met een klein overschot. Deze bedrijven hoeven dan niet verplicht mest te verwerken en zij kunnen het mestoverschot onverwerkt in de regio afzetten.

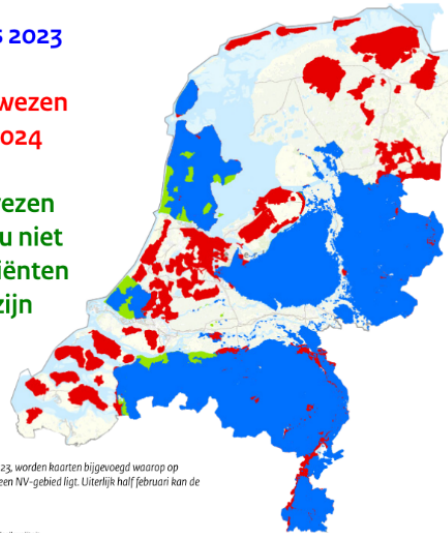
De huidige centrale mestbewerking is vooral gericht op het exporteren van dierlijke mest en dan met name fosfaat. In het krachtenveld waarin de melkveehouders in Nederland, maar ook in Noord-Holland zitten, wordt juist het omgaan met de stikstofoverschotten belangrijker. Hiervoor zijn andere oplossingsrichtingen. In tegenstelling tot fosfaat is stikstof vluchtig en verdwijnt het als ammoniak, lachgas of stikstofgas naar de lucht. Dit is lastiger in de mestboekhouding te verwerken dan fosfaat.

Derogatie (stikstof)

De Nederlandse derogatie is een uitzonderingspositie voor graasdierhouders, waarvan ten minste 80% van het areaal grasland is. Voor deze graslandbedrijven gold dat zij op hun bedrijf 250 kg stikstof (N) uit dierlijke mest mochten aanhouden. Deze derogatie wordt afgebouwd van 230 kg N in 2024 naar 200 kg N in 2025 naar 170 kg N in 2026. Voor zogenaamde nutriënten verontreinigde gebieden is deze afbouw sneller, namelijk 210 kg N in 2024, 190 kg N in 2025 en 170 kg N in 2026. Figuur 2.3 laat zien dat grote delen van Noord-Holland vallen onder de nutriënten verontreinigde gebieden, wat tot gevolg heeft dat er minder plaatsingsruimte voor stikstof is.

Nutriënten verontreinigde gebieden Nederland per 2024

- Aangewezen gebieden sinds 2023
- Nieuwe aangewezen gebieden per 2024
- Eerder aangewezen gebieden die nu niet meer met nutriënten verontreinigd zijn



Figuur 2.3 Aangewezen nutriënten verontreinigde gebieden (Rijksoverheid, 2023).

Plaatsingsruimte en RENURE (stikstof)

Door het afbouwen van de derogatie zal op veel bedrijven in Noord-Holland de plaatsingsruimte voor stikstof lager worden dan de productie van mest op de melkveehouderijbedrijven. Hierdoor gaat in de komende jaren op veel bedrijven een mestoverschot ontstaan. Hiervoor geldt geen verplichte mestverwerking, want dit wordt berekend op basis van het overschot aan fosfaat. Echter de melkveehouder zal dit stikstof-overschot wel kwijt moeten door de mest elders af te zetten, te verwerken en/of te exporteren. Een ander spoor wat kan worden ingezet is extensivering en het verminderen van eiwit in het voer.

Ook het verplicht moeten aanhouden van bredere bufferstroken langs watergangen zorgt voor een verkleining van het areaal waarop dierlijke mest geplaatst kan worden. Al deze ontwikkelingen zorgen er voor dat melkveehouders minder mest kunnen plaatsen en een groter mestoverschot ontstaat.

Op 19 april 2024 is een concept voorstel¹ gedaan namens de Europese Commissie voor de toevoeging van REcovered Nitrogen from livestock manURE (RENURE) aan de Nitraatrichtlijn. Het idee hierachter is dat uit dierlijke mest een stikstofbemester wordt gemaakt die een vergelijkbare werking heeft als kunstmest. Dit betekent dat de stikstof beschikbaar moet zijn voor het gewas, het risico op nitraat-uitspoeling niet hoger is dan bij kunstmest en daarnaast dienen ammoniakemissies tegengegaan te worden. Deze RENURE-producten (afkomstig van dierlijke mest) zouden ingezet mogen worden bovenop de norm van 170 kg N uit dierlijke mest per hectare (tot maximaal 100 kg N_{RENURE}/hectare). In het concept zijn RENURE karakteristieken opgenomen te weten:

- Ten minste 90% van het totaal stikstof is mineraal stikstof
- OF: de ratio organische koolstof : stikstof is kleiner dan 3

Daarnaast zijn er nog kwaliteitseisen gesteld:

- Kopergehalte < 300 mg/kg
- Zinkgehalte < 800 mg/kg
- Salmonella afwezig
- E. Coli en Enterococaceae colonifomende eenheden <1000 / gram

Er worden in dit concept voorstel drie producten toegekend als RENURE: 1) ammoniumzouten verkregen uit een strip en scrub proces, 2) mineralen concentraten verkregen door middel van omgekeerde osmose en 3) stikstofrijke fosfaat zouten zoals struviet. Tot 17 mei 2024 kon men reactie geven op deze concepttekst en mogelijk wijzigt deze tekst nog naar aanleiding van de commentaren. Het is nog niet duidelijk wanneer de definitieve tekst bekend wordt en wanneer deze dan effectief wordt. Het maken van RENURE meststoffen uit melkveemest is een mogelijkheid om de stikstofoverschotten op de melkveebedrijven te verminderen.

¹ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=PI_COM%3AAres%282024%292885619

2.4 PPLG: Buitengewoon Noord-Holland!

Het Provinciaal Programma Landelijk Gebied (PPLG) met de titel 'Buitengewoon Noord-Holland!' is de Noord-Hollandse invulling van het gebiedsplan, zoals beschreven in de Wet natuurbescherming. Het PPLG van Noord-Holland is op hoofdlijnen bekend, maar is nog niet volledig uitgewerkt. Op 27 juni 2023 is de startversie gepubliceerd (Provincie Noord-Holland, 2023), gevolgd door de conceptversie van het voorontwerp (Provincie Noord-Holland, 2024a) op 5 juni 2024. Noord-Holland is opgedeeld in vijf gebieden: 1) Gooi en Vechtsreek, 2) Zuid-Kennermerland en Amster-Meerlanden, 3) Laag Holland, 4) Noord-Kennermerland en 5) Wadden, kop van Noord-Holland en West-Friesland.

In de startversie van het PPLG van Noord-Holland wordt aangegeven dat bij de ontwikkelrichting voor de melkveehouderij wordt ingezet op extensivering, het terugdringen van emissies en het vergroten van de biodiversiteit, maar dit alles met een gezond verdienmodel. Een groot aantal melkveebedrijven bevindt zich in het veenweidegebied, waar al veel (broeikas)opgaven moeten worden gerealiseerd. Toch is de melkveehouderij in het veenweidegebied al relatief extensief. Daarom wordt ingezet op peilverhoging, natuurrealisatie en de transitie naar kringlooplandbouw. Daarnaast is het doel om de weidevogelpopulatie te versterken door te werken aan een optimale inrichting en beheer in de weidevogelgebieden. Hier kan een hoog grondwaterpeil ook aan bijdragen, naast het sturen op kansrijke gebieden van voldoende omvang, aangepaste momenten voor maaien en begrazing, beperking van mestgift en mestsoort (ruige mest) en gebruik van kruidenrijk grasland.

Op basis van het NPLG heeft de agrarische sector in Noord-Holland een richtinggevende generieke reductieopgave van 41% (1.797 kiloton ammoniak) tot 2030 ten opzichte van 2018 (Rijksoverheid, 2022). Allereerst is in kaart gebracht hoeveel ammoniakemissie wordt vermeden door afronding van het natuurnetwerk Nederland (NNN), het vervallen van de derogatie en de uitkoop van stoppers (Provincie Noord-Holland, 2023). Dit wordt gepubliceerd in het voorontwerp PPLG, maar in de conceptversie staan deze getallen nog niet ingevuld (Provincie Noord-Holland, 2024a). De provincie Noord-Holland zet in op doelsturing, zodat veehouders een keuze kunnen maken die bij hun bedrijf past.

De reductie van broeikasgasemissies is een opgave voor de gehele landbouwsector en het zwaartepunt ligt op de methaanuitstoot in de veehouderij. Noord-Holland heeft de opgave om haar broeikasgasemissies met 0,3 megaton CO₂-equivalenten te verminderen in 2030 (Provincie Noord-Holland, 2023). Hiervoor zal gericht worden op verkleining van de veerstapel via agrarische ondernemers die stoppen en innovaties in stal- en mestopslagen, zoals emissiearme stallen, mono-mestvergisters en meststrippers. Daarnaast staat Noord-Holland voor de opgave om de emissie uit het veenweidegebied met 0,09 megaton CO₂-equivalenten te verminderen door veenoxidatie tegen te gaan. Hiervoor wordt ingezet op peilverhoging.

Verder zet Noord-Holland in op een transitie naar kringlooplandbouw in 2040. Hiermee wordt gewerkt aan een zevental doelen, namelijk het 1) het herstellen van de biodiversiteit, 2) het verbeteren van waterkwaliteit en -beheer, 3) bodemkwaliteit, 4) plant- en diergezondheid, 5) circulariteit, 6) het tegengaan van klimaatverandering en 7) het verbeteren van de sociaaleconomische positie van agrarische ondernemers. Hierin is ook een transitie naar natuurinclusiviteit verweven. Deze transitie geldt niet alleen voor de melkveehouderij, maar ook voor de andere land- en tuinbouwsectoren.

2.5 Gehanteerde doelen mestbewerking

Op basis van recente ontwikkelingen in de markt en de hierboven beschreven beleidsdoelen die de provincie Noord-Holland nastreeft, zijn de volgende doelen voor mestbewerking gedefinieerd:

- Doel 1: **Natuurinclusief**, mestbewerking met als doel het verhogen van de natuurinclusiviteit.
- Doel 2: **Emissiereductie**, mestbewerking met als doel het reduceren van ammoniak en/of broeikasgas emissies in de stal, opslag en bij aanwenden.
- Doel 3: **Verminderen** van **stikstofoverschot**, mestbewerking als oplossing voor het stikstofoverschot op bedrijfsniveau.

-
- Doel 4: **Mestproducten** voor andere landbouwtakken, mestbewerking om specifieke mestproducten te maken die passen bij de in Noord-Holland belangrijke bollenteelt, of aansluiten bij mestproducten die gebruikt worden in de glastuinbouw en akkerbouw.

Deze doelen worden in de volgende hoofdstukken separaat verder uitgewerkt.

3 Potentie mestbewerking voor natuurinclusiviteit

3.1 Omschrijving doel

De provincie Noord-Holland streeft naar een natuurinclusieve tuinbouw, akkerbouw en (melk)veehouderij in 2030 (Provincie Noord-Holland, 2023). De term natuurinclusieve landbouw is door het Ministerie van Landbouw (toen onderdeel van Economische Zaken en nu Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur) in 2014 geïntroduceerd om natuur en landbouw dichterbij elkaar te brengen. Sindsdien zijn er echter verschillende invullingen en betekenissen aan deze term verbonden, waardoor het niet altijd duidelijk is wat wordt bedoeld met natuurinclusief.

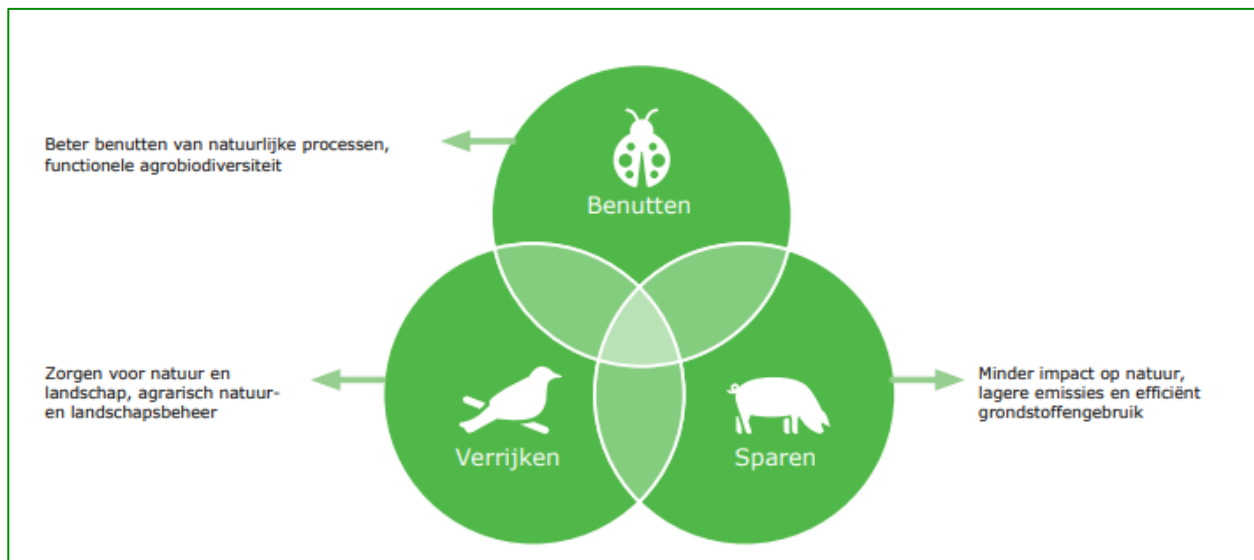
Erisman et al. (2017) definieert natuurinclusieve landbouw als volgt: *"Natuurinclusieve landbouw is een vorm van duurzame landbouw en onderdeel van een veerkrachtig eco- en voedselsysteem. Deze maakt optimaal gebruik van de natuurlijke omgeving en integreert die in de bedrijfsvoering. Daarnaast draagt natuurinclusieve landbouw actief bij aan de kwaliteit van diezelfde natuurlijke omgeving. Natuurinclusieve landbouw produceert voedsel binnen de grenzen van natuur, milieu en leefomgeving, met een positief effect op de biodiversiteit"*.

De natuurinclusiviteitsladder



Figuur 3.1 De vier niveaus van natuurinclusiviteit op basis van Erisman et al. (2017) en Bouma et al. (2019), bewerkt door (Polman & Jongeneel, 2020).

De provincie Noord-Holland heeft als doel gesteld dat alle grondgebonden landbouw in 2030 natuurinclusief niveau 2 is. Hierbij zijn de niveaus als omschreven in Erisman et al. (2017) aangehouden. In Figuur 3.1 staan de vier verschillende niveaus kort omschreven. Niveau 2 houdt in dat op het bedrijf wordt gestuurd op verbetering van functionele biodiversiteit door verbetering van bodem-, gewas- en diercycli en daarnaast ruimte wordt gegeven voor natuurlijk gedrag van dieren, beheer van landschapselementen als ondersteuning voor de functionele agrobiodiversiteit en maatregelen ten aanzien van specifieke soorten. Natuurinclusieve landbouw is een vorm van kringlooplandbouw. De term kringlooplandbouw heeft volgens de provincie Noord-Holland echter een bredere betekenis dan alleen het sluiten van de kringlopen in de bodem en tussen bodem, gewas en dier. Zij volgen de definitie zoals opgesteld in de brief van de minister van LNV: *"het gaat om het tegelijkertijd realiseren van een beter verdienvermogen voor boeren en tuinders, én minder schadelijke emissies naar bodem, lucht en water, én om vergroting van de biodiversiteit."* (Adema, 2020).



Figuur 3.2 De drie dimensies van natuurinclusieve landbouw (Van Doorn et al., 2016; Smits et al., 2020).

Natuurinclusieve landbouw kan worden omschreven aan de hand van drie dimensies die centraal staan in de Nederlandse beleidscontext: 1) benutten, 2) verrijken en 3) sparen (Figuur 3.2). De integraliteit van deze drie dimensies is weergegeven daar waar de cirkels overlappen. Het reduceren van emissies (sparen) kan bijvoorbeeld de kans op een hogere diversiteit aan flora en fauna op en rondom een veehouderijbedrijf verhogen, waardoor de potentie van zowel agrarisch natuur- en landschapsbeheer (verrijken) als functionele agrobiodiversiteit (benutten) kan groeien. Natuurinclusiviteit vraagt een bijdrage aan alle drie de dimensies, bijvoorbeeld enkel aandacht voor het reduceren van emissies, wordt niet als natuurinclusief beschouwd.

Vanwege het integrale karakter en de brede interpretatie van de verschillende dimensies van natuurinclusiviteit is het lastig om de mate van natuurinclusiviteit van een individuele mestbehandeling kwantitatief te beoordelen. Daarom is in dit onderzoek gekozen voor een kwalitatieve beoordeling, waarbij per mestbewerkingstechniek is beschreven in hoeverre de techniek bijdraagt aan de drie dimensies.

3.2 Mogelijke technieken

Gollenbeek et al. (2024), Hoekstra & Brouwer (2018), Lemmens et al. (2007) en www.wikimest.nl hebben vele mestbehandelingsmogelijkheden (op bedrijfsniveau) uitgebreid beschreven, waarvan ook een aantal als biologische behandelingen zijn beschouwd. Biologische behandelingen van mest zijn technieken die gebaseerd zijn op omzettingen door (micro)organismen, zoals bacteriën, schimmels, insecten en wormen. Deze processen zijn dus gestoeld op het **benutten** van natuurlijke processen (functionele agrobiodiversiteit), al dan niet in de natuurlijke omgeving, vaak met als doel de natuur te **sparen** (bijvoorbeeld emissiereductie) en direct of indirect te **verrijken** (bijvoorbeeld ecosysteemdiensten en het verhogen van biodiversiteit).

Voor het bepalen van de mate van natuurinclusiviteit is gekozen voor een integrale benadering, waarbij in het kader van natuurinclusiviteit vaak wordt verwezen naar het benutten van natuurlijke processen in de bodem om zo kunstmest te besparen, nutriëntenverliezen te verkleinen (sparen) en middels de voedingsstoffen uit behandelde mest het bodemleven te verrijken. Het begrip van natuurinclusiviteit (niveau 2) is echter breder toepasbaar dan enkel de bodemcyclus en omvat ook de gewas- en diercycli (Erisman et al., 2017). Bovendien zijn zowel het proces dat vooraf gaat aan het mogelijk maken van de specifieke mestbehandeling, als de mestbehandeling zelf, als de toediening aan de bodem, van groot belang voor het bepalen van de mate van natuurinclusiviteit. Van de potentieel natuurinclusieve mestbehandelingen wordt daarom naast een korte samenvatting ook een integrale evaluatie van de mate van natuurinclusiviteit gepresenteerd. Hierbij wordt zowel het proces voorafgaand (welke inputs zijn nodig voor het mestbewerkingproces), tijdens (wat is nodig om het mestbewerkingproces zelf te laten draaien) en na afloop (aanwending van het product dat uit het mestbewerkingproces volgt) van de mestbehandeling geëvalueerd op de mate van benutten, sparen en verrijken van natuur. Op basis van literatuurgegevens en expert judgement is een SWOT-analyse uitgevoerd, waarbij voor de verschillende mestbewerkingstechnieken

de Sterkten, Zwakten, Kansen en Bedreigingen zijn geformuleerd. Deze uitgevoerde SWOT analyses zijn bijgevoegd in Bijlage 1.

Mestbewerking is niet de enige route die ingeslagen kan worden. Bijvoorbeeld het verhogen van het aandeel beweiding (benutten graasvogelrijkheid van koeien), optimalisatie van het voermanagement of het verminderen van het aantal dieren kan ook leiden tot een natuur inclusievere melkveehouderij. Deze maatregelen worden ook benoemd in het PPLG van Noord-Holland en betekenen een substantiële afname van methaan- en ammoniakemissies (Van Bruggen & Fagiri, 2015, Koning et al., 2022). Door het toepassen van innovatieve beweidingstrategieën (Hoekstra et al., 2022), zoals Nieuw Nederlands Weiden (Compartmented Continuous Grazing) en stripgrazen, zonder in te leveren op melkproductie (Klootwijk, 2019) kan ook een positieve impact op de biodiversiteit verkregen worden.

Composteren

Compostering is een proces waarbij organisch materiaal in de aanwezigheid van zuurstof wordt afgebroken door micro-organismen. Hierbij worden temperaturen van 50 tot maximaal 70°C behaald. Het eindproduct is compost, wat afhankelijk van de bereikte temperatuur en verblijfstijd is gehygiëniseerd. Compost bevat een hoog gehalte stabiel organisch materiaal (Effectieve Organische Stof, EOS) en wordt daardoor als bodemverbeteraar beschouwd. Wanneer drijfmest gecomposteerd wordt, dient deze verrijkt te worden met structuurrijke organische stof zoals stro, vlas of houtsnippers. Drijfmest kan ook eerst gescheiden worden in een dunne en dikke fractie, waarna de dikke fractie wordt gecomposteerd. De samenstelling van compost hangt sterk af van de samenstelling van de ingaande (mest)stromen. Tijdens het composteren komt uit de afbraak van organische stof naast warmte ook CO₂, NH₃ en N₂ vrij. Onder suboptimale omstandigheden kan er CH₄ en N₂O vrijkomen. Tijdens het proces verdampt ook veel water, waardoor het drogestofgehalte van compost kan oplopen tot meer dan 60%. Compost met meer dan 10% dierlijke mest wordt wettelijk gezien als dierlijke mest.

Composteren kan op twee manieren: extensief en intensief. Bij extensief composteren, ook wel open compostering genoemd, wordt de mest op een hoop geplaatst, die gedurende het composteringsproces enkele keren wordt gekeerd. Hierdoor wordt zuurstof in de hoop gebracht. Beluchting gaat via natuurlijke trek, waardoor er minder controle is over het proces. Intensief composteren is een hoogtechnologische mestbehandelingstechniek. De mest wordt in een reactor of composteertrammel geplaatst, waarin de temperatuur en het zuurstofgehalte kan worden gestuurd. De kwaliteit van de compost kan daardoor gegarandeerd worden. Daarnaast wordt bij intensieve compostering de lucht afgezogen en gewassen met een luchtwasser om ammoniakemissies te verminderen. Een voorbeeld van intensieve compostering is de compostering van paarden- en kippenmest om substraat te maken voor de champignoncultuur of Upcycling Gemert waar champost en de dikke fractie van rundvee- en varkensmest worden gecomposteerd.

Mate van natuurinclusiviteit

Om het composteringsproces te verbeteren kan structuurrijke organische stof in de vorm van bijvoorbeeld stro worden toegevoegd aan de drijfmest of dikke fractie. Dit kunnen gewasresten van het eigen bedrijf of een bedrijf in de buurt zijn of afkomstig zijn van een natuurgebied. De wijze waarop dit productieproces wordt vormgegeven (e.g. intensieve productie of natuur) bepaalt in grote mate in hoeverre het de natuur benut, spaart en/of verrijkt.

Het proces van aerobe compostering van (dagverse) rundveedrijfmest of dikke fractie benut het natuurlijke proces van compostering middels bacteriën. Tijdens dit proces komt NH₃ en CO₂ vrij en wanneer de temperatuur en beluchting niet optimaal is, kan ook CH₄ en N₂O gevormd worden. Bij extensieve compostering (een composthoop die enkele keren wordt omgezet) is meestal geen sprake van procesbewaking en -sturing, waardoor de kans op CH₄ en N₂O emissie groot is (Melse et al., 2004). Wel biedt het extensieve composteringsproces een verblijfplaats voor diverse soorten bacteriën, schimmels en insecten (Jurado et al., 2014; Steel & Bert, 2012). Bij intensieve compostering, waarbij de lucht wordt behandeld met een luchtwasser, worden de ammoniakemissies verminderd. Hierbij wordt zuur gebruikt om ammoniak uit de lucht te vangen. Het gebruik van zuur wordt niet als natuurinclusief beschouwd. Gecomposteerde rundveemest is erg geschikt voor export door de volumevermindering (verdamping van water) en daardoor de hogere gehalten aan fosfaat per gewichtseenheid.

Bij aanwending van compost wordt het bodemleven tot op zekere hoogte verrijkt, de bodemstructuur en het watervasthoudend vermogen verbeterd, koolstofvastlegging bevordert en de plantbeschikbaarheid van nutriënten en mineralen verhoogd (Thangarajan et al., 2013). De emissies die gepaard gaan bij aanwending

van compost uit dierlijke mest zijn echter erg beperkt bestudeerd en bovendien afhankelijk van de samenstelling en wijze van toediening van de compost.

Kortom, het composteren van drijfmest of dikke fractie benut het natuurlijke proces van compostering middels bacteriën. Het gebruik van deze compost als bodemverbeteraar verrijkt het bodemleven en de bodemstructuur. Ondanks dat er niet wordt bespaard (op emissies), sluit het composteren van mest en het toepassen van deze gecomposteerde mest goed aan op het provinciale streven naar natuurinclusiviteit niveau 2 en draagt mogelijk ook bij aan het flankerend beleid van de provincie Noord-Holland omtrent weidevogels en organische stof in de landbouwbodems.

Vermicompostering

Bij vermicompostering wordt organisch materiaal door regenwormen omgezet in vermicompost (ook wel wormencompost genoemd). Dit vindt plaats bij relatief lage temperaturen (15 - 30°C), een vochtgehalte van 60 - 80%, pH-waarde van 6 - 8, aerobe omstandigheden en voldoende organisch materiaal met een C/N verhouding van 25:1 (Dominguez & Edwards, 2010). Vooral mest met een hoog droge stof gehalte komt in aanmerking als organisch materiaal voor vermicompostering, maar dit zal altijd moeten worden gemixt met andere substraten om de optimale omstandigheden te creëren. Voor rundveemest is het door het hoge stikstofgehalte nodig om eerst een voorcompostering uit te voeren.

De wormen vragen optimale leefomstandigheden en kunnen gemakkelijk verstoord worden door grote weersschommelingen. Daarom vindt vermicompostering vaak in een overdekte, afgesloten ruimte plaats. Het is een continue proces, waarbij regelmatig nieuw organisch materiaal wordt toegevoegd aan de bovenkant en aan de onderkant vermicompost kan worden 'geoogst'. Tijdens het proces zetten wormen het organisch materiaal om in onder andere CO₂. Op dit moment mag in het kader van de verordening dierlijke bijproducten, geen dierlijke mest worden gebruikt als substraat waarop productiedieren als insecten en wormen groeien. Beleidsmatig is het onduidelijk of in dit geval sprake is van productiedieren indien de wormen niet geoogst worden.

Mate van natuurinclusiviteit

Net als bij compostering dient de drijfmest of dikke fractie eerst te worden verrijkt met structuurrijk materiaal, bijvoorbeeld met stro. Het hangt wederom af van de wijze waarop het productieproces van het stro wordt vormgegeven (e.g. intensieve productie of natuur) in hoeverre het de natuur benut, spaart en/of verrijkt. De drijfmest of dikke fractie mest moet worden voorgecomposteerd, voordat het als substraat voor vermicompostering kan worden gebruikt. Bij composteren komt NH₃ en CO₂ vrij.

Het proces van vermicompostering benut het natuurlijke proces van het bodemleven, met name de rol van wormen, in het omzetten van dierlijke mest in vermicompost. Ook tijdens dit proces komt ammoniak vrij. Gezien de benodigde overdekte en relatief afgesloten opstelling draagt het proces van vermicompostering zelf weinig bij aan het verrijken van de natuur.

Bij aanwending van vermicompost wordt het bodemleven tot op zekere hoogte verrijkt, de bodemstructuur en het watervasthoudend vermogen verbeterd, koolstofvastlegging bevordert en de plantbeschikbaarheid van nutriënten en mineralen verhoogd.

Kortom, vermicomposteren van drijfmest of dikke fractie benut het natuurlijke proces van de omzetting van dierlijke mest in vermicompost. Het gebruik van deze compost als bodemverbeteraar verrijkt de bodem en vergeleken met regulier compost leidt toediening van vermicompost tot minder ammoniakemissie. Hiermee sluit het vermicomposteren van mest goed aan op het provinciale streven naar natuurinclusiviteit niveau 2 en draagt mogelijk ook bij aan het flankerend beleid van de provincie Noord-Holland omtrent weidevogels en organische stof in de landbouwbodems.

Anaerobe fermentatie (bokashi)

Anaerobe fermentatie van mest is te vergelijken met het inkuilen van gras of mais. Tijdens het zuurstofloze proces produceren micro-organismen zuren, waardoor de organische stof in de mest wordt geconserveerd. Het proces duurt 8 tot 12 weken, waarbij de temperatuur niet hoger wordt dan 40°C. Het droge stof gehalte van de ingaande mest moet tussen de 25 en 50% zijn. Daarom zal drijfmest eerst moeten worden gescheiden, waarna de dikke fractie gefermenteerd kan worden. De mest kan ook verrijkt worden met structuurrijke organische stof, zoals stro. Daarnaast worden kleimineralen en kalkhoudend materiaal toegevoegd, om de pH-daling tijdelijk tegen te gaan. Uiteindelijk stopt de lage pH het fermentatieproces.

Het eindproduct is bokashi. De geconserveerde organische stof blijft in de bokashi en komt daardoor beschikbaar voor het bodemleven. Vanwege de lage temperatuur tijdens het fermentatieproces, is de verwachting dat veel onkruidzaden en ziekteverwekkers het proces overleven (Iepema et al., 2021). Na het uitrijden kan de organische stof uit bokashi wel alsnog snel afbreken. Bokashi moet eerst omgezet worden door bodemleven, voordat de nutriënten beschikbaar komen voor het gewas of wordt vastgelegd in de bodem. Het is nog onvoldoende onderzocht of er emissies vrijkomen tijdens de productie van bokashi. Aandachtspunten zijn methaan- en lachgasemissies bij de productie en lachgas bij aanwending.

Mate van natuurinclusiviteit

Ook in dit proces is structuurrijke organische stof vereist voor het verhogen van het droge stof gehalte van de drijfmest. Het hangt wederom af van de wijze waarop het productieproces van de structuurrijke organische stof (bijvoorbeeld stro of natuurgas) wordt vormgegeven (e.g. intensieve productie of natuur) in hoeverre het de natuur benut, spaart en/of verrijkt.

Het maken van bokashi benut het proces van fermentatie door bacteriën, schimmels en gisten in een zuurstofloze omgeving. Doordat het fermentatieproces gesloten is, biedt dit geen verblijfplaats voor andere organismen zoals insecten.

Het toedienen van bokashi aan de bodem verbetert de bodemstructuur en het watervasthoudend vermogen. Bokashi als meststof leidt niet direct tot verhoogde gewasopbrengst. Na het toedienen van bokashi wordt een groot deel van de makkelijk afbreekbare koolstof gemineraliseerd, waardoor CO₂ emitteert (Romkens et al., 2020).

Kortom, het fermenteren van rundveedrijfmest zorgt voor een verbetering van de functionele biodiversiteit en het bevordert het bodemleven. Het is onduidelijk hoeveel emissies plaatsvinden tijdens het fermentatieproces en bij aanwending van de bokashi. Bokashi sluit aan bij de natuurinclusieve doelstelling van Noord-Holland (niveau 2) en draagt mogelijk ook bij aan het flankerend beleid van de provincie Noord-Holland omtrent weidevogels en organische stof in de landbouwbodems.

Anaerobe vergisting

Tijdens het vergistingsproces wordt de organische stof in (drijf)mest door micro-organismen onder anaerobe omstandigheden omgezet in biogas. Deze techniek staat in meer detail omschreven in Hoofdstuk 4.

Mate van natuurinclusiviteit

Om een biogasinstallatie rendabel te kunnen exploiteren is een bepaalde hoeveelheid mest uit de stal nodig. In het licht van het voorgenomen beleid waarbij juist een extensivering van de veehouderij wordt voorzien, zal de rendabiliteit concurreren met de extensivering. Smit et al. (2024) hebben daarom gekeken naar mogelijkheden om collectief, met meerdere bedrijven, mest te vergisten.

Het proces van anaerobe vergisting is gestoeld op het benutten van het natuurlijke proces waarbij micro-organismen organische stof uit dierlijke mest omzetten in biogas. Door gebruik te maken van dagverse mest en van een gesloten systeem, kan de methaanemissie uit de stal en mestopslag sterk worden gereduceerd. Hiermee verminderd de bijdrage van het bedrijf aan klimaatverandering en daarmee impact op de natuur. Het vergistingsproces draagt niet bij aan het verrijken van de natuur op en om het bedrijf.

De effecten van het toedienen van digestaat op het bodemleven zijn niet eenduidig (Karimi et al., 2022).

Kortom, mestvergisting draagt niet of zeer beperkt bij aan het verbeteren van de functionele biodiversiteit op het bedrijf. Wel draagt het bij aan een snellere sluiting van de koolstofkringloop, waarbij de gevormde methaan in biogas als energiebron kan worden gebruikt, in plaats van dat het in de atmosfeer verblijft. Het digestaat draagt echter minder bij aan het verrijken van de bodem dan drijfmest. Extensivering van de bedrijven staat haaks op de rendabiliteit van de vergister. Vergisten van (dagverse) rundveedrijfmest sluit niet aan bij de doelstelling voor natuurinclusiviteit niveau 2.

Stromest

Stromest is afkomstig uit stalsystemen, waarbij minimaal tweederde van het leefoppervlak van de dieren is ingestrooid met strooisel, zogenaamde strooiselstalsystemen. Dit staltype kent verschillende variaties, zoals de potstal en vrijloopstal. Dagelijks wordt strooisel aan de stal toegevoegd en het doel is compostering in de stal. Als strooiselmateriaal kan stro, vlas, vezelhenep of zaagsel worden gebruikt. Compostering van de strooiselbodem verloopt goed bij een temperatuur van 50 tot 55°C (Barberg et al., 2007; Smeding &

Langhout, 2006). In een potstal is het uitdagend om de ideale omstandigheden voor aerobe vertering te realiseren. Een hoog vochtgehalte in combinatie met een relatief lage temperatuur kan leiden tot verzuring, waardoor methaan kan vrijkomen. In een vrijloopstal worden daarom maatregelen toegepast die het compostingsproces stimuleren, zoals beluchten en omkering van de ondergrond (Galama et al., 2014).

Naast direct toediening van stro in de stal is het ook mogelijk om stro, of een ander structuurrijke organische stof, na mechanische scheiding van de mest toe te voegen aan de dikke fractie en het vervolgens te stapelen. Dit is ook toe te passen op de feces fractie bij stallen met bronscheiding. Het toevoegen van stro betekent dat het totaal aan nutriënten en volumes mest verhoogd wordt. Hiertegenover staat dat er een vrijstelling is van 25% voor de gebruikruimte van fosfaat in vaste mest.

Mate van natuurinclusiviteit

In dit proces is een aanzienlijke hoeveelheid structuurrijke organische stof vereist voor het waarborgen van een goede compostering in de stal of voor het stapelbaar maken van de stromest. Het hangt van de wijze waarop het productieproces van het stro wordt vormgegeven (e.g. intensieve productie of natuur) af in hoeverre het de natuur benut, spaart en/of verrijkt.

Strooiselstalsystemen benutten het proces van aerobe compostering middels bacteriën, waarbij naast warmte ook CO₂, N₂ en NH₃ vrijkomen. Bij suboptimale omstandigheden is er ook een risico op vorming van lachgas en methaan door de aanwezigheid van anaerobe omstandigheden. Desondanks is de composterende bodem een verrijking voor de biodiversiteit vanwege de grote voedselrijkdom en nestmateriaal die het biedt voor bijvoorbeeld huis- en boerenzwaluwen (Boer et al., 2003). Ook het natuurlijke gedrag van de koeien wordt gestimuleerd.

Bij aanwending van (gecomposteerde) stromest worden de nutriëntenvoorziening en waterhuishouding van de bodem sterk verbeterd doordat het organisch stofgehalte wordt verhoogd en het bodemleven wordt gestimuleerd. Daarnaast profiteren ook weidevogels door gebruik te maken van stro als nestmateriaal en de verhoogde abundantie van regenwormen als belangrijke voedselbron, waardoor de natuur wordt verrijkt (Boer et al., 2003; Onrust & Piersma, 2019).

Kortom, met het verwerken van stro tot stromest wordt gestuurd op verbetering van de functionele biodiversiteit. Bovendien bieden strooiselstalsystemen ruimte voor het natuurlijk gedrag van koeien. Wat nog onduidelijk is, is hoeveel emissies optreden bij dergelijke stalsystemen. Verder sluit het gebruik van stromest aan bij de doelstelling voor natuurinclusiviteit niveau 2 en draagt mogelijk ook bij aan het flankerend beleid van de provincie Noord-Holland omtrent weidevogels en organische stof in de landbouwbodems.

3.3 Mogelijke mestroutes

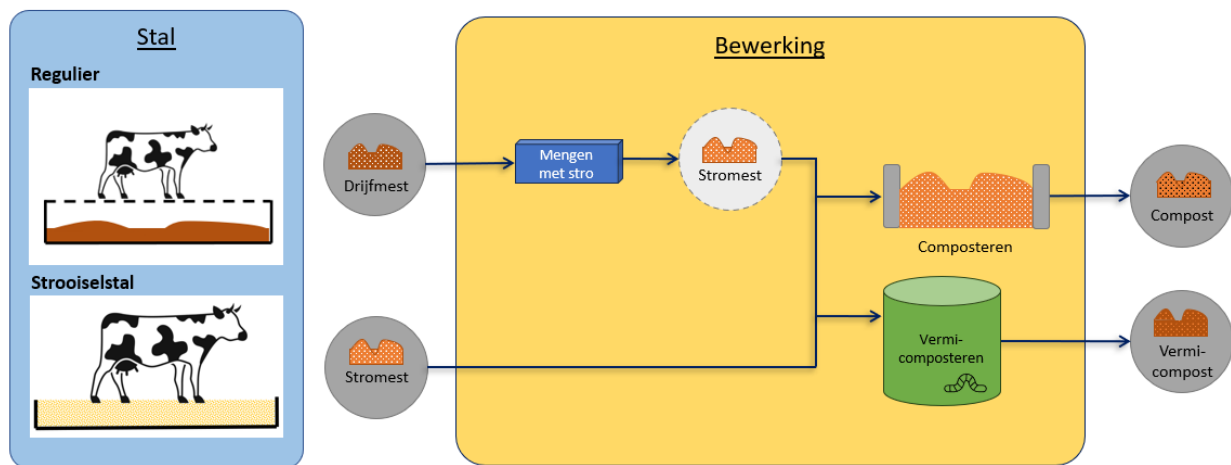
Natuurinclusiviteit is een integrale benadering die geldt voor de gehele keten. Naast extensivering van het melkveebedrijf, waarbij de mestproductie wordt afgestemd op de plaatsingsruimte, is mestmanagement een belangrijke factor om tot een natuurinclusievere melkveehouderij te komen. Een onderdeel van mestmanagement kan mestbewerking zijn. Uit Tabel 3.1 blijkt dat stromest en vermicompostering het meest positief scoren op de dimensies **benutten** en **verrijken**. De emissies die zijn betrokken bij deze technieken zijn echter niet volledig bekend, waardoor niet beoordeeld kan worden of deze technieken ook bijdragen aan **besparen**.

De grootste winst kan behaald worden met stalsystemen met stapelbare mest, eventueel met (vermi)compostering en in combinatie met relatief veel beweiding. Stalsystemen met stapelbare mest zijn bijvoorbeeld potstallen of vrijloopstallen. Met de huidige stalsystemen kan ook een eerste stap worden gemaakt door de mest te mengen met stro. Dan heeft het mestproduct meer natuurinclusieve waarde, maar wordt nog niet ingezet op het natuurlijke gedrag van de koe. Stromest uit een strooiselstal of drijfmest gemengd met stro kan worden gecomposteerd of gevermicomposteerd om daarmee een rul product met een hoog droge en organische stofgehalte te creëren.

Tabel 3.1 Beoordeling van hoe bewerkingstechnieken positief (+), zeer positief (++), niet (0) of onbekend (?) bijdragen aan natuurinclusiviteit, gebaseerd op de SWOT-analyses in Bijlage 1.

Bewerking	Benutten	Besparen	Verrijken
Composteren (extensief)	+	?	+
Composteren (intensief)	-	+	+
Vermicomposteren	+	?	++
Fermenteren	+	?	+
Vergisting	+	+	0
Stromest	+	?	++

In Figuur 3.3 zijn de hierboven beschreven mestroutes die aansluiten bij een natuurinclusieve melkveehouderij schematisch weergegeven, waarbij kan worden uitgegaan van (nieuwe) vrijloop stallen met strooisel of van gangbare stallen met drijfmest. Door het toevoegen van nutriënten aan de kringloop en daarmee het verhogen van de totale gehalten aan stikstof en fosfaat in de mest zullen deze systemen vooral interessant zijn voor bedrijven met voldoende plaatsingsruimte. In Hoofdstuk 7 zijn de resultaten weergegeven van de modellering van een scenario waarbij een centrale composteerder de dikke fractie van een aantal melkveehouderijen composteert. Dit scenario is meer gericht op het wegwerken van een stikstofoverschot (Hoofdstuk 5), maar dit kan ook in combinatie met de mestroutes uit Figuur 3.3.



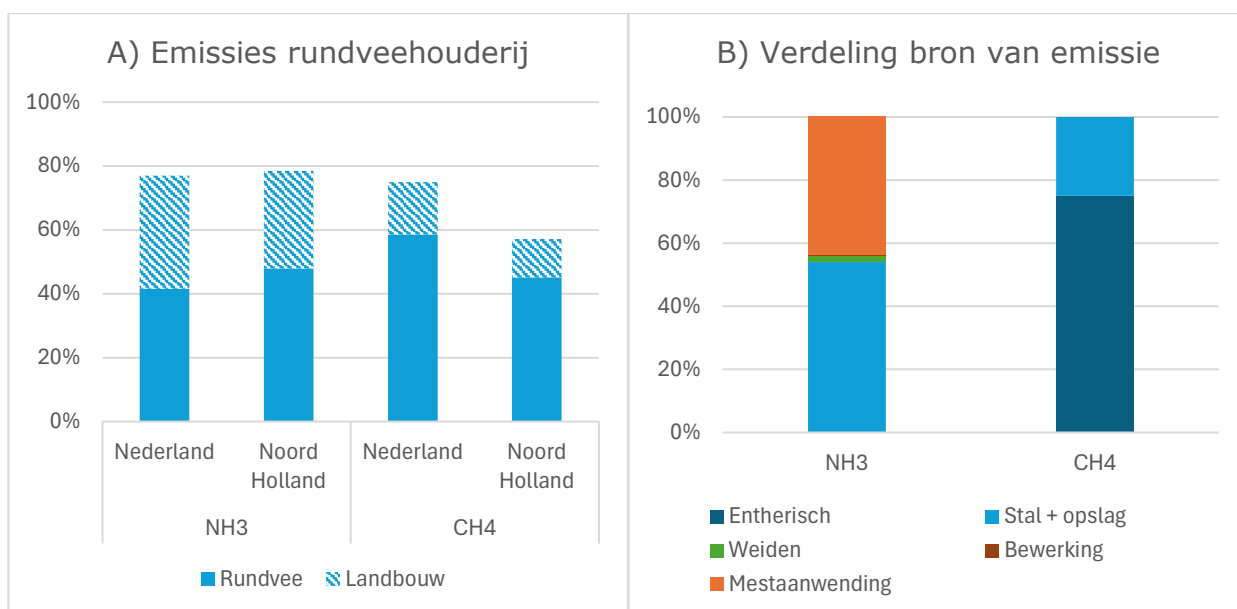
Figuur 3.3 Schematische weergave van mestbewerking die aansluit bij een natuurinclusieve melkveehouderij.

4 Potentie mestbewerking voor emissiereductie

4.1 Omschrijving doel

De landbouw is verantwoordelijk voor een groot deel van de landelijke ammoniak- en methaanemissies en dit wordt bijgehouden door de emissieregistratie (www.emissieregistratie.nl). Hieruit blijkt dat in 2021 77% van de nationale ammoniakemissie uit de landbouw kwam en hiervan was de rundveehouderij voor ongeveer de helft verantwoordelijk (Figuur 4.1A). In Figuur 4.1B staat weergegeven dat de belangrijkste bronnen van ammoniakemissie in de rundveehouderij mestaanwending (44%) en mest in stallen (54%) zijn (Van Bruggen et al., 2023). Ammoniak ontstaat doordat ureum wordt omgezet in ammonium. Dit gebeurt direct wanneer urine en feces met elkaar in aanraking komen. Ammonium vormt een evenwicht met ammoniak en dit evenwicht wordt beïnvloed door de temperatuur en zuurgraaf van de mest. Hoeveel ammoniak naar de lucht emitteert, hangt onder andere af van de ammoniakconcentratie boven de mest.

Voor methaanemissies geldt dat 75% van de nationale emissie uit de landbouw komt en de rundveehouderij verantwoordelijk is voor 73% daarvan (Figuur 4.1A). Methaan wordt gevormd tijdens het afbraakproces van organische stof. Dit gebeurt zowel in de pens en darmen van de koe, als in de uitgescheiden mest. De meeste methaanemissie (circa 75%) komt door enterische fermentatie in de koe en de overige 25% komt uit mest in stallen en opslag (Figuur 4.1B). Deze verhouding wordt in Nederland meestal ook als stelregel aangehouden. Ward et al. (2024) opperen echter dat de methaan emissies uit mest vaak te laag ingeschat worden en dat deze beter onderbouwd (en gemeten) moeten worden. Van Boxmeer et al. (2024) hebben aangetoond dat de methaanemissie in de eerste uren na uitscheiding nog niet op gang komt. Misselbrook et al. (2016) hebben langer gemeten en vinden, afhankelijk van de temperatuur, oplopende methaanemissies na enkele dagen.



Figuur 4.1 A) Ammoniak (NH₃) en methaan (CH₄) emissies uit de landbouw en de rundveehouderij in Nederland en Noord-Holland en B) de algemene verdeling van de bronnen van emissie (Van Bruggen et al., 2023; www.emissieregistratie.nl).

In de provincie Noord-Holland ligt de verdeling van emissiebronnen binnen de landbouw iets anders vergeleken met het gemiddelde van Nederland. In Noord-Holland komen weinig emissies uit de pluimvee- en varkenshouderij, omdat deze bedrijven bijna niet in deze provincie voorkomen. Daarentegen zijn de emissies

uit de melkveehouderij in Noord-Holland procentueel hoger vergeleken met heel Nederland (Figuur 4.1A). 79% van de totale ammoniakemissie in Noord-Holland komt uit de landbouw en daarvan komt 61% uit de rundveehouderij (vergeleken met 52% landelijk). 57% van de methaanemissie uit Noord-Holland komt uit de landbouw en daarvan komt 79% uit de rundveehouderij (vergeleken met 73% landelijk). Om ammoniakemissies te verminderen heeft de agrarische sector in Noord-Holland een reductieopgave van 41% (1.797 kiloton) in 2030 ten opzichte van 2018 (Rijksoverheid, 2022). Met betrekking tot broeikasgasemissies ligt de opgave om 0,3 megaton CO₂-equivalenten te verminderen in 2023 (Provincie Noord-Holland, 2023).

Dit rapport richt zich op mestmanagement en entherische methaanproductie wordt niet meegenomen. Aangezien een groot deel van de ammoniak- en methaanemissies ontstaan in de stal, kunnen deze emissies worden verminderd door deze mest snel uit de stal te verwijderen (Gollenbeek et al., 2022). Om te voorkomen dat de vermeden emissies daarna in de mestopslag alsnog vrijkomen, is het belangrijk om de mest direct te verwerken of emissiearm op te slaan. Hiermee wordt voorkomen dat emissies alsnog vrijkomen, maar ook emissies bij de aanwending van de mestproducten kunnen lager zijn vergeleken met de aanwending van gewone mest.

4.2 Mogelijke technieken

Er zijn verschillende technieken beschikbaar om mest te bewerken, waarbij mogelijk emissiereductie optreedt vergeleken met het niet bewerken van de mest. Gollenbeek et al. (2024), Hoekstra & Brouwer (2018), Lemmens et al. (2007) een www.wikimest.nl hebben vele mestbehandelingsmogelijkheden (op bedrijfsniveau) uitgebreid beschreven. Hieronder is van een aantal technieken, die mogelijk ammoniak- en/of broeikasgasemissies reduceren, een korte samenvatting gepresenteerd. Op basis van literatuurgegevens en expert judgement is een SWOT-analyse uitgevoerd, waarbij voor de verschillende mestbewerkingstechnieken de Sterkten, Zwakten, Kansen en Bedreigingen zijn geformuleerd. Deze uitgevoerde SWOT analyses zijn bijgevoegd in Bijlage 1.

Mechanische mestscheiding

Mechanische mestscheiding wordt toegepast om drijfmest of digestaat te scheiden in een fosfaatrijke, dikke fractie en stikstofrijke, dunne fractie. Tevens kan een fecesfractie nogmaals gescheiden worden om het drogestofgehalte verder te verhogen. De scheiding vindt vaak plaats op basis van deeltjesgrootte, waarbij de grote, vaste deeltjes in de dikke fractie terecht komen en de vloeistoffen met zeer kleine deeltjes in de dunne fractie. Daarnaast kunnen hulpstoffen worden gebruikt om het scheidingsrendement te vergroten. De installaties om mest te scheiden kunnen toegepast worden als vaste installatie, om op grote schaal mest te scheiden. Er zijn ook mobiele scheidingsapparaten beschikbaar, waarmee op boerderijschaal mest gescheiden kan worden. Voor melkveedrijfmest wordt meestal de schroefpers ingezet, aangezien de aanwezige vezels zorgen voor een redelijke scheiding. Duurdere technieken als een zeefbandpers of centrifuge worden vaker ingezet bij centrale mestverwerkers en wanneer sprake is van het verwerken van varkensmest. Bij het mechanisch scheiden van de drijfmest in een dikke en een dunne fractie kunnen ammoniakemissies optreden. Bij het opslaan van de dikke en de dunne mestfracties kan ammoniak, maar ook methaan en lachgas, emitteren. Het mechanisch scheiden wordt vaak ingezet als eerste bewerkingsstap voorafgaand aan verdere verwerking. De opslag van deze fracties, of de verdere verwerking, zal een sterke invloed hebben op de emissies die optreden.

Anaerobe vergisting

Tijdens het vergistingsproces wordt de organische stof in (drijf)mest door micro-organismen onder anaerobe (zuurstofloze) omstandigheden omgezet in biogas. Dit gebeurt onder gesloten en gecontroleerde omstandigheden, waardoor er nauwelijks emissies plaatsvinden. In principe kunnen alle typen mest vergist worden, maar er zijn wel grote verschillen in biogasopbrengst tussen de verschillende mestsoorten. De biogasopbrengsten uit drijfmest zijn relatief laag ten opzichte van co-producten. Dit heeft te maken met de lage gehalten aan organische stof en de samenstelling van deze organische stof. Het co-vergisten brengt echter weer andere uitdagingen met zich mee (zie Hoofdstuk 8). In deze paragraaf wordt alleen mono-mestvergisting beschreven.

Wat overblijft na het vergisten is het digestaat, een homogene mestvloeistof met minder geur. Digestaat bevat minder organische stof, maar het aandeel effectieve organische stof per eenheid organische stof is hoger. Digestaat bevat meer minerale stikstof dan de ingaande drijfmest. Het biogas kan gebruikt worden in een warmte kracht koppeling (WKK) om elektriciteit en warmte op te wekken. Een andere mogelijkheid is om het biogas op te waarden naar groen gas, wat op het gasnet gezet kan worden. Vergistingsinstallaties zijn prijzig, waardoor het financieel pas vanaf 180 – 350 koeien interessant is om mest te vergisten, onder voorwaarde van toekenning van de SDE++ subsidie. Als verse mest wordt gebruikt is de gasopbrengst hoger, waardoor het eerder financieel haalbaar is. In Smit et al. (2024) is deze route van mestbewerking uitgebreid behandeld. Bij dalende dieren aantallen op melkveebedrijven zal de exploitatie van vergisters op boerderijschaal lastiger zijn.

Wanneer de opslagduur van mest op het bedrijf hetzelfde blijft, zullen geen emissies worden gereduceerd door mest te vergisten. Wanneer verse mest wordt gebruikt en de mest daardoor minder lang wordt opgeslagen, worden emissies uit de stal (en opslag) gereduceerd (Gollenbeek et al., 2022). Stal en mestbewerking dienen dus op elkaar afgestemd te worden. Er treden beperkt emissies op gedurende de mestvergisting en verdere opslag.

Stikstof strippen scrubben

Stikstof (N) strippen wordt gedaan om een stikstofrijk concentraat te produceren. Daarnaast blijft de gestripte stikstofarme vloeistof over, het effluent. Het is mogelijk om stikstof te strippen uit drijfmest, dunne fractie, urine/gier en digestaat. Eerst wordt ammoniak (NH_3) uit de mest gedreven (strippen) om het vervolgens terug te winnen (scrubben). Het vervluchtigen van NH_3 kan op verschillende manieren, namelijk door lucht of stoom door de mestfractie te leiden, door de temperatuur te verhogen, door de pH te verhogen of door de luchtdruk te verlagen. Vervolgens wordt de lucht met hoge ammoniakconcentratie in contact gebracht met een sterk zure oplossing (meestal zwavelzuur), waardoor de ammoniak wordt vastgelegd in de scrubvloeistof. Bij gebruik van zwavelzuur is dit in de vorm van ammoniumsulfaat bij het gebruik van salpeterzuur is dit in de vorm van ammoniumnitraat.

Op deze manier ontstaat een stikstofrijk concentraat. Deze kan emissiearm opgeslagen worden, maar daarbij is het belangrijk dat de pH van het product voldoende laag blijft. Het aanwenden van het stikstofcontraat vermindert de ammoniakemissie vergeleken met het aanwenden van drijfmest (Rietra et al., 2024), maar ook hier moet de pH van het concentraat laag zijn tijdens het uitrijden om ammoniakemissies te voorkomen. De gestripte mest is ammoniakarm, waardoor de emissies van ammoniak bij opslag en aanwenden ook laag zullen zijn.

Aanzuren

Tijdens het aanzuren van mest wordt een zuur aan de mest toegevoegd om de pH te verlagen ($\text{pH} < 5$) om daarmee de vorming van ammoniak (deels) te voorkomen. Hiermee kunnen zowel ammoniakemissies als methaanemissies uit de stal en opslag worden verminderd (Puente-Rodríguez et al., 2022). Aanzuren kan worden toegepast op drijfmest, dunne fractie en urine/gier. Zuren die geschikt zijn voor het aanzuren van mest zijn zwavelzuur, salpeterzuur of organische zuren. Daarnaast kan mest biologisch worden aangezuurd door het toevoegen van makkelijk afbreekbaar organisch materiaal, bijvoorbeeld melasse of mais. Dit brengt fermentatie in de mest op gang, waardoor organische zuren (azijnzuur) worden gevormd en de pH daalt. Een bijkomend voordeel is dat de toevoeging van makkelijk afbreekbaar organisch materiaal bij vergisten een hogere biogasopbrengst geeft. Een nadeel kan zijn dat dergelijke producten hoogwaardiger ingezet kunnen worden.

Het aanzuren van mest in de mestkelder heeft een sterke reductie van de ammoniak- en methaanemissies uit de mestkelder tot gevolg. De emissies van ammoniak van de roostervloer wordt hiermee niet aangepakt (de stelregel is: 40 % ammoniak emissie vanuit mestkelder en 60% vanaf roostervloer). In Denenmarken wordt mest aangezuurd tijdens het uitrijden om zo ammoniak emissies bij aanwenden te reduceren. Daarnaast hebben een aantal veehouders in Denenmarken systemen waarbij de drijfmest in de kelderput aangezuurd wordt. In Nederland wordt mest zelden aangezuurd en het gebruik van zwavelzuur (goedkoop zuur) wordt gezien als een belangrijke belemmering bij het aanwenden van de aangezuurde mest, vanwege de verhoging van het zwavelgehalte in de bodem.

Verdunnen

Op klei- en veengronden mag mest verdunt met water (minimaal 1 deel water op 2 delen mest) uitgereden worden met een sleepvoetbemester. Emissiemetingen hebben aangetoond dat de ammoniakemissie vergelijkbaar is met het uitrijden van onverdunde mest met een zodenbemester (Huijsmans et al. 2017). Met verder verdunde mest (1 deel mest met 3 delen water) is in hetzelfde onderzoek een ammoniakreductie van 20 – 41% gevonden. Verdunnen van de mest kan ook al plaatsvinden op de stalvloer, in de mestput of in de opslag. Wanneer water wordt toegevoegd over de stalvloer, kan ook de ammoniakemissie vanaf de vloer worden verminderd (Dooren et al., 2022). De optimale verhouding mest:water is 2:1. Het verdunnen zorgt wel voor een toename van het volume mest. Voor de verdunning kan ook een ammoniak arme vloeistof gebruikt worden die bijvoorbeeld met strippen of een biologische zuivering verkregen worden.

4.3 Mestroutes emissiereductie

In Tabel 4.1 is een overzicht gegeven van de beschreven technieken en welke emissies worden gereduceerd in de stal, tijdens opslag en bij aanwending. Mechanische scheiding wordt hierbij gezien als een ondersteunende techniek die vaak nodig is om de mest verder te kunnen bewerken. Vergisting en verdunning geven wel emissiereductie in de stal en opslag, maar leiden niet tot emissiereductie bij aanwending. Strippen en scrubben geeft wel emissiereductie bij aanwending, dus het combineren van deze technieken leidt tot emissiereductie in de gehele keten. Op basis van de SWOT-analyses (Bijlage 1), Tabel 4.1 en de beschrijvingen in Hoofdstuk 4.2 zijn de drie meest perspectiefvolle mestvervaardingsroutes bepaald:

1. Vergisten + mechanisch scheiden + strippen scrubben
2. Verdunnen + mechanisch scheiden + strippen scrubben
3. Aanzuren in de stal of mestopslag

Tabel 4.1 Overzicht van welke emissies worden gereduceerd met de bewerkingstechnieken, gebaseerd op de SWOT-analyses in Bijlage 1. NH_3 = ammoniak, CH_4 = methaan.

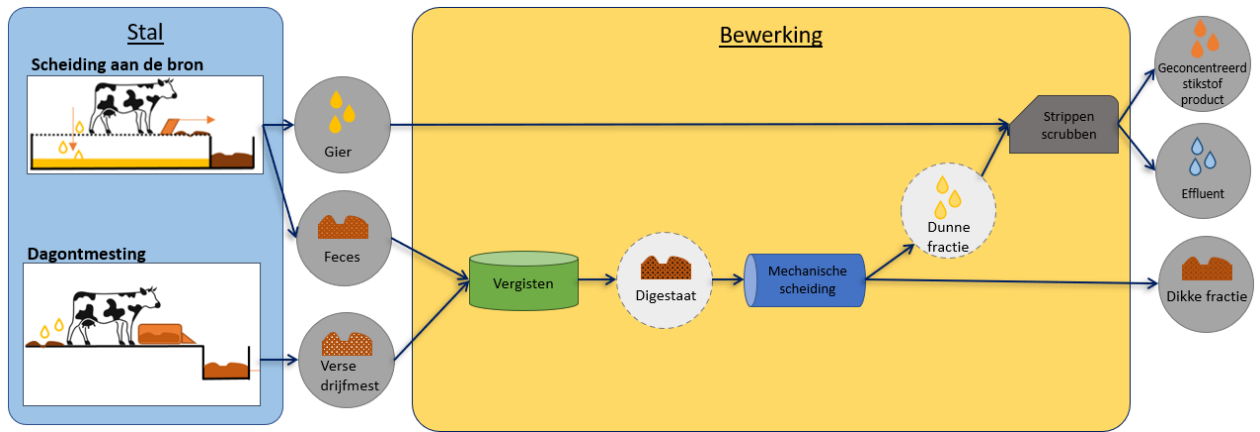
Bewerking	Reductie		
	Stal	Opslag	Aanwending
Mechanische scheiding	Ondersteunende techniek		
Vergisting ¹	NH_3 en CH_4	NH_3 en CH_4	Nee
Strippen en scrubben	NH_3	NH_3	NH_3
Aanzuren	NH_3 en CH_4	NH_3 en CH_4	NH_3
Verdunnen	NH_3	NH_3	Nee

¹Bij dagontmesting en directe vergisting

4.3.1 Vergisten + scheiding + strippen scrubben

Mestvergisting leidt tot reductie van methaanemissies uit mest, omdat mest vanuit de stal meteen de vergister in gaat. Doordat het niet langdurig wordt opgeslagen, kunnen er ook geen emissies tijdens de opslag ontstaan. Hoe verser de mest, hoe meer biogas wordt geproduceerd in de vergister. Daarom past dit goed bij een melkveebedrijf waar dagontmesting wordt toegepast. Smit et al. (2024) hebben verschillende varianten van mestvergisting en verdere bewerking van het digestaat doorgerekend. Mestvergisting past ook goed bij stalsystemen waarbij urine en feces aan de bron worden gescheiden. De feces fractie bevat de meeste organische stof, waardoor deze geschikt is voor mestvergisting. Bij stalsystemen met bronscheiding worden de feces regelmatig uit de stal verwijderd, waardoor deze fractie vers naar de vergister kan.

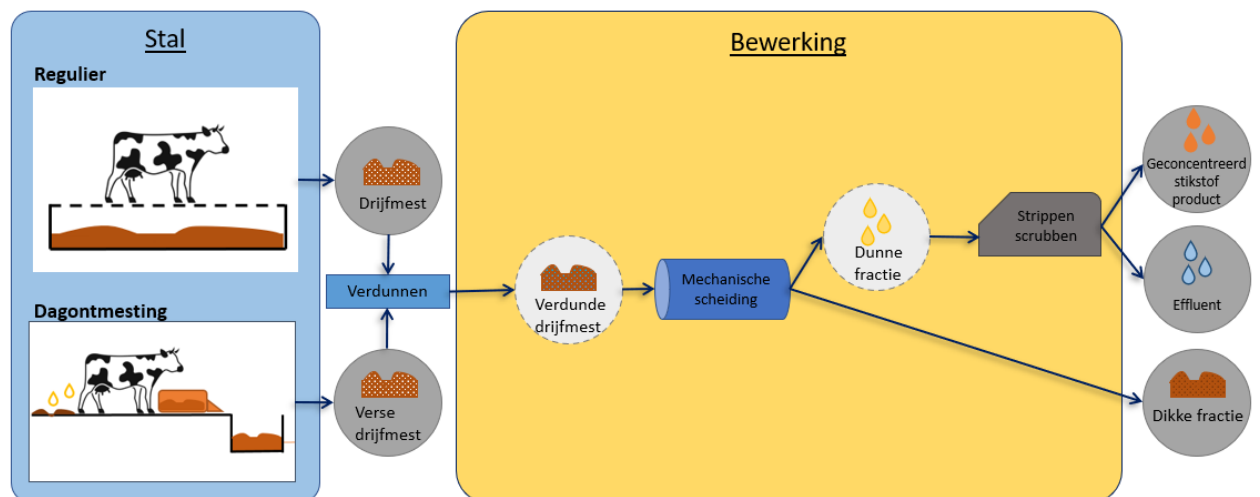
Het digestaat wat overblijft na het vergistingsproces wordt vervolgens mechanisch gescheiden in een dikke en dunne fractie (Figuur 4.2). De dikke fractie kan worden gebruikt als vaste fosfaatmeststof. Uit de dunne fractie wordt de ammoniak gestript, waardoor een stikstofrijk mestproduct ontstaat. Dit wordt in de toekomst mogelijk toegelaten als kunstmestvervanger (RENURE), waardoor het boven op de gebruiksnorm voor dierlijke mest kan worden gebruikt. Het effluent bevat voornamelijk kali en kan als vloeibare kalimeststof worden gebruikt.



Figuur 4.2 Schematische weergave van de mestroute vergisting + scheiding + strippen.

4.3.2 Verdunnen + scheiden + strippen scrubben

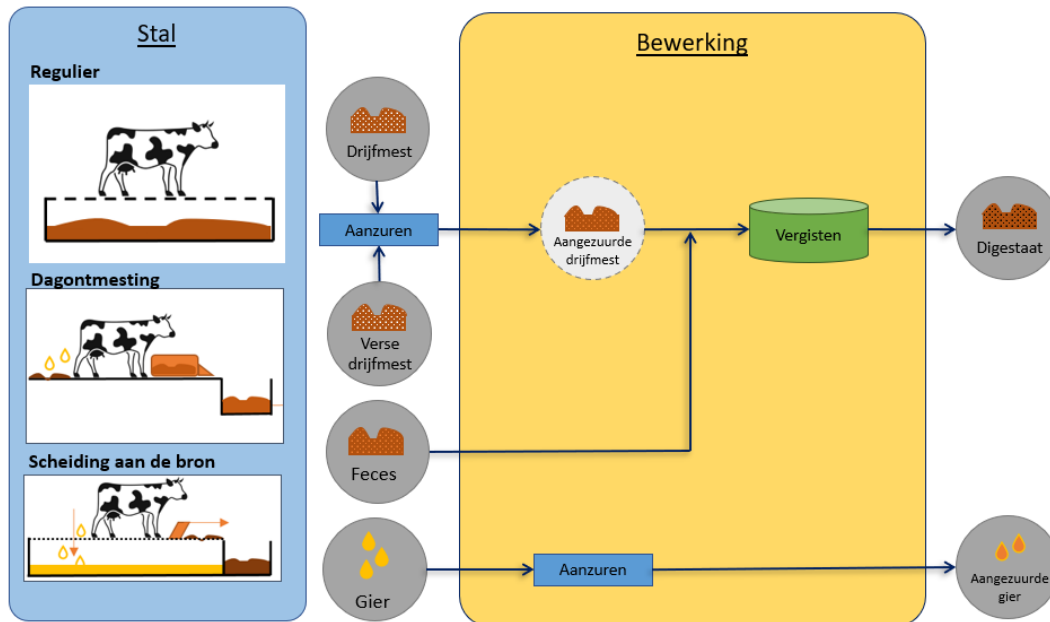
Verdunnen van mest leidt tot reductie van methaan- en ammoniakemissie uit de mest. Bij dagontmesting kan mogelijk ook de mest in de mestopslag worden verdunt om hier emissies te voorkomen. Een nadeel van het verdunnen van mest is dat hier grote hoeveelheden water voor nodig zijn. Als de verdunde mest vervolgens mechanisch wordt gescheiden in een dikke en dunne fractie en de dunne fractie wordt vervolgens gestript, ontstaat er naast een geconcentreerd stikstof product ook een effluent (Figuur 4.3). Mogelijk kan dit effluent weer worden gebruikt om de mest in de stal of opslag te verdunnen.



Figuur 4.3 Schematische weergave van de mestroute verdunnen + scheiden + strippen.

4.3.3 Aanzuren in stal of opslag

Door de zuurgraad (pH) van mest te verlagen kan zowel de ammoniak- als de methaanemissie uit de mest worden verminderd. Het is mogelijk om de drijfmest in de stal aan te zuren of om dit in de opslag te doen. Bij een stalsysteem met scheiding aan de bron kunnen emissies uit de gierfracties worden voorkomen door de gieropslag aan te zuren. Aangezuurde drijfmest of dikke fractie kan vervolgens worden vergist, en deze zal net als verse mest een hogere biogasopbrengst hebben (Figuur 4.4). Wanneer de mest biologisch wordt aangezuurd door het toevoegen van een makkelijk afbreekbare koolstofbron geeft dit bij het vergisten een nog hogere biogasopbrengst door de afbraak van organische zuren. Van deze mestroute is in Hoofdstuk 7 bepaald hoeveel emissies kunnen worden gereduceerd en of de investeringskosten kunnen worden terugverdiend.



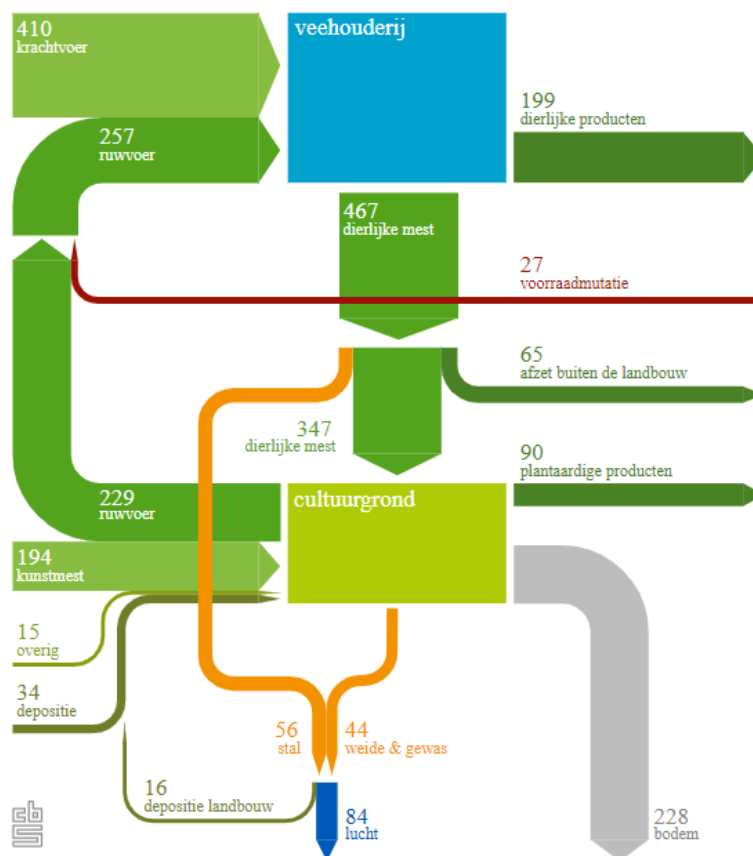
Figuur 4.4 Schematische weergave van de mestroute aanzuren + vergisten.

5 Potentie mestbewerking voor verminderen stikstofoverschot

5.1 Omschrijving doel

Landelijk stikstofoverschot

Het CBS brengt jaarlijks in beeld hoe efficiënt de Nederlandse landbouw stikstof omzet in landbouwproducten. Zij noemen dit het stikstofoverschot; het deel van de stikstof uit bemesting dat niet wordt omgezet in landbouwproducten. Het landelijk stikstofoverschot in 2022 was 312 miljoen kilogram. 84 miljoen kilogram stikstof verdween naar de lucht en 228 miljoen kilogram stikstof werd niet benut in de bodem (Figuur 5.1). Circa 40% van de aangevoerde stikstof verdwijnt dus naar de lucht, de bodem en het water. Een groot stikstofoverschot leidt tot onder andere vermist en verzuring van de bodem en oppervlakte water. Daarom is het van belang om het landelijke stikstofoverschot zo veel mogelijk te beperken.



Figuur 5.1 Stikstofstromen in de landbouw (miljoen kilogram) in 2022 (CBS, 2024).

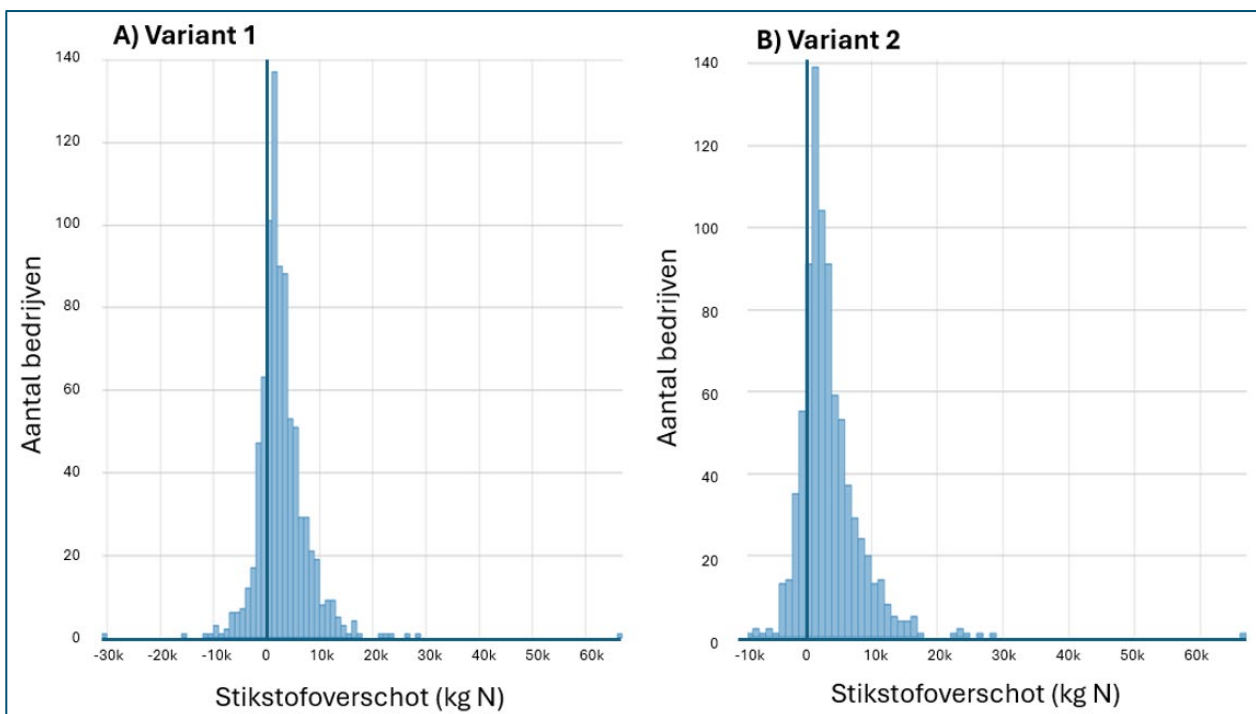
Stikstofoverschot op bedrijfsniveau

In de veehouderij wordt het stikstofoverschot op bedrijfsniveau berekend op basis van de mestproductie en de plaatsingsruimte. Het deel van de stikstof uit de mest die niet geplaatst kan worden, wordt dan het stikstofoverschot genoemd. Op provinciaal niveau is er geen stikstofoverschot in Noord-Holland (Gerritsen et al., 2023). Echter, onder andere door het wegvallen van de derogatie (zie ook Hoofdstuk 2.3), kan er op bedrijfsniveau wel een stikstofoverschot ontstaan. Naast optimalisatie van het voermanagement en het verminderen van het aantal dieren op het bedrijf, kan mestbewerking op bedrijfsniveau bijdragen aan het verminderen van dit stikstofoverschot.

Op basis van de bedrijfsgegevens van de melkveebedrijven in Noord-Holland uit het Basisbestand Agrarische Bedrijfsgegevens (BAB) (zie ook Smit et al. (2024)), is uitgerekend hoeveel bedrijven in Noord-Holland een stikstofoverschot hebben. Dit is berekend aan de hand van het aantal dieren (melkvee en jongvee) en het aantal hectare gras- en maïsland per bedrijf. De volgende aannames zijn gedaan:

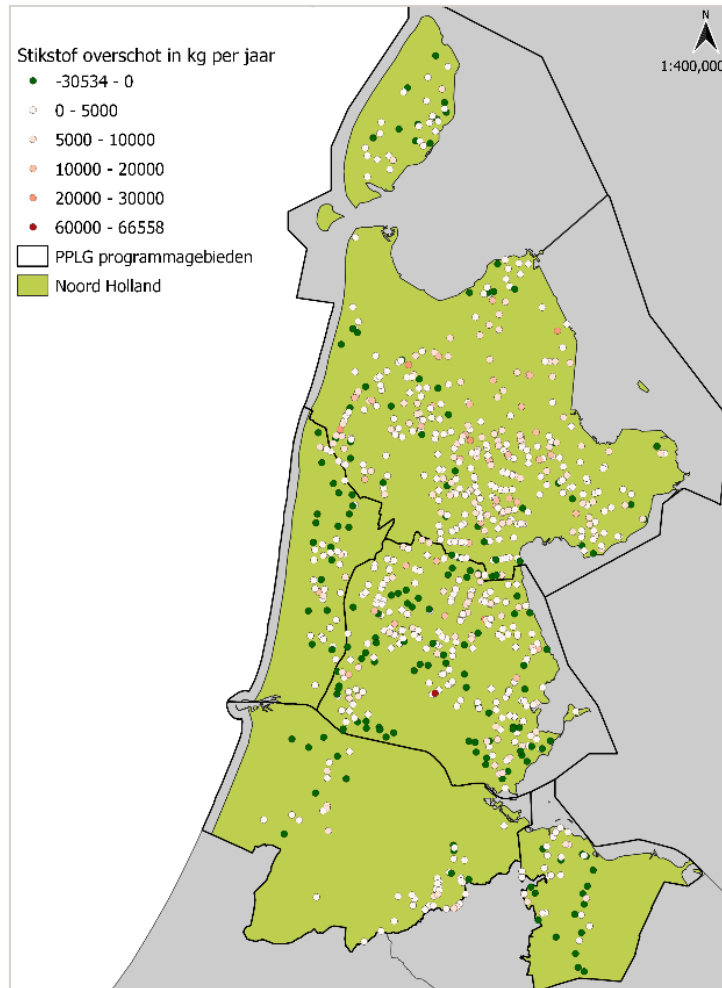
- N-excretie melkvee = 29.000 kg N/dier/jaar
- N-excretie jongvee = 8.750 kg N/dier/jaar
- N-plaatsingsruimte grasland = 170 kg N/ha/jaar
- N-plaatsingsruimte maïsland = 170 kg N/ha/jaar

Enkele bedrijven beschikken ook over natuurgrond. Dit is grasland of bouwland met als hoofdfunctie natuur, bijvoorbeeld gebieden van een natuurbeheerorganisatie waar in overleg dieren grazen of uiterwaarden die door een veehouder worden beheerd. De plaatsingsruimte op natuurgrond wordt bepaald in afstemming met de natuurbeheerorganisatie en de veehouder, maar is maximaal 170 kg N/ha/jaar. Daarom zijn twee varianten doorgerekend, één met een plaatsingsruimte van 0 kg N/ha/jaar op natuurgrond en één met 170 kg N/ha/jaar.



Figuur 5.2 Histogrammen van het aantal bedrijven met een bepaald stikstofoverschot (kg N per bedrijf) in de situatie zonder derogatie, met **(A)** 170 kg N/ha plaatsingsruimte en **(B)** 0 kg N/ha plaatsingsruimte op natuurland. Positieve getallen geven een stikstof overschot weer en negatieve getallen betekenen een stikstof tekort.

In Noord-Holland hebben, afhankelijk van de plaatsingsruimte op natuurgrond, 664 – 707 van de 832 melkveebedrijven een stikstofoverschot (zonder derogatie). Circa 93% van deze bedrijven heeft een overschot tot 10.000 kg N per bedrijf (Figuur 5.2). Ongeveer 6% heeft een overschot van 10.000 tot 20.000 kg N. Enkele bedrijven in het noorden van Noord-Holland hebben een overschot van 10.000 tot 20.000 kg N (Figuur 5.3). Eén bedrijf in Laag Holland heeft een overschot van meer dan 60.000 kg N. Op basis van een globale berekening, waarbij wordt uitgegaan van 4 kg stikstof per ton drijfmest en een poorttarief van €20 per ton mest, geeft 10.000 kg N overschot een overschot van circa 2.500 ton drijfmest en kost het €50k om deze mest af te voeren.



Figuur 5.3 Bedrijven zonder (groen) en met (verloop van oranje) stikstofoverschot in Noord-Holland (uitgaand van 170 kg N/ha op natuurgrond).

5.2 Mogelijke technieken

Er zijn verschillende technieken beschikbaar om mest te bewerken, waarbij het stikstofoverschot op bedrijfsniveau wordt verminderd. Gollenbeek et al. (2024), Hoekstra & Brouwer (2018), Lemmens et al. (2007) en www.wikimest.nl hebben vele mestbehandelingsmogelijkheden (op bedrijfsniveau) uitgebreid beschreven. Hieronder is van een aantal technieken, die mogelijk het stikstofoverschot op bedrijfsniveau reduceren, een korte samenvatting gepresenteerd. Op basis van literatuurgegevens en expert judgement is een SWOT-analyse uitgevoerd, waarbij voor de verschillende mestbewerkingstechnieken de Sterkten, Zwakten, Kansen en Bedreigingen zijn geformuleerd. Deze uitgevoerde SWOT analyses zijn bijgevoegd in Bijlage 1.

Biologische zuivering

Na het scheiden van de mest kan de dunne fractie biologisch worden gezuiverd. Dit bestaat uit twee processen: nitrificatie en denitrificatie. Tijdens nitrificatie wordt ammoniak in aanwezigheid van zuurstof omgezet in nitraat (NO_3^-). Met een beluchtingsapparaat worden fijne belletjes door de mest geblazen, om ervoor te zorgen dat er voldoende zuurstof in de mest aanwezig is. Vervolgens vindt denitrificatie plaats, wat juist een zuurstofloos proces is, waarbij nitraat wordt omgezet in onschadelijk stikstofgas (N_2). Wat overblijft is een vloeibaar effluent wat kaliumrijk is en bijna geen stikstof en fosfaat meer bevat. Ook een groot deel van de organische stof zal verwijderd zijn. Een deel van de organische stof wordt afgebroken en een deel zal samen met de fosfaat in het slib terecht komen. Dit slib kan afgescheiden worden door middel van een filtratiestap of door behandeling met een centrifuge of zeefband.

Doordat de ammoniak uit de mest tijdens het biologische zuiveringsproces wordt omgezet in (onschadelijk) stikstofgas, verdwijnt deze stikstof uit de keten, waardoor het stikstofoverschot op het bedrijf verminderd. Wel wordt hiermee stikstof verwijderd wat nu niet als bemesting kan dienen.

Strippen scrubben (RENURE)

Strippen en scrubben is een techniek die wordt gebruikt om ammoniakemissies te beperken (zie voor een beschrijving van strippen scrubben Hoofdstuk 4). Uit het strip en scrub proces wordt de stikstof uit de mest vastgelegd in een ammoniumsulfaat of een ammoniumnitraat. Indien deze stikstofconcentraten erkend worden als kunstmestvervanger (RENURE), dan haal je op deze manier stikstof uit de plaatsingsruimte van dierlijke mest. Door het N-concentraat als kunstmest in te zetten, vermindert hierdoor de aanvoer van kunstmest en doordat het niet meer als dierlijke mest wordt gerekend, vermindert ook de afvoer van dierlijke mest van het bedrijf.

De aanschaf van installaties om kunstmestvervangers te maken vergt vaak een flinke investering. Mobiele installaties kunnen hier uitkomst bieden, bijvoorbeeld de stikstofstripper van FarmCubes. Dit is een mobiele stripper die onder andere door loonwerkers gebruikt kan worden om op verschillende bedrijven stikstof uit de mest te halen.

Omgekeerde osmose mineralen concentraat (RENURE)

Om een mineralen concentraat te verkrijgen is een filtratie nodig waarbij de gefilterde dunne fractie door een omgekeerde osmose-membraan wordt gefilterd. Bij omgekeerde osmose wordt de vloeistof onder hoge druk (circa 60 bar) door semipermeabele membranen geperst (De Buissonjé et al., 2013). Hierdoor worden watermoleculen uit de vloeistof geperst, terwijl zouten en organische moleculen niet door het membraan heen kunnen. Hiermee ontstaat water en een mineralenconcentraat. Om verstopping en beschadiging van de membranen te voorkomen is het van belang dat de dunne fractie vooraf grondig is gezuiverd, bijvoorbeeld door middel van micro-, ultra- of nanofiltratie (Hoeksma et al., 2021). Door mest te filteren worden deeltjes afgescheiden van de vloeistof. Afhankelijk van de deeltjesgrootte en de druk wordt gesproken over micro-/ultra-/nanofiltratie of omgekeerde osmose. Voor filtratie is het belangrijk dat de mest eerst mechanisch of aan de bron is gescheiden in een dikke en dunne fractie. De dunne fractie kan dan verder worden behandeld.

Mineralenconcentraat gemaakt uit mest wordt nog steeds gezien als een mestproduct en telt daarom mee voor de gebruiksnorm voor stikstof uit dierlijke mest. Alleen telers die deelnemen aan de Pilot Mineralenconcentraten (RVO, 2020) mogen het mineralenconcentraat aanwenden, zonder dat dit meetelt voor de gebruiksnorm voor stikstof uit dierlijke mest. Wel telt het mee voor de stikstof- en fosfaatgebruiksnorm met een werkingscoëfficiënt van 100%. De belangrijkste nutriënten in mineralenconcentraat zijn minerale stikstof en oplosbaar kalium. Qua werking en risico op nitraatuitspoeling is mineralenconcentraat vergelijkbaar met kunstmest (Schils et al., 2014). Wanneer mineralenconcentraat ook daadwerkelijke wordt erkend als kunstmestvervanger (RENURE), mag dit bovenop de gebruiksnorm voor dierlijke mest worden gebruikt. Hierdoor daalt het gebruik van kunstmest en hoeft minder dierlijke mest van het bedrijf worden afgevoerd.

Het inzetten van omgekeerde osmose op melkveehouderijen is kostbaar. Verwacht wordt dat dit alleen bij erg grote melkveebedrijven financieel haalbaar kan zijn of bij centrale mestbewerking.

Struviet (RENURE)

Struviet is een mineraalcomplex van magnesium met fosfaat en ammonium, wat neerslaat in het mestmengsel. In de waterzuivering wordt magnesium aan het water toegevoegd om fosfaat terug te winnen en neerslag van struviet in leidingen te voorkomen. Ook in mest ontstaat struviet en dit kan worden bevorderd door het toevoegen van magnesium (Van Boxmeer et al., 2023). Struviet bestaat voor 28% uit fosfaat, 16% uit magnesium en 5% uit stikstof en wordt daarom beschouwd als een fosfaatmeststof. Op dit moment wordt deze techniek in Nederland op weinig landbouwbedrijven toegepast. De potentie om het stikstofoverschot op het bedrijf te verlagen is laag en de techniek is nog onvoldoende doorontwikkeld.

Pyrolyse

Pyrolyse is thermochemische afbraak van organische stof. Het vindt plaats in een zuurstofloze omgeving bij een temperatuur van circa 300 tot 650°C. Pyrolyse resulteert in drie producten: 1) syngas, wat voornamelijk bestaat uit CO, CO₂, H₂ en CH₄, 2) olie, een mengsel van gecondenseerde vluchtige bestanddelen en 3) char

of biochar, een koolstof houdend as (Ehlert & Oenema, 2010). Een deel van de organische stof (inclusief stikstof en zwavel) uit de mest wordt bij pyrolyse omgezet in syngas en olie. Het restant, waaronder fosfaat en kali, blijft achter in de biochar. Het hoofdbestandsdeel van biochar is koolstof (C). Biochar van mest kan in Nederland ingezet worden als dierlijke mest, maar bij export naar het buitenland zal het de status "afval" krijgen, waardoor het niet gebruikt mag worden als meststof (Gollenbeek et al., 2018). De samenstelling en de hoeveelheid gas dat wordt geproduceerd hangt onder andere af van de samenstelling van de ingaande biomassa (mest). De dikke fractie van mest kan door middel van pyrolyse omgezet worden in biochar. Een deel van de in de mest aanwezige stikstof zal als gasvormig N₂ of NO_x emitteren tijdens de droging en pyrolyse van de mest. Hiermee wordt het stikstofoverschot verminderd. Pyrolyse van mest wordt in Nederland nauwelijks toegepast en er is niet bekend of dit op boerderijschaal uitgevoerd kan worden. Verbranding van kippenmest wordt wel veel gedaan, omdat kippenmest een droger product is. Het product wat uit het verbrandingsproces komt is een as, terwijl pyrolyse een soort biochar als bodemverbeteraar oplevert.

Afvoeren van mest

De meest voor de hand liggende manier om met het stikstofoverschot op bedrijfsniveau om te gaan is door mest af te voeren. Dit kan naar omliggende (akkerbouw)bedrijven (Hoofdstuk 6) of naar een centrale mestverwerker (Hoofdstuk 8). Voordat mest naar het buitenland getransporteerd mag worden, moet het worden gehygiëniseerd. Normaliter gebeurt dit bij de centrale mestverwerker, maar dit kan eventueel ook al plaatsvinden op het eigen bedrijf met een warmtevizel of door middel van drogen of composteren. Wel emitteert er ammoniak tijdens het proces van hygiëniseren, waardoor dit proces idealiter in een afgesloten ruimte plaatsvindt waarvan de uitgaande lucht wordt behandeld (luchtwasser).

5.3 Mestroutes ter vermindering stikstofoverschot

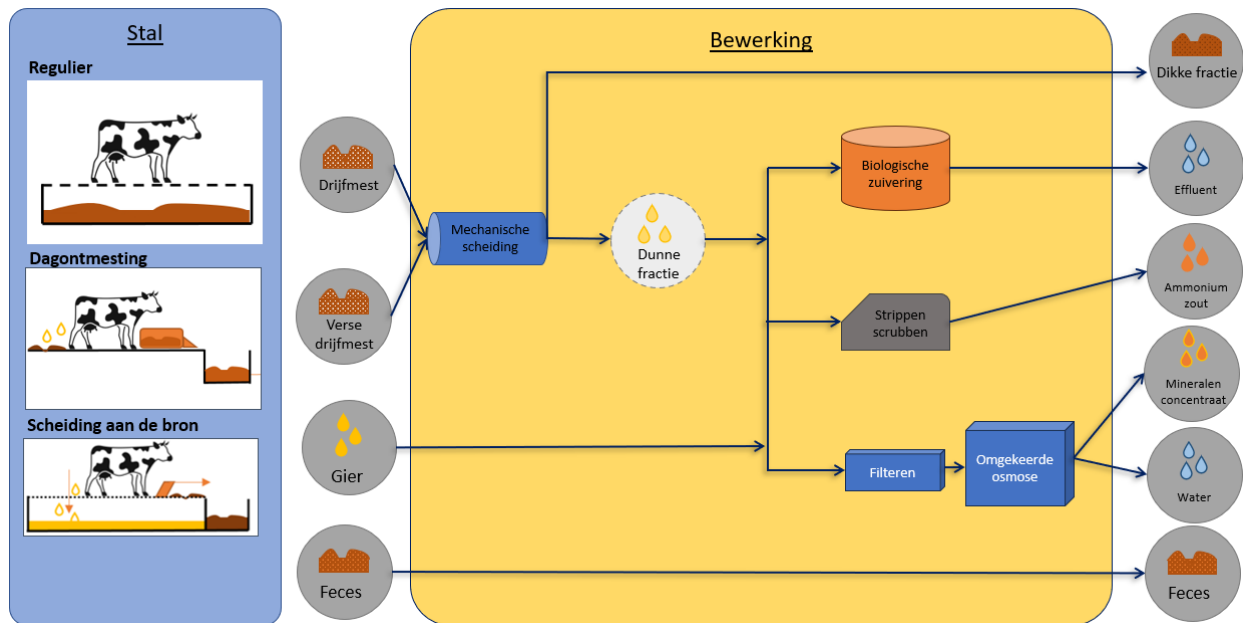
Mestbewerking kan globaal gezien op twee manieren bijdragen aan het verminderen van het stikstofoverschot op bedrijfsniveau: 1) het omzetten van stikstof in een onschadelijke (gas)vorm en 2) het produceren van een stikstofmeststof die als kunstmestvervanger (RENURE) kan worden ingezet en daardoor niet meetelt voor de gebruiksnorm dierlijke mest (Tabel 5.1). Op basis van de SWOT-analyses (Bijlage 1) en beschrijvingen in Hoofdstuk 5.2 zijn de drie meest perspectievolle mestvervaardingsroutes bepaald om het stikstofoverschot op bedrijfsniveau te verminderen:

1. Scheiding + biologische mestzuivering
2. Scheiding + strippen scrubben
3. Scheiding + filter + omgekeerde osmose

Tabel 5.1 Samenvatting van bewerkingstechnieken en hoe deze het stikstofoverschot op bedrijfsniveau kunnen verminderen.

Bewerking	Principe
Biologische zuivering	Omzetting naar (onschadelijk) N ₂ gas
Filtratie en RO	RENURE
Strippen en scrubben	RENURE
Struviet	RENURE
Pyrolyse	Omzetting naar NO _x en (onschadelijk) N ₂ gas
Afvoeren mest	Centrale mestbewerking

De mestvervaardingsroutes zijn schematisch weergegeven in Figuur 5.4. Naast het verminderen van het stikstofoverschot, worden met deze mestbewerkingsroutes ook ammoniakemissie in meer of mindere mate verminderd. Pyrolyse en struviet-productie zijn in deze mestroutes niet meegenomen, omdat dit (nog) niet wordt toegepast op rundveemest.



Figuur 5.4 Schematische weergave van de drie mestvervaardingsroutes om het stikstofoverschot op bedrijfsniveau te verlagen.

5.3.1 Scheiding + biologische mestzuivering

Bij biologische mestzuivering wordt ammonium in de mest via nitrificatie en denitrificatie omgezet in niet schadelijk stikstofgas (N_2). Hierdoor wordt het stikstofoverschot op het bedrijf verkleind, zonder dat dit negatieve gevolgen heeft voor het milieu. Alleen de dunne fractie van mest is geschikt om op deze manier te behandelen. Daarom past deze techniek bij een bedrijf waar mest aan de bron wordt gescheiden. Een regulier bedrijf met drijfmest of een bedrijf met dagontmesting is ook geschikt, alleen zal de drijfmest dan eerste mechanisch moeten worden gescheiden in een dikke en dunne fractie, waarna de dunne fractie biologisch gezuiverd kan worden. Wat overblijft is een dikke fractie, rijk aan organische stof en fosfaat en een effluent, rijk aan kali.

5.3.2 Scheiding + strippen scrubben

Door de dunne fractie te strippen en scrubben kan de ammoniakale stikstof uit de dunne fractie worden gewonnen en een ammoniumzout (meestal ammoniumsulfaat) worden gemaakt. Dit wordt gezien als een kunstmestvervanger (RENURE), waardoor het niet meetelt in de gebruiksruijme voor dierlijke mest. Ook in deze route dient mest aan de bron of mechanisch gescheiden te zijn, waarna de dunne fractie kan worden behandeld. Wat overblijft is een dikke fractie, rijk aan organische stof en fosfaat, een stikstofrijke kunstmestvervanger en een kalirijk effluent.

5.3.3 Scheiding + filter + omgekeerde osmose

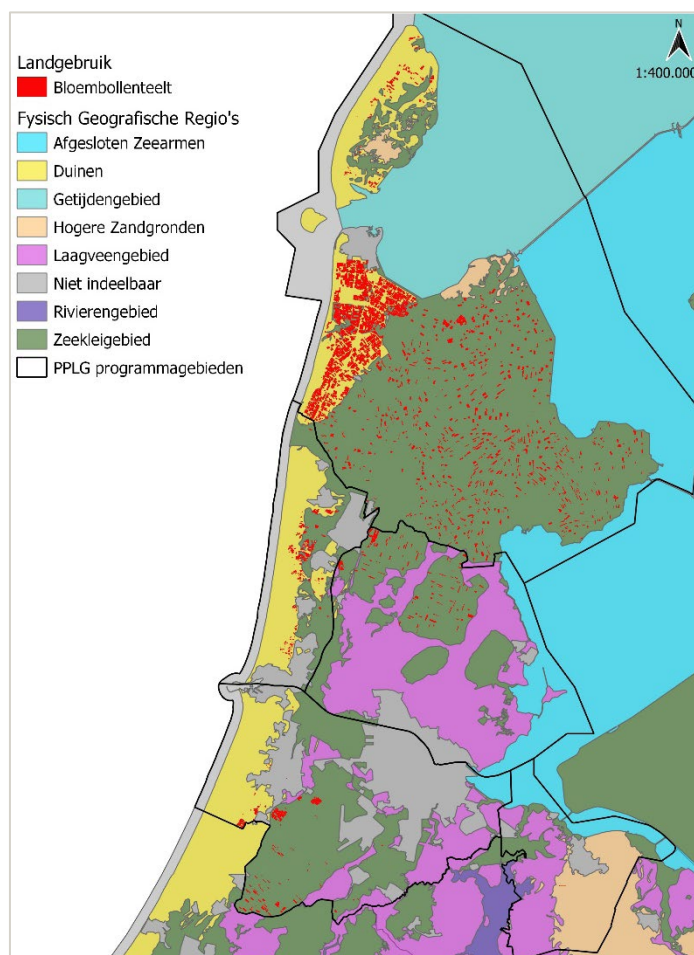
Met de dunne fractie kan door middel van omgekeerde osmose een mineralenconcentraat worden gemaakt. Hiervoor dient de dunne fractie vooraf gefilterd te worden, zodat er geen organische stof meer in de dunne fractie zit. Wanneer mineralenconcentraat wordt erkend als kunstmestvervanger (RENURE), mag het buiten de gebruiksruijme voor dierlijke mest worden gebruikt. Wat overblijft is een dikke fractie, rijk aan organische stof en fosfaat, een mineralenconcentraat, rijk aan stikstof en kali en schoon water, dat op het oppervlakte water geloosd kan worden.

6 Potentie mestproducten voor bollenteelt, glastuinbouw en akkerbouw

6.1 Omschrijving doel

6.1.1 Bloembollenteelt

De bloembollenteelt is sterk geconcentreerd in Noordwest-Nederland. In Noord-Holland werd in 2022 circa 13.400 hectare gebruikt om bloembollen te telen en tulp is veruit het meest geteelde bloembollengewas (64%) (Agrimatie, 2022d). Figuur 6.1 laat zien dat de meeste bollenteelt plaatsvindt op zandgrond in de kop van Holland en langs de kust. Zandgronden zijn geschikt voor bollenteelt, omdat deze bodem luchtig blijft bij hoge grondwaterstanden (Bokhorst et al., 2008). In kleinere mate worden ook bloembollen geteeld verder weg van de kust, vooral op kleigrond (Figuur 6.1). Deze grondsoort heeft vaak een hoger organische stofgehalte, maar de kans op slechte ontwatering of verdroging is ook groter (Bokhorst et al., 2008).



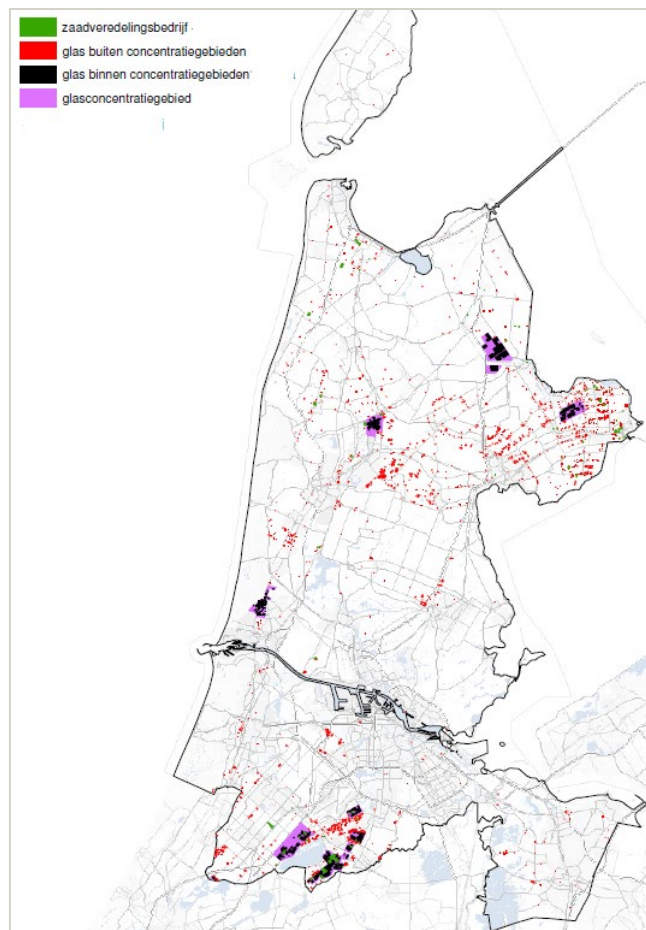
Figuur 6.1 De locaties in Noord-Holland waar bloembollen worden geteeld (rood), op basis van het Basisbestand Agrarische Bedrijfsgegevens. De onderliggende kleuren geven de grondsoort aan.

In Noord-Holland worden naast tulpen ook hyacinten, narcissen en lelies geteeld. Als meststof wordt rundveemest en GFT-compost gebruikt, maar vanwege de wettelijke gebruiksnormen wordt steeds meer GFT compost gebruikt in plaats van rundveemest. Dit komt omdat slechts 25% van de fosfaat in GFT-compost meetelt voor de gebruiksnorm (RVO, 2023). Doordat de totale fosfaatgift wordt beperkt door de gebruiksnorm, kan er ook maar een beperkte hoeveelheid organische stof worden toegevoerd. De minimale

streefwaarde is 1,1% organische stof in de bodem op zee- en duinzand, maar meer zou beter zijn (Bokhorst et al., 2008). De bloembollenteelt heeft dus behoefte aan een meststof met veel organische stof en weinig fosfaat.

6.1.2 Glastuinbouw

In 2021 werd in de provincie Noord-Holland 1.056 hectare gebruikt voor glastuinbouw (Agrimatie, 2022e). Dit is verdeeld over 444 bedrijven, wat samen ongeveer 13% van alle glastuinbouwbedrijven in Nederland is. Ongeveer de helft van het areaal voor glastuinbouw wordt gebruikt voor groententeelt en de andere helft voor bloemeteelt. De glastuinbouw in Noord-Holland is geconcentreerd in een aantal gebieden, maar komt ook verspreid voor (Figuur 6.2). De concentratiegebieden liggen in de Greenports Aalsmeer en Noord-Holland Noord.



Figuur 6.2 Fysieke oppervlakte glastuinbouw binnen en buiten de concentratiegebieden in Noord-Holland in 2016 (Kadaster, top10NL (GIAB), verkregen uit Agrimatie, 2022d).

De glastuinbouw gebruikt veel energie, onder andere voor verwarming van de kassen. De glastuinbouw in Noord-Holland gebruikt ongeveer 20 PJ energie per jaar, wat vergelijkbaar is met het energieverbruik van 400.000 huishoudens (Provincie Noord-Holland, 2024b). De ambitie van de glastuinbouwsector in Nederland is om in 2040 klimaatneutraal te produceren en deze energietransitie is momenteel in volle gang (Glastuinbouw Nederland, 2023). Het energieverbruik in de landelijke glastuinbouw neemt af (Smit, 2023) en er wordt geïnvesteerd in duurzame energiebronnen, zoals aardwarmte en biobrandstoffen.

Over het algemeen is de glastuinbouw erg nutriëntefficiënt, omdat nutriënten worden gerecicleerd (van der Lugt, 2022). Vrijwel alle nutriënten uit de toegediende meststoffen worden omgezet tot eindproduct en deze producten verlaten het bedrijf. De rest van de nutriënten komt terecht in de restmassa (stengels, blad, wortels, groeimateriaal). Er zijn twee soorten restmassa, namelijk restmassa aan het eind van de teelt en restmassa gedurende de teelt. Restmassa aan het eind van de teelt wordt uit de kas verwijderd en afgevoerd naar composteringsbedrijven. Restmassa die tijdens de teelt ontstaat kan bewust worden verzameld en afgevoerd of het blijft liggen en verteert ter plaatse. Het is afhankelijk van de teelt hoeveel restmassa er achterblijft. Bij vruchtgroenten (bijvoorbeeld tomaten, komkommer, aubergine) worden de vruchten geoogst

en de groene gewasdelen blijven achter, bij bladgewassen (zoals sla) wordt het hele gewas geoogst, bij bloemen wordt de bloem met bloemsteel geoogst en afhankelijk van het bloemsoort blijft het blad achter en bij potplanten wordt de hele plant inclusief wortels en groeimedium geoogst en blijft er niks achter.

Ondanks het efficiënte nutriëntgebruik is de keten niet circulair, omdat nutriënten voornamelijk worden aangevoerd in de vorm van kunstmest. Voor fosfor (P) en kalium (K) betekent dit dat mijnen op den duur uitgeput zullen raken. Stikstof (N) kunstmest wordt gemaakt door stikstofgas uit de lucht vast te leggen. Voor dit proces worden echter veel fossiele grondstoffen (in de vorm van aardgas) gebruikt. Voor een circulaire glastuinbouw is het noodzakelijk om onafhankelijk te worden van kunstmest en andere meststoffen te ontwikkelen op basis van bijvoorbeeld dierlijke mest, voedsel- en groenafval of zuiveringswater en -slib. Tegelijkertijd moeten deze meststoffen toepasbaar zijn in de teeltsystemen van de glastuinbouw en de kwaliteit moet gewaarborgd blijven om efficiënt gebruik en (voedsel)veiligheid te garanderen.

Meststoffen die worden gebruikt in de glastuinbouw komen grofweg in twee vormen voor: vaste meststof met langzame afgifte van nutriënten en oplosbare meststof met snel beschikbare nutriënten. Bij de oplosbare meststof is het van belang dat deze geen vezelachtige deeltjes bevat, zodat het kan worden verspreid via een irrigatiesysteem (van Dijk et al., 2020). Wat daarnaast belangrijk is, is dat de mest schoon is en geen ziekten bevat. In de glastuinbouw word meer dan €50/m² omgezet, dus het binnenbrengen van een ziekte kan grote financiële gevolgen hebben. Daarnaast wordt het gebruik van mineralen uit dierlijke mest ingeperkt door Europese regelgeving.

6.1.3 Akkerbouw

Naast het grote aandeel glastuinbouw heeft Noord-Holland ook meer akkerbouwbedrijven dan het landelijk gemiddelde. Het areaal akkerbouwgewassen in Noord-Holland ligt de laatste jaren rond 30.000 hectare (Agrimatie, 2022f). Kenmerkend voor de provincie Noord-Holland is het grote aandeel pootaardappelen in het bouwplan (Tabel 6.1), omdat pootaardappelen worden geteeld op kleigrond en daarnaast is de luizendruk lager in kustgebieden (Agrimatie, 2022f). Verder bestaat het bouwplan voor een kwart uit tarwe.

Tabel 6.1 Verdeling bouwplan akkerbouw in Noord-Holland in 2021 (CBS, 2022) en de stikstof (N) en fosfaat (P₂O₅) gebruiksnormen (RVO, 2024a,b).

Gewas	Hectare	Percentage in bouwplan	N-gebruiksnorm (kg/ha)		P ₂ O ₅ -gebruiksnorm (kg/ha) ⁹
			Kleigrond	Veengrond	
Tarwe	7.522	25%	150 ¹ 150 ²	140 ¹ 245 ²	40 - 80
Pootaardappelen	6.753	23%	100 - 140 ³	100 - 140 ³	40 - 80
Suikerbieten	4.728	16%	150	145	40 - 80
Mais	4.293	14%	160 ⁴ 185 ⁵	150 ⁴ 150 ⁵	40 - 80
Consumptie aardappelen	2.565	9%	225 - 275 ³	220 - 270 ³	40 - 80
Uien	2.212	7%	120 - 170 ⁶	120 - 160	40 - 80
Gerst	1.257	4%	140 ⁷ 80 ⁸	140 ⁷ 80 ⁸	40 - 80
Overige akkerbouwgewassen	566	2%			
Totaal	29.896	100%			

¹Zomertarwe, ²Wintertarwe, ³Afhankelijk van het aardappelras, ⁴Zonder derogatie, ⁵Met derogatie, ⁶Afhankelijk van type ui (zaaiui, winterui, overig), ⁷Wintergerst, ⁸Zomergerst, ⁹Afhankelijk van de fosfaattoestand van de bodem (RVO, 2024)

In de akkerbouw wordt de stikstofbemesting vaak opgedeeld in een basisbemesting en 1 à 2 bij-bemestingen. De basisbemesting bestaat uit zoveel mogelijk organische, dierlijke mest en hiermee wordt aan een deel van de N-behoefte en de volledige P- en K-behoefte voldaan. Hiervoor wordt vaak gebruikt gemaakt van rundvee- of varkensdrijfmest of de dunne fractie van varkensdrijfmest, waarbij rundvedrijfmest de basisbehoefte aan CNPK het beste dekt (van Dijk et al., 2020).

Voor de bij-bemesting worden vooral geconcentreerde kunstmeststoffen gebruikt om aan de N-behoefte te voldoen. Wanneer de dunne fractie van varkensdrijfmest is gebruikt als basisbemesting, is aanvullend ook behoefte aan bij-bemesting van kalium. Om de kunstmestproducten te vervangen door mestproducten moet

aan een aantal voorwaarden worden voldaan. De belangrijkste voorwaarden zijn een voldoende hoog stikstofgehalte en een constante kwaliteit. Daarnaast gaat de voorkeur uit naar dunne mestproducten die met een sleepslangen aanvoersysteem kunnen worden toegediend, omdat zware mesttanks te veel insparing geven (van Dijk et al., 2020).

De fosfaatbemesting op akkerbouwbedrijven in 2021 in Noord-Holland komt voor 60% uit dierlijke mest, 21% uit kunstmest en voor 19% uit overige organische mest (Agrimatie, 2023a). De stikstofbemesting daarentegen komt voor slechts 35% uit dierlijke mest en meer dan de helft komt uit kunstmest (Agrimatie, 2023b). Om meer (bewerkte) dierlijke mest in de akkerbouw in Noord-Holland te kunnen gebruiken, is er behoefte aan een stikstofrijke meststof met weinig fosfaat, eventueel met kalium.

6.2 Mogelijke technieken

Uit de voorgaande paragraaf blijkt dat de verschillende sectoren behoefte hebben aan verschillende mestproducten. De bloembollenteelt heeft vooral behoefte aan een meststof met veel organische stof en weinig fosfaat. In de glastuinbouw wordt een vaste meststof gebruikt met langzame afgifte van nutriënten bij volleggrondsteelten en een oplosbare meststof met snel beschikbare nutriënten bij substraatteelten. Wat hierbij wel van belang is, is dat de oplosbare meststof geen vezelachtige deeltjes bevat en dat het geen bacteriën of ziekten bevat. Om meer dierlijke mest in de akkerbouw te kunnen gebruiken, is er behoefte aan een stikstofrijke meststof met weinig fosfaat, eventueel met kalium. De technieken om deze mestproducten te maken zijn in eerdere hoofdstukken van deze rapportage beschreven. In dit hoofdstuk wordt toegelicht welke van deze technieken gebruikt kunnen worden om mestproducten voor de bloembollenteelt, glastuinbouw en akkerbouw te maken en voor de beschrijving van de technieken wordt verwezen naar eerdere hoofdstukken.

Mestproduct bloembollenteelt: rijk aan organische stof, weinig fosfaat

Drijfmest kan worden bewerkt tot een mestproduct wat rijk is aan organische stof en weinig fosfaat bevat. Dit kan door drijfmest te composteren of door drijfmest eerst te scheiden in een dikke en dunne fractie en vervolgens de dikke fractie te composteren (zie Hoofdstuk 3). Gecomposteerde mest bevat veel (stabiele) organische stof. In Hoofdstuk 8 wordt het Repeat systeem beschreven, waarbij fosfaat uit de mest gehaald wordt. De fosfaatarme stroom die hierbij ontstaat zou goed kunnen aansluiten bij dergelijke teelten. Daarnaast kan stro aan de mest worden toegevoegd om stromest te maken (zie Hoofdstuk 3). Door de toevoeging van stro wordt het organische stofgehalte verhoogd. Daarnaast telt fosfaat uit stromest maar voor 75% mee voor de fosfaatgebruiksnorm (RVO, 2023). Momenteel wordt vooral GFT-compost in de bollenteelt gebruikt, omdat de fosfaat in GFT-compost maar voor slechts 25% meetelt voor de gebruiksnorm. Dit maakt het lastig om rundveemest in te zetten in de bollenteelt. Tabel 6.2 laat zien dat rundveedrijfmest, potstalmest en dikke fractie na mechanische scheiding een redelijke hoeveelheid organische stof en maar weinig fosfaat bevatten. Echter, doordat de fosfaat voor 100% meetelt voor de gebruiksnorm, kan er met rundveemest of dikke fractie veel minder organische stof worden toegediend.

Tabel 6.2 Samenstelling van verschillende vaste mestsoorten en hoeveel organische stof (OS), stikstof (N-totaal) en fosfaat (P_2O_5) wordt toegediend per hectare uitgaande van de gebruiksnormen voor tulpen (190 kg N/ha en 40 kg P_2O_5 /ha).

	Samenstelling (kg/ton) ¹			Toediening (kg/ha)		
	OS	N-tot	P2O5	OS	N-tot	P2O5
GFT compost	242	8,9	4,4 ³	5.166	190	23
Rundveedrijfmest	71	4	1,5	1.893	107	40
Potstal/vrijloopstal	155	5	2,5	2.480	80	40
Vaste mest met stro	159	4,9	3,5 ²	2.423	75	40
Vaste mest met bermgras, houtsnippers, stro	222	7,4	5,9	1.505	50	40
Dikke fractie, vijzelpers	169	5,1	2,4	2.817	85	40

¹ Wit et al. (2020), ² fosfaat uit stromest telt voor 75% mee, ³ fosfaat uit GFT-compost telt voor 25% mee

Mestproduct glastuinbouw: oplosbaar met snel beschikbare nutriënten (zuiver)

Door een dunne fractie (na bronscheiding of mechanische scheiding) door middel van omgekeerde osmose te filteren, ontstaat een vloeibaar mineralenconcentraat rijk aan stikstof en kali (zie Hoofdstuk 5). Vanwege het filterproces voorafgaand aan de omgekeerde osmose, bevat de vloeistof nagenoeg geen vezels, wat het potentieel geschikt maakt voor het irrigatiesysteem in kassen. De stikstof en kali in mineralenconcentraat na omgekeerde osmose is beschikbaar voor de plant, waardoor de bemestende waarde hoger ligt dan bij onbewerkte mest (Nutriman, 2021). Naast mineralenconcentraat wordt bij omgekeerde osmose ook water geproduceerd, wat eventueel ook in de glastuinbouw gebruikt kan worden.

Een andere vloeibare meststof is urine uit het koetoilet (zie Hoofdstuk 2.2). Doordat circa 35% van de urine wordt opgevangen, krijgt de drijfmest in de kelder een andere samenstelling. Het bevat meer droge stof en fosfaat en minder stikstof en kali vergeleken met reguliere drijfmest (De Boer, 2023). De opgevangen urine is juist rijk aan stikstof en kali (Van Boxmeer et al., 2023), wat het mogelijk geschikt maakt als vloeibare meststof in de glastuinbouw. Wel zal enige mate van voorbereiding nodig zijn om bijvoorbeeld vezels, onopgeloste zouten en micro-organismen uit de urine te filteren. Mogelijkheden hiervoor kunnen de membranen bij ultrafiltratie en omgekeerde osmose zijn, omdat deze theoretisch gezien fijn genoeg zijn om ook bacteriën uit dunne mestfracties te filteren. Hierdoor wordt eventuele verspreiding van ziekten verkleind, maar in de praktijk kan het zijn dat bij mestbewerking niet alle micro-organismen uitgefilterd worden (Hoeksma et al., 2021a en 2021b).

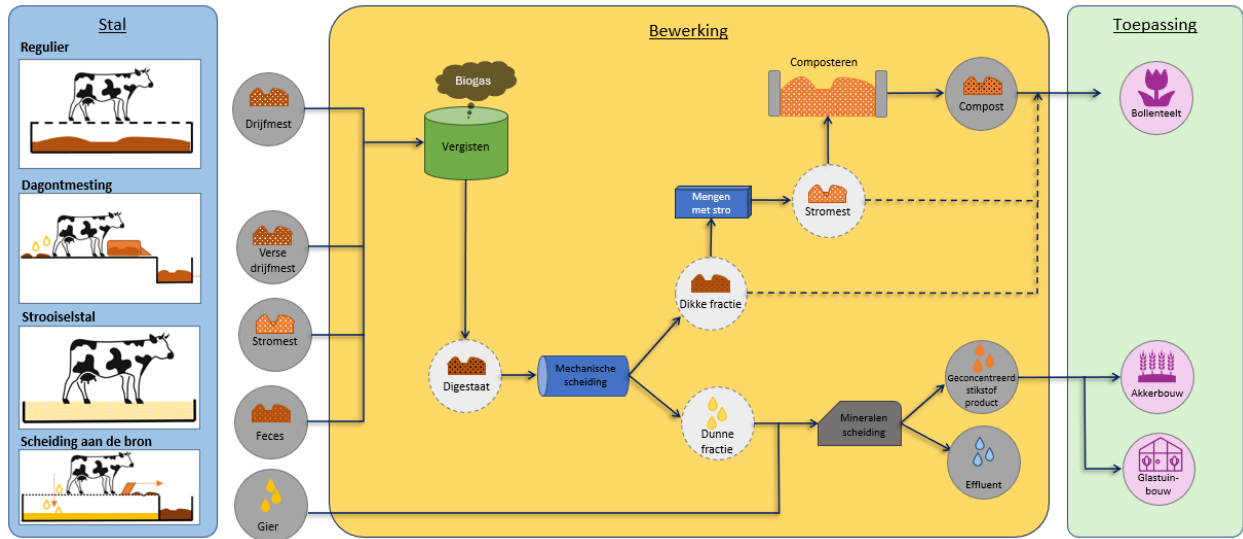
Over de inzet van dergelijke producten in de glastuinbouw is nog weinig informatie uit de praktijk bekend. Mogelijk is ook het beluchten van dergelijke fracties nodig om de ammoniak om te zetten in een nitraat meststof.

Mestproduct akkerbouw: stikstofrijk met eventueel kali, weinig fosfaat (onzuiver)

Voor de basisbemesting in de akkerbouw wordt vaak al gebruik gemaakt van rundveedrijfmest. Aanvullend is er behoefte aan een stikstofrijk mestproduct met weinig fosfaat. Dit kan worden verkregen door drijfmest mechanisch te scheiden (zie Hoofdstuk 4). Dit geeft een dunne fractie rijk aan stikstof en kali, terwijl de organische stof en het fosfaat in de dikke fractie terecht komen. De dunne fractie kan vervolgens nog worden geconcentreerd door te strippen en scrubben (zie Hoofdstuk 4). De dunne fractie kan ook worden gefilterd door omgekeerde osmose (Hoofdstuk 5). Het mineralenconcentraat is rijk aan stikstof en kali. De N-werkingscoëfficiënt van (geïnjecteerde) mineralenconcentraat is vergelijkbaar met kunstmest (Rietra & Velthof, 2014).

6.3 Mestroutes

De bollenteelt, glastuinbouw en akkerbouw hebben verschillende behoeften. Mest uit de melkveehouderij kan bijdragen om aan deze behoeften te voorzien en hierbij kan mestvergisting een belangrijke rol spelen. Smit et al. (2024) hebben de businesscase en stoffenbalans van verschillende scenario's met mestvergisting geanalyseerd. Figuur 6.3 laat zien dat mestbewerkingroutes met vergisting kunnen leiden tot verschillende mestproducten die geschikt zijn voor bollenteelt, akkerbouw en glastuinbouw en melkveemest op deze manier volledig kan worden gebruikt. Het digestaat kan worden gebruikt voor de basisbemesting in de akkerbouw of het kan verder worden verwerkt. Door het digestaat te scheiden in een dikke en dunne fractie, kan de dikke fractie, eventueel gemengd met stro en al dan niet gecomposteerd, worden gebruikt als organische meststof in de bollenteelt. De dunne fractie kan verder worden bewerkt tot stikstofmeststof voor de akkerbouw of glastuinbouw. Daarnaast kan het geproduceerde biogas worden gebruikt in de glastuinbouw om kassen te verwarmen of bij opwerking naar groen gas kan het geproduceerde CO₂ ingezet worden voor de gewassen. Deze mestroute kan ook gevolgd worden met innovatieve stalsystemen. Bij het koetoilet kan de urine fractie verwerkt worden tot stikstofmeststof en de overige drijfmest kan worden vergist. Bij scheiding aan de bron kan de dunne fractie verder worden verwerkt tot stikstofmeststof en kan de dikke fractie worden vergist. Ook stalsystemen met dagontmesting kunnen deze route volgen en verse mest geeft daarnaast een verhoogde biogasopbrengst. Ook strooistelstallen, zoals een vrijloopstal, kunnen bij deze route aansluiten via vergisting of compostering.



Figuur 6.3 Schematische weergave van mestvervaardingsroutes om mestproducten voor de bollenteelt, akkerbouw en glastuinbouw te maken.

7 Uitwerking mestbewerkingsroutes

Van de mestbewerkingstechnieken die in Hoofdstuk 3 t/m 6 beschreven zijn, is een drietal mestbewerkingsroutes geselecteerd voor verdere uitwerking middels modelleringen. Deze routes staan omschreven in Tabel 7.1. Om tot drie mestbewerkingsroutes te komen is als volgt geredeneerd:

- Mestbewerking zal vooral interessant zijn als deze een oplossing biedt voor de overschotten aan stikstof in dierlijke mest.
- Voor grote melkveehouderijen met meer dan 250 melkkoeien is vergisten en verdere mestbewerking een reële optie (Smit et al., 2024).
- Centrale mestbewerking (vergisting en verdere mestbewerking) kan bijdragen aan het oplossen van de mestoverschotten bij melkveehouders. Wel dient dan voldoende dierlijke mest beschikbaar te zijn in de regio van een dergelijke centrale mestverwerker.
- Voor de modellering in voorliggende rapportage is gezocht naar oplossingen voor de kleine tot middelgrote bedrijven, die niet in de buurt van een centrale mestbewerking zitten.
- De uit te werken mestbewerkingsroutes moeten praktisch haalbaar zijn. Dit betekent lage investeringskosten en zo min mogelijk aanpassingen op het melkveebedrijf. Hiervoor zijn de SWOT-analyses gebruikt, maar ook de opgedane kennis uit voorgaande modelleringen (Gollenbeek et al., 2022 en praktijkcases NL Next Level Mestverwaarding).

Tabel 7.1 Scenario's die door middel van modellering uitgewerkt zijn.

Scenario	Uitgangspunten
0a Referentie	Regulier geen maatregelen
0b Referentie	Emissiearme stal
1 Scheiden +dikke fractie composteren	Dikke fractie naar centrale composteerder
2 Biologisch aanzuren + vergisten	Aanzuren in mestkelder met melasse, vergisten op eigen bedrijf of centraal
3 Scheiden + strippen scrubben	Dunne fractie strippen → Ammoniumsulfaat RENURE

Vanuit de SWOT-analyses en de beschrijvingen van de mestbewerkingsmogelijkheden kwam het mechanisch scheiden van de drijfmest en het composteren van deze dikke fractie tot een product dat ingezet kan worden in de akkerbouw en bollenteelt als interessante mestbewerking naar voren (Hoofdstuk 6). Daarnaast kwam composteren positief uit de SWOT-analyse voor natuurinclusiviteit (Hoofdstuk 3, Bijlage 1). Wel moet gezegd worden dat uiteindelijk is gekozen voor een mestroute met compostering op een centrale plek, zodat een hoogwaardige manier van composteren mogelijk is (Scenario 1). Hiermee worden emissies tijdens het composteren geminimaliseerd en de investering op het boerenbedrijf blijft beperkt tot een mechanische mestscheider. Doordat de dikke fractie van het bedrijf wordt afgevoerd, leidt deze mestroute ook tot het verminderen van het stikstofoverschot op bedrijfsniveau. Dit zou een oplossing kunnen zijn voor de kleine tot middelgrote melkveehouderijen. Bij centrale compostering wordt de lucht gewassen en ontstaat ook een RENURE product wat de druk op de mestmarkt af kan laten nemen. Het gebruik van chemicaliën sluit echter minder aan bij het idee van een natuurinclusieve melkveehouderij.

Ook het verlagen van de emissies is een belangrijke opgave. Uit de SWOT-analyse bleek dat het aanzuren van mest een eenvoudige manier is om de ammoniak- en methaanemissies uit de stal te verlagen. Wel bestaan er enkele bezwaren tegen het gebruik van sterke zuren, zoals zwavelzuur. Als oplossing hiervoor is gekozen voor een route waarbij de drijfmest in de stal biologisch wordt aangezuurd door middel van het toevoegen van melasse. Omdat met mestvergisting de kosten van aanzuren met organische zuren mogelijk weer terugverdiend kan worden, is ook mestvergisting meegenomen in deze route (Scenario 2).

Het maken van kunstmestvervangers (RENURE) is een belangrijke oplossingsrichting voor het wegwerken van een stikstofoverschot op bedrijfsniveau. Voor de kleine tot middelgrote melkveehouderijen is het niet rendabel om op het eigen bedrijf mineralen concentraten te gaan produceren met omgekeerde osmose of om een strip/scrub installatie te exploiteren. Daarom is gekozen voor het uitwerken van een mestbewerkingsroute waarbij een mobiele strip/scrub installatie wordt ingezet bij meerdere middelgrote

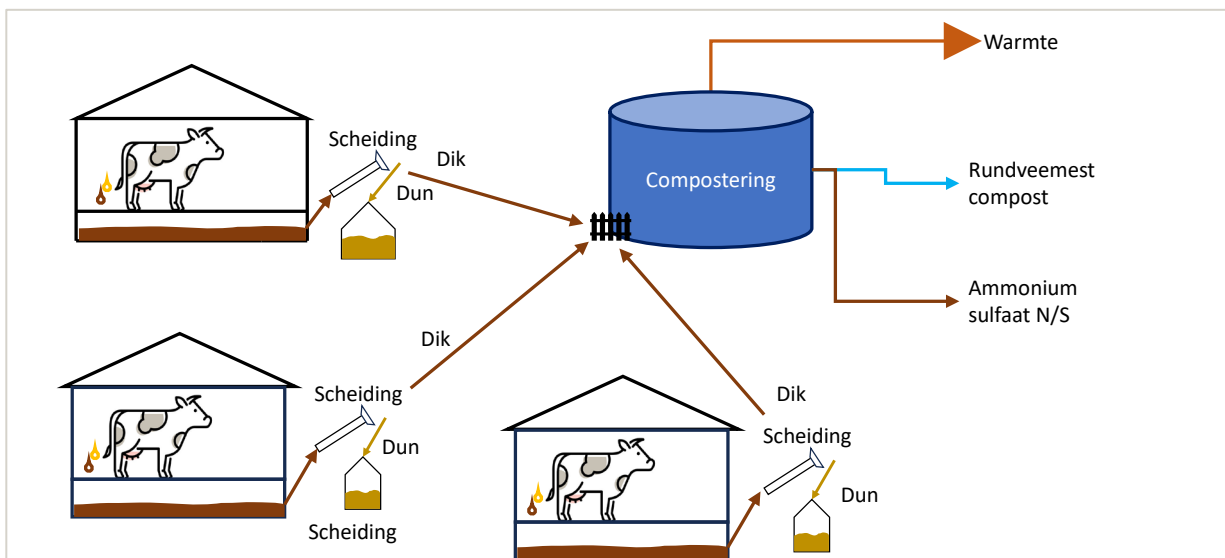
melkveehouderijen, zodat de investeringskosten kunnen worden gedeeld (Scenario 3). Wel is er sprake van een productieverlies vanwege het op- en afbouwen van de installatie.

In dit hoofdstuk zijn de resultaten opgenomen van exploitatie- en emissieberekeningen van de drie scenario's. De scenario's zijn doorgerekend voor een melkveebedrijf met 100 melkkoeien en 84,2 hectare grond, waarvan 77,3 hectare grasland. Met betrekking tot de gebruikruimte dierlijke mest is uitgegaan 170 kg N per hectare. Dit is de gebruiksnorm voor stikstof die van toepassing is na afbouw van de derogatie (Hoofdstuk 2.3). Voor de toegepaste berekeningsmethoden wordt verwezen naar Smit et al. (2024). Aanvullende uitgangspunten specifiek voor de drie mestroutes zijn weergegeven in Bijlage 3.

7.1 Beschrijving scenario's

Scenario 1: Centraal composteren

In dit scenario wordt de mest van het melkveebedrijf gescheiden met behulp van een vijzelpers (Figuur 7.1). De dunne fractie wordt op het bedrijf opgeslagen en toegepast voor bemesting op het eigen land. De dikke fractie gaat naar een centrale composteersinstallatie. De melkveehouder betaalt transportkosten en een poorttarief aan de composteerder. Hierbij is er vanuit gegaan dat het poorttarief marktconform doorberekend wordt en het melkveebedrijf dezelfde kosten heeft bij afvoer naar de composteerder als bij afvoer via reguliere mestafzet. Bij de emissieberekening is uitgegaan van het bestaande stalsysteem waarbij nog geen emissie beperkende maatregelen zijn genomen. Bij de centrale composteersinstallatie wordt naast de gecomposteerde dikke fractie ook warmte en ammoniumsulfaat geproduceerd. De warmte is in te zetten als 'groene' warmte. Een alternatief zou het inzetten van een feces fractie kunnen zijn die verkregen wordt met bijvoorbeeld een scheidende vloer. Dergelijke feces fracties hebben wel een andere samenstelling dan een met vijzelpers verkregen dikke fractie.



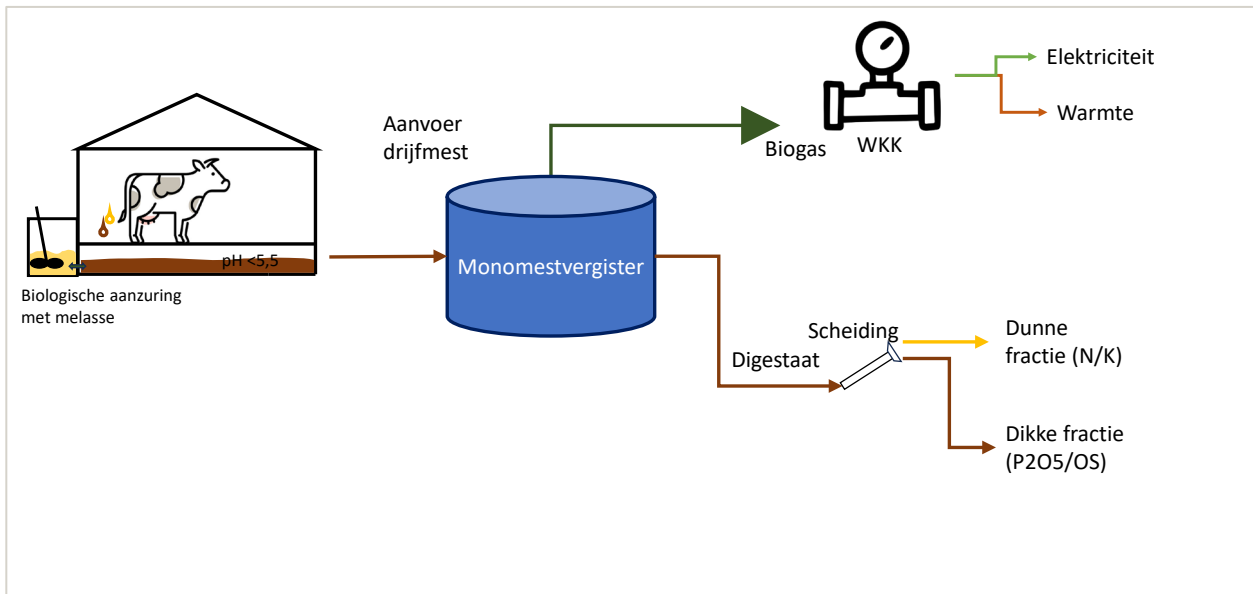
Figuur 7.1 Schematische weergave mestbewerking met centrale compostering van de dikke fractie.

Dit scenario maakt het melkveebedrijf minder gevoelig voor ontwikkelingen op de mestmarkt. Een voorwaarde voor dit scenario is uiteraard dat een faciliteit voor het composteren van mest aanwezig is, dan wel mogelijk gemaakt wordt.

Scenario 2: Aanzuren

Dit scenario gaat uit van toepassing van biologisch aanzuren van de mest in de stal, het vergisten van de aangezuurde mest en vervolgens het scheiden van het digestaat (Figuur 7.2). Bij biologisch aanzuren wordt een makkelijk afbreekbare koolstofbron (bijvoorbeeld melassestroop) gemengd met de mest in de mestput. De makkelijk afbreekbare suikers worden omgezet in organische zuren, waardoor de pH van de mest in de mestkelder daalt en emissie van ammoniak wordt tegengegaan. De geproduceerde organische zuren leveren bij vergisting van de mest extra biogas op. Het digestaat wordt gescheiden, waarna de dikke fractie deels

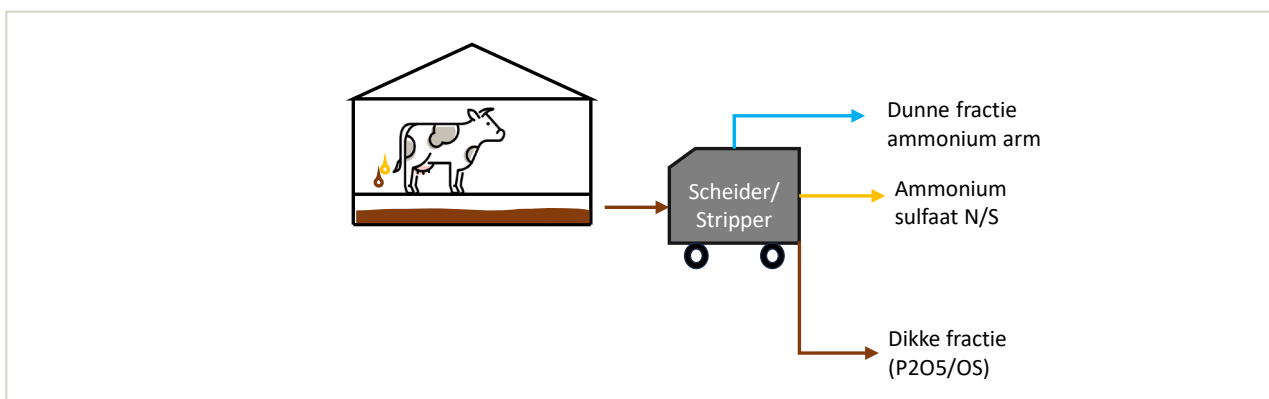
wordt afgevoerd. Door het scheiden van het digestaat wordt een deel van de stikstof via de dikke fractie van het bedrijf afgevoerd.



Figuur 7.2 Schematische weergave mestbewerking biologisch aanzuren en mestvergisting.

Scenario 3: Strippen scrubben

In dit scenario huurt het melkveebedrijf een extern bedrijf in, dat met behulp van een mobiele scheider en een mobiele strip/scrub installatie de stikstof uit de mest verwijderd. Deze mobiele scheider en strip/scrub installatie wordt op meerdere bedrijven ingezet zodat ook kleine tot middelgrote melkveehouderijen kunstmestvervangers (RENURE) kunnen produceren in de vorm van een ammoniumsulfatoplossing (Figuur 7.3). De investeringskosten worden dan gedeeld. Wel is er sprake van een productieverlies vanwege het open afbouwen van de installaties. Er wordt precies zoveel stikstof uit de mest verwijderd, zodat (indien mogelijk) alle mest op het eigen land kan worden aangewend. Aangezien slechts een beperkte hoeveelheid stikstof verwijderd hoeft te worden, hoeft niet alle mest te worden behandeld. De stikstofarme dunne fractie en vaste mestfractie worden gemengd met de niet behandelde drijfmest en op het eigen land onder de gebruiksnorm voor dierlijke mest aangewend. De RENURE meststof wordt binnen de stikstofruimte voor kunstmest ingezet tot een maximum van 100 kg N per hectare. De melkveehouder betaalt een tarief voor de dienst van de exploitant van de mobiele mestbehandeling. Bij de emissieberekening is uitgegaan van het bestaande stalsysteem waarbij nog geen emissiebeperkende maatregelen zijn genomen.



Figuur 7.3 Schematische weergave mestbewerking mobiel scheiden, strippen en scrubben.

7.2 Exploitatie

Centraal composteren

De benodigde investering voor de mestscheider, bijkomende kosten voor pompen en leidingen en een plateau en bunker voor opslag van de dikke fractie zijn geraamd op circa 47.000 euro. Er is uitgegaan van voldoende opslagcapaciteit voor de dunne mestfractie op het melkveebedrijf. Een andere mogelijkheid is het toepassen van een bronscheiding, maar dit is in deze studie niet meegenomen.

Ten opzichte van het referentiescenario, waarbij de mest niet wordt gescheiden, worden in scenario 1 extra kosten gerekend voor energie, arbeid, onderhoud en afschrijving van de mestscheider. Deze kosten staan tegenover extra inkomsten door vermeden inkoop van kunstmest en vermeden mestafzetkosten. De vermeden kunstmestinkoop betreft het inzetten van meer dierlijke mest op het eigen bedrijf, waardoor binnen de geldende gebruiksnormen meer fosfaat en stikstof op eigen land toegepast kan worden. De dikke fractie wordt afgevoerd naar de composteerder voor hetzelfde poorttarief als de afvoer van drijfmest in het referentiescenario. Alleen de dunne fractie wordt aangewend op het eigen land, waardoor er ruimte ontstaat om drijfmest aan te voeren (-€8/ton).

De exploitatiekosten nemen bij de gekozen uitgangspunten marginaal toe ten opzichte van de situatie waarbij geen scheiding op het bedrijf plaatsvindt (Tabel 7.2). Bij intensievere bedrijven en/of bij hogere mestafzetprijzen kan een financieel voordeel ontstaan van enkele duizenden euro's per jaar.

Tabel 7.2 Exploitatie van scenario 1: mechanische scheiding op het bedrijf en het centraal composteren van de dikke fractie.

Kosten	€/jaar	€/ton	€/Melkkoe
Energie	590	0,18	5,90
Hulpstoffen	0,00	0,00	0,00
Arbeid	390	0,12	3,90
Onderhoud en overige bedrijfskosten	1.596	0,49	15,96
Afschrijving en financiering	4.960	1,51	49,60
Totaal kosten	7.536	2,30	75,36
Opbrengsten			
Vermeden inkoop kunstmest	975	0,30	9,75
Vermeden mestafzetkosten	4.019	1,23	40,19
Totaal opbrengsten	4.995	1,52	49,95
Opbrengsten minus kosten	-2.541	-0,77	-25,41

Aanzuren

De investering voor het biologisch aanzuren, vergisten met Warmte Kracht Koppeling (WKK) toepassing en het scheiden van de mest vraagt voor een bedrijf met 100 melkkoeien een investering van circa 470.000 euro. In dit scenario worden extra kosten gemaakt ten opzichte van het referentiescenario voor energie, hulpstoffen, arbeid, onderhoud en afschrijving voor de vergister en mestscheider. Daartegenover staan inkomsten door vermeden kosten voor inkoop van warmte en stroom, opbrengsten door afzet van energie en vermeden mestafzetkosten. Om de vergistingsinstallatie draaiend te houden is energie nodig, maar het proces levert via de WKK ook warmte en energie op. De warmte en energie die worden geproduceerd door de WKK en niet nodig zijn voor het vergistingsproces, worden afgezet op het energienet. Er worden geen kosten voor inkoop kunstmest vermeden, maar de samenstellingen van de eindproducten zijn iets ongunstiger dan in het referentie scenario.

De exploitatie is bij de gekozen uitgangspunten en bedrijfsgrootte min of meer break-even ten opzichte van de situatie zonder toepassing van biologisch aanzuren, vergisten en scheiden (Tabel 7.3). Dit betekent dat de emissiereductie in de stal en de beperking van risico's ten aanzien van mestafzet van dit scenario niet of nauwelijks tot extra exploitatiekosten leidt. Vanaf een bedrijfsgrootte van meer 150 melkkoeien kunnen positieve exploitatieresultaten worden behaald van enkele duizenden euro's per jaar. Door de toename van de biogasproductie van de met organische zuren verrijkte mest is het vergistingsproces bij een kleinere bedrijfsgrootte al rendabel in vergelijking tot het niet biologisch aanzuren waar pas een break-even point gevonden werd bij een schaalgrootte van 250 melkkoeien (zie ook rapportage Smit et al., 2024).

Tabel 7.3 Exploitatie van scenario 2: aanzuren van drijfmest in de stal en vergisting

Kosten	€/jaar	€/ton	€/Melkkoe
Energie	9.873	2,93	98,73
Hulpstoffen	3.559	1,06	35,59
Arbeid	390	0,12	3,90
Onderhoud en overige bedrijfskosten	15.985	4,74	159,85
Afschrijving en financiering	49.693	14,74	496,93
Totaal kosten	79.500	23,58	795,00
Opbrengsten			
Vermeden inkoop warmte	6.838	2,03	68,38
Vermeden inkoop stroom	3.035	0,90	30,35
Afzet energie (SDE + vergoeding markt)	66.729	19,79	667,29
Vermeden inkoop kunstmest	-627	-0,19	-6,27
Vermeden mestafzetkosten	2.341	0,69	23,41
Totaal opbrengsten	78.316	23,23	783,16
Opbrengsten minus kosten	-1.184	-0,35	-11,84

Strippen scrubben

De investering voor het melkveebedrijf in dit scenario is beperkt tot de investering in opslag van de RENURE meststof. De investering is geraamd op circa 17.000 euro. De kosten voor het mobiel scheiden en strippen van de mest zijn geraamd op 13 – 15 euro per ton ingaande mest. Het tarief wordt voor een belangrijk deel bepaald door de verbruikskosten voor hulpstoffen (natronloog en zwavelzuur) en de brandstofkosten voor het stroomaggregaat.

Door de verwijdering van stikstof uit de mest hoeft bij de gekozen uitgangspunten geen mest te worden afgevoerd. Daardoor wordt bespaard op mestafzetkosten, maar nemen anderzijds de kosten voor aanwending van mest op het eigen land engszins toe (Tabel 7.4). Door de toepassing van de RENURE meststof op het eigen bedrijf wordt daarnaast bespaard op de inkoop van kunstmest. Voor de doorgerekende bedrijfssituatie bedraagt de besparing circa 2.500 kg N. Vanwege de lagere stikstof/fosfaat verhouding in de gebruikte mest wordt tevens de fosfaatgebruiksruimte beter benut. Vanwege het relatief geringe stikstofoverschot van het doorgerekende melkveebedrijf zijn de besparingen van de mestafzetkosten en aankoop van kunstmest relatief beperkt.

Tabel 7.4 Exploitatie van scenario 3: mechanische scheiding en mobiele stip/scrub installatie

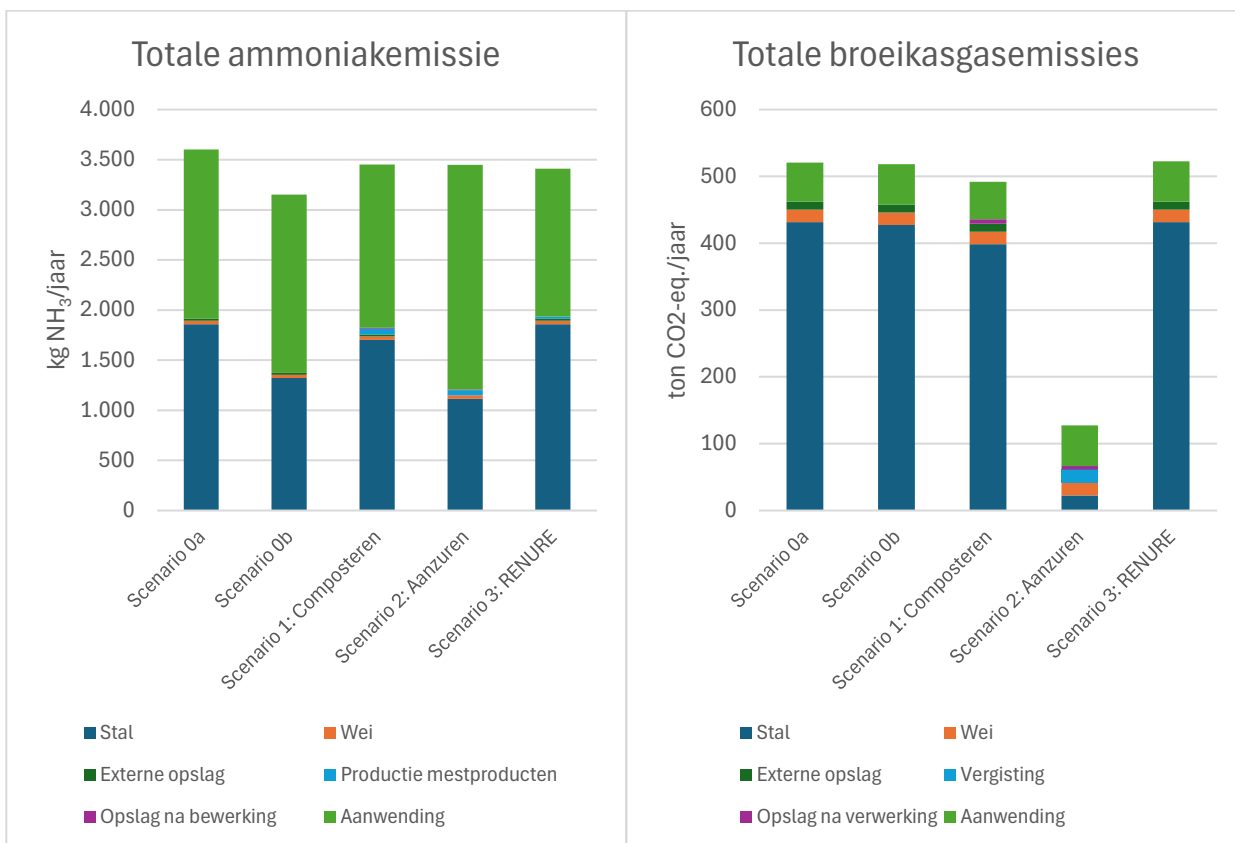
Kosten	€/jaar	€/ton	€/Melkkoe
Kosten mobiel scheiden en strippen	18.868	5,75	188,68
Afschrijving en financiering opslag	1.531	0,47	15,31
Totaal kosten	20.398	6,22	203,98
Opbrengsten			
Vermeden inkoop kunstmest	3.250	0,99	32,50
Vermeden mestafzetkosten	7.112	2,17	71,12
Totaal opbrengsten	10.362	3,16	103,62
Opbrengsten minus kosten	-10.037	-3,06	-100,37

Per saldo leidt het mobiel scheiden en strippen voor de doorgerekende bedrijfsgrootte en plaatsingsruimte tot een toename van de kosten van 1 – 3 euro per ton mest, afhankelijk van de mestafzetprijs (Tabel 7.4). Het scenario biedt het melkveebedrijf wel een oplossing voor het stikstofoverschot op het bedrijf en vereist geen hoge investeringen. Door samenwerking met collega melkveehouders kunnen de kosten voor het mobiel laten scheiden en strippen dalen als gevolg van een efficiëntere inzet van de installatie.

7.3 Emissies

Centraal composteren

Het scheiden, composteren en de extra opslag voor de mestfracties zorgt niet voor hogere emissies uit mest (Figuur 7.4). De ammoniak- en broeikasgasemissies over de gehele mestbewerkingketen zijn modelmatig in kaart gebracht; vanaf het punt dat mest wordt uitgescheiden in stal of weide tot en met aanwending van de mestproducten. In dit scenario betreft dit de dunne mestfractie en de gecomposteerde mestfractie. Hieruit blijkt dat het composteren van mest voor een ammoniak- en broeikasgasreductie van respectievelijk 4% en 5% zorgt ten opzichte van het referentiescenario, waarbij drijfmest voor een half jaar in de kelder onder de roostervloer wordt opgeslagen en als zodanig wordt aangewend.



Figuur 7.4 Berekende ammoniak- en broeikasgasemissies uit de mestketen van stal tot aanwending. Scenario 0a is het referentiescenario met een reguliere stal en scenario 1b is het referentiescenario met een emissiearme stal.

Aanzuren

Het aanzuren, vergisten en scheiden van de mest zorgt voor een reductie van zowel ammoniak- als broeikasgasemissies (Figuur 7.4). Het biologisch aanzuren van drijfmest zorgt voor een forse ammoniakreductie in de stal van 40%. Dit wordt echter voor een groot deel teniet gedaan door de toename van ammoniakemissie tijdens aanwending. De dunne fractie van het digestaat heeft een hoger ammoniakstaal stikstofgehalte, waardoor er meer ammoniakverlies is ten opzichte van het aanwenden van drijfmest. Over de gehele mestbewerkingketen zorgt dit scenario voor een ammoniakreductie van 4% ten opzichte van het referentiescenario waarbij drijfmest niet wordt verwerkt en als zodanig wordt aangewend. De broeikasgasemissies uit mest zorgt over de totale keten echter wel voor een significante reductie van 75% (dit is exclusief enterische methaan uitstoot). Dit is geheel te wijden aan de methaanemissiereductie welke plaatsvindt in de stal tijdens het aanzuurproces.

Strippen scrubben

Het scenario waarbij via een mobiele scheider en stripper een kunstmestvervanger (RENURE) wordt geproduceerd zorgt over de gehele keten voor een ammoniakemissiereductie van 5% ten opzichte van het referentiescenario (Figuur 7.4). Door de productie van RENURE en het aanwenden van de stikstofarme fractie, reduceren de ammoniakemissies tijdens aanwending met bijna 15%. Het betreft hier een beperkte

impact op de ammoniakemissie, omdat het stalsysteem niet emissiearm is en met de gekozen uitgangspunten (alleen overschot N strippen scrubben uit een dunne fractie) maar een deel van de drijfmest gestript en gescrubd wordt. De broeikasgasemissies blijven in dit scenario gelijk met het referentiescenario, omdat de stal- en opslagmissies niet veranderen met deze verwerkingsstappen.

8 Centrale mestbewerking

8.1 Algemeen

Aan de hand van modelleringen en GIS-analyses hebben Smit et. al. (2024) al aangetoond dat centrale mestbewerking voor bepaalde gebieden een rendabele businesscase kan opleveren. Om een idee te geven over de mogelijkheden van mestverwaarding op een centrale mestbewerkingsinstallatie, zijn in onderstaande paragrafen een drietal centrale mestbewerkingsinitiatieven beschouwd, namelijk:

- Wipptal
- Twence
- Groot Zevert

Er is gekozen voor deze drie mestverwaardingsinstallaties, omdat van deze drie installaties redelijk wat informatie beschikbaar is. Op basis van online beschikbare informatie zijn locatiegegevens, de mestbewerkingsprocessen en de te verwachten massabalansen beschreven. Het initiatief is in het perspectief gezet van de situatie zoals in Noord-Holland.

8.2 Wipptal

8.2.1 Omschrijving

Wipptal Biogas is een biogas- en mestbewerkingsinitiatief in het Wipptal (Italië). Van 2013 tot 2020 is deze biogasinstallatie onderdeel geweest van een Europees LIFE-OPTIMAL2012 project² (Gioelli et al., 2016). Het doel van dit project was om oplossingen te bieden voor de mestoverschotten van de intensieve melkveehouderij in het gebied en het produceren van waardevolle bemestingsproducten gericht op de in de regio aanwezige wijngaarden en boomgaarden. Hiervoor is een mestbewerkingsinstallatie opgezet voor de verwerking van vaste mest en drijfmest door middel van vergisting en verdere verwerking van het digestaat, om zodoende mestproducten af te kunnen zetten met lagere ammoniakemissies en die in de plaats van kunstmest gebruikt kunnen worden. In dit project zijn ook machines ontwikkeld om de emissie van ammoniak bij aanwenden van de specifieke mestproducten te verminderen. De installatie is gestart met een capaciteit van 70.000 ton mest per jaar en het biogas werd in een warmte krachtkoppeling (WKK) omgezet naar elektriciteit en warmte. De installatie is later opgeschaald naar een capaciteit van 150.000 ton mest per jaar en de opwaardering van het biogas naar vloeibaar aardgas (LNG) is toegevoegd aan het proces.

De realisatie van de huidige opzet van de mestbewerkingslocatie is deels gefinancierd uit Europees geld. Het is niet duidelijk hoe de mestbewerking financieel draait. Ook is niet duidelijk hoe de interne energieconsumptie is ten opzichte van de productie. In de eerste fase werd biogas omgezet met een WKK in warmte en elektriciteit, waarbij de warmte gebruikt kon worden in het proces. Later is overgestapt naar het produceren van LNG. Naast Wipptal is een thermocentrale gelegen, die met biomassa warmte produceert, dus mogelijk kan Wipptal hier (goedkoop) warmte betrekken om de mest te drogen en de vergisters te verwarmen. Vaak verbruiken dergelijke installaties een deel van hun biogas om elektriciteit te produceren en de warmte te gebruiken voor hun eigen processen, maar dat is hier niet het geval.

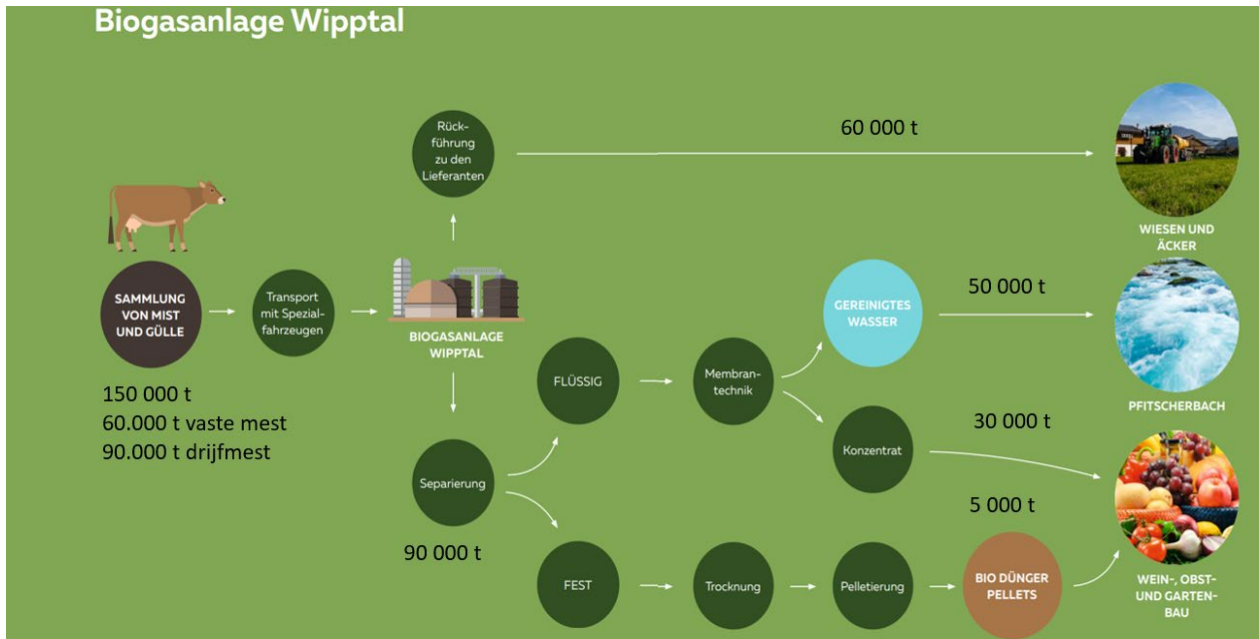
8.2.2 Proces en massabalans

De inkomende mest bestaande uit circa 60.000 ton vaste melkveemest en 90.000 ton drijfmest. Dit wordt vergist en het digestaat wordt deels (60.000 ton) geretourneerd naar de veehouder en een deel wordt verder verwerkt. De eerste verwerkingsstap na het vergisten is het mechanisch scheiden van het digestaat in een dikke en een dunne fractie. De dikke fractie wordt gedroogd en gepelleteerd. De dunne fractie wordt door

² <https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/LIFE12-ENV-IT-000671/optimised-nutrients-management-from-livestock-production-in-alto-adige>

middel van filtering en omgekeerde osmose verder geconcentreerd. Er ontstaat zo circa 50.000 ton loosbaar water, 37.000 ton mineralen concentraat en 5.500 ton pellets (Figuur 8.1). Met de vergisting wordt biogas geproduceerd dat opgewaardeerd wordt naar LNG, wat gelijk staat aan 16 miljoen vrachtwagenkilometers (circa 4.000 ton biomethaan). Daarnaast wordt het koolzuur (7.000 ton) wat vrijkomt bij het opwaarderen van het biogas gebruikt voor de productie van frisdranken/mineraalwater.

De biogasopbrengsten zijn niet duidelijk uit de online voorradige gegevens, maar deze lijken vrij hoog te zijn (circa 60 m³/ton mest). Dit is ongeveer twee keer hoger dan waar in Nederland mee gerekend wordt voor verse mest (circa 30 m³ biogas/ton mest). Waarschijnlijk zijn de biogas opbrengsten bij Wipptal hoger, omdat naast drijfmest ook vaste mest verwerkt wordt.



Figuur 8.1 Massabalans Biogas Wipptal, gebaseerd op Biogas Wipptal (2017) en <https://www.biwi.it/>, geraadpleegd augustus 2024.

8.2.3 Lessons learned

Het Biogas Wipptal is een goed voorbeeld van een regionale mestbewerking, waarbij verschillende partijen zoals melkveehouders, fruitteilers en wijnboeren, de transportsector, mestverwerkers en onderzoekers zijn samengebracht. De mestproducten zijn afgestemd op de wensen van de regionale afnemers (de wijnboeren en fruitteilers) en er wordt voorzien in de juiste apparatuur om de producten aan te wenden. De kracht van deze regionale mestbewerking is het verbinden van al deze actoren.

8.3 Twence

8.3.1 Omschrijving

Twence heeft een grootschalige mestbewerkingslocatie in Zenderen (Nederland). Deze locatie is in 2022 geopend na een lang vergunningentraject (>5 jaar). De locatie is gerealiseerd om het overschot van mest in de regio te kunnen verwerken. De locatie betreft een voormalige stortplaats 'De Vloedbelt'. Vanwege deze functie was op de locatie al infrastructuur aanwezig, die ook gebruikt kon worden voor de realisatie van de mestbewerking, bijvoorbeeld opstallen, verhardingen, ligging aan een provinciale-weg en een gasleiding. De installatie is ingericht op het verwerken van voornamelijk varkensmest. De voor Nederlandse begrippen hoge hoeveelheid te verwerken mest van 250.000 ton per jaar ging ook gepaard met uitdagingen, bijvoorbeeld het contracteren van voldoende mestafname bij varkenshouders. Daarnaast was vanuit de omgeving met name bezwaar op de vele transporten die voor de aan- en afvoer van mest nodig zijn.

8.3.2 Proces en massabalans

Jaarlijks wordt 250.000 ton (varkens)drijfmest aangevoerd (zie schematische weergave in Bijlage 2). Deze wordt ingevoerd in een mono-mestvergister en het gevormde biogas wordt opgewaardeerd naar circa 5.000.000 m³ groen gas. Het groene gas wordt geïnjecteerd in het gasnetwerk en wordt door de omringende gemeenten afgenomen. Het digestaat wordt door middel van flotatie gescheiden, waarna de dikke fractie nogmaals gescheiden wordt middels een zeefbandpers. De dunne fracties afkomstig van de flotatie en de zeefbandpers worden door middel van membraan filters en verdamping verder ingedikt tot een concentraat (15.000 ton). Bij het indampen wordt de in water opgeloste ammoniak teruggewonnen, wat ingezet wordt voor industriële processen. Na omgekeerde osmose wordt 200.000 m³ water geloosd op het oppervlaktewater. De dikke fractie wordt als zodanig afgezet (25.000 ton).

8.3.3 Lessons learned

Vanuit de historie als voormalige stortplaats was deze locatie uitermate geschikt voor mestbewerking, desalniettemin was er veel weerstand vanuit de omgeving. Vooral de vele transporten die nodig zijn om 250.000 ton mest aan te voeren en om de mestproducten af te voeren bleek een belangrijk bezwaar. De ammoniak wordt in dit geval ingezet bij industriële processen van het moederbedrijf. De ammoniak wordt toegevoegd tijdens het verbrandingsproces van afval om NO_x uitstoot te verlagen, wat ervoor zorgt dat deze ammoniak niet terecht komt in de Nederlandse landbouw, maar wel nuttig ingezet wordt. Dit kan interessant zijn als er een overschot aan stikstof is in een regio. Het afzetten van het groene gas op het landelijk gasnet maakt dat de mestverwerker niet afhankelijk is van een afnemende partij. Voor een aantal Twentse gemeenten (Enschede, Hof van Twente en Losser) zijn leveringscontracten afgesloten met Twence, zodat de locaties van deze gemeente met groen gas worden verwarmd. Dit wordt mogelijk gemaakt met garantie van oorsprong (GVO) certificaten. Hiermee wordt het verkregen duurzame biogas nuttig ingezet in de omgeving, wat het draagvlak kan vergroten.

8.4 Groot Zevent Vergisting

8.4.1 Omschrijving

Groot Zevent Vergisting is een Groene Minerale Centrale in Beltrum (Nederland) waar biogas wordt gewonnen uit mest en bijproducten. Jaarlijks wordt circa 135 kiloton substraat vergist in mesofiele bio-vergisters met een totale grootte van 6,5 MWe en een volume van 15.000 m³ (Systemic, 2017). Het substraat bestaat voor meer dan 70% uit dierlijke mest en wordt aangevuld met bijproducten (zie Tabel 8.1). De meeste dierlijke mest is varkensmest en deze mest is afkomstig van 55 varkensbedrijven. Jaarlijks wordt 10 Mm³ biogas geproduceerd, wat neerkomt op 75 m³ biogas per ton substraat. Het biogas bestaat uit 58% CH₄, 40% CO₂ en 0,2% O₂ en de concentratie H₂S is 2.000 – 3.000 ppm. 80% van het biogas wordt via een 5 kilometer lange buis vervoerd naar een melkfabriek (Friesland Campina). De overige 20% van het biogas wordt omgezet in elektriciteit en restwarmte en wordt op de productielocatie zelf gebruikt.

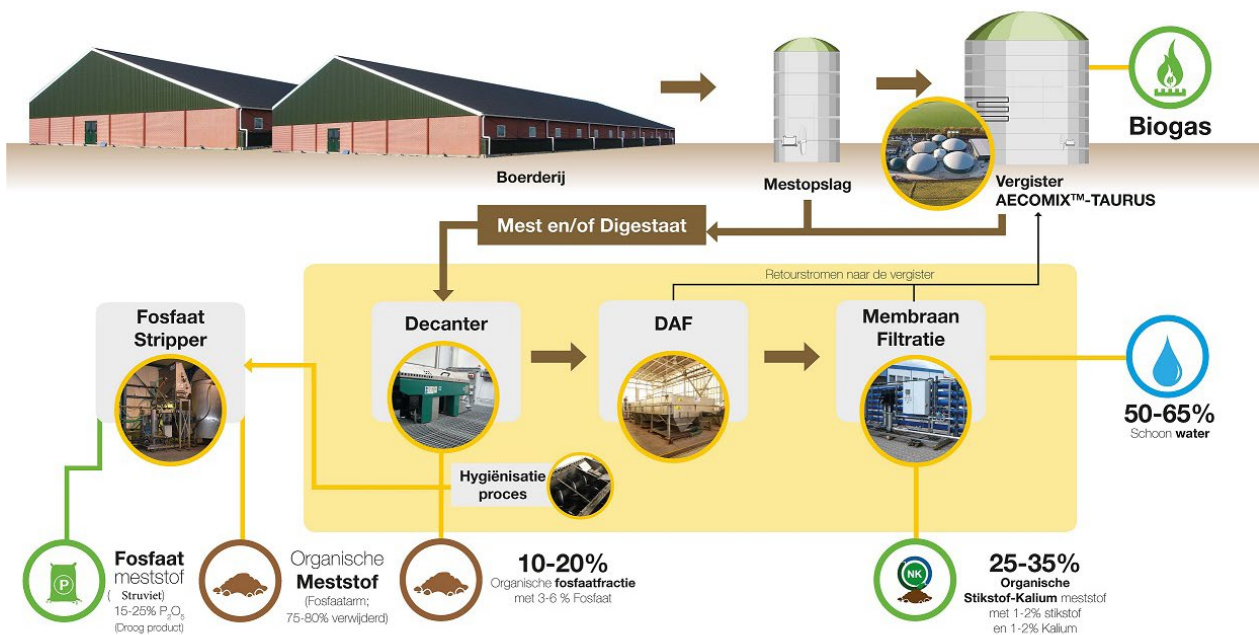
Tabel 8.1 Oorsprong van ingaand substraat in 2018 (Systemic, 2017).

Type	Oorsprong	Massa (kton)
Mest	Varken	80
	Melkvee	5
	Slachthuis	15
Bijproducten	Afval uit zuivelindustrie	15
	Afval uit voederindustrie	15
	Glycerine	5
Totaal		135

8.4.2 Proces

De mest wordt samen met de bijproducten in de vergister gebracht en verblijft hier circa 50 dagen (Systemic, 2017). Als het biogas uit het substraat is gewonnen, blijft het digestaat over. Dit wordt met een

decanter centrifuge gescheiden in een dikke fractie, rijk aan organische stof en fosfaat en een dunne fractie, rijk aan stikstof en kali. De dunne fractie wordt verder verwerkt in het GENIAAL systeem (membraanfiltratie) en de dikke fractie wordt verder behandeld met het RePeat systeem (fosfaat stripper), zie Figuur 8.2.



Figuur 8.2 Processen van Groot Zevent Vergisting van boerderij tot geproduceerde mestproducten (Systemic, 2017; <https://www.youtube.com/watch?v=o6--vJHzdNY>).

GENIAAL-systeem

De grove deeltjes in de dunne fractie van het digestaat worden met microfiltratie afgevangen. De resterende mestvloeistof wordt vervolgens met omgekeerde osmose verder gescheiden in een mineralenconcentraat en schoon water. Dit water wordt verder gezuiverd met een ionenwisselaar om resterende zouten te verwijderen, om het daarna te kunnen lozen op het oppervlaktewater. Doordat het water uit de dunne fractie is gehaald, is het mestvolume met 60 - 80% verminderd, wat leidt tot minder transportkosten.

RePeat-systeem

De dikke fractie van het digestaat wordt eerst verdunt met water, waarna het in een volgende mengtank wordt aangezuurd met zwavelzuur. Hierdoor wordt fosfaat in de oplossing gebracht. Daarna wordt de aangezuurde meststroom gescheiden met een schroefpers in een fosfaatrijke vloeistof en een vaste organische meststof met een laag fosfaatgehalte. De fosfaatrijke vloeistof gaat naar een tank waar kalkmelk wordt toegevoegd om het fosfaat te laten neerslaan. Dit geeft een fosfaatrijke slib, dat direct gebruikt kan worden als meststof, of kan worden gedroogd tot een stabiel eindproduct.

De mestproducten die na deze behandelingen overblijven zijn:

- Een mineralenconcentraat, rijk aan stikstof en kalium
- Een fosfaatarme organische stof, die kan worden gebruikt als bodemverbeteraar of veenvervanger
- Fosfaatrijk slib, wat na drogen kan worden verwerkt tot organische mestkorrels
- Schoon water, dat geloosd mag worden op het oppervlaktewater

Tijdens het EU project Systemic werd het RePeat systeem getest. Momenteel wordt dit proces niet meer ingezet en produceert men een dikke fractie met fosfaat. Met dit totale systeem wordt dierlijke mest omgezet tot groene energie, minerale meststoffen, bodemverbeteraar en schoon water. De mestproducten worden zoveel mogelijk in de regio afgezet. Het geproduceerde biogas wordt via een 1-op-1 verbinding getransporteerd naar een nabijgelegen melkfabriek, waar het aardgas vervangt. Het mineralen concentraat wordt afgezet in de regio als kunstmest vervanger. Ook zonder fosfaatverwijdering is er voldoende afzetmogelijkheid voor de organische stofrijke dikke fractie. Deze wordt afzet in de omgeving of geëxporteerd naar het buitenland. Verwijdering van fosfaat zal in dit geval daarom kostenverhogend werken.

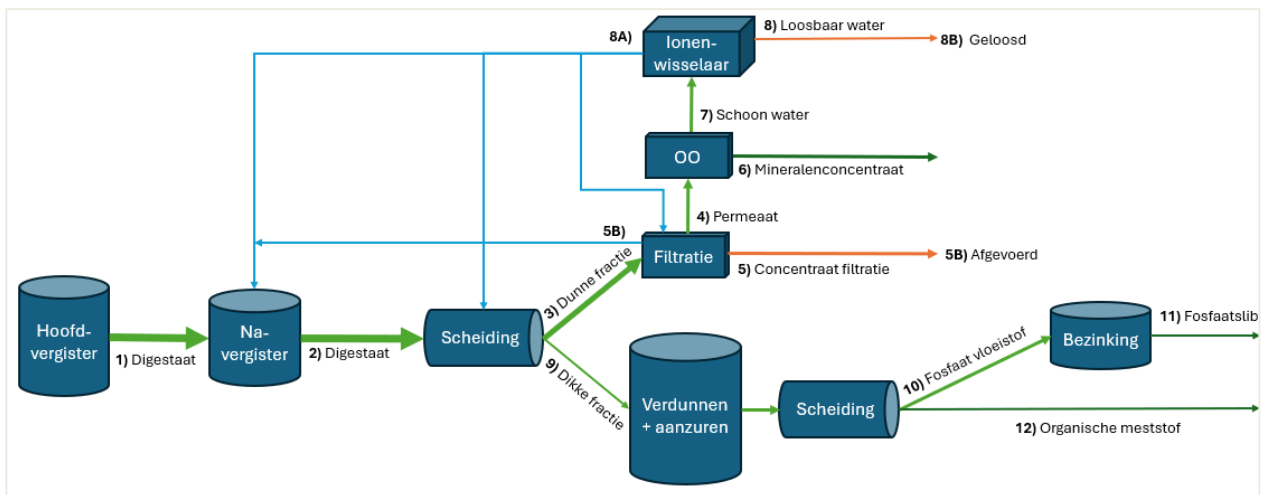
8.4.3 Massabalans

Regelink et al. (2021) hebben uitgebreide massabalansen opgesteld voor alle processtappen die worden doorlopen bij Groot Zevert Vergisting. Figuur 8.3 geeft hiervan een versimpelde weergave en in Tabel 8.2 zijn de massa's en samenstellingen van de meststromen weergegeven. Hierbij is de massa van het digestaat wat uit de hoofd-vergister komt op 1.000 kg gesteld en vanuit daar zijn de massa's van de andere meststromen bepaald. Uit de massabalans blijkt dat van circa 30% van het digestaat mineralenconcentraat wordt gemaakt, van circa 15% fosfaatslib en van circa 10% organische meststof. De overige 45% van de massa verlaat het systeem in de vorm van concentraat na filtratie en geloosd water.

Tabel 8.2 Massabalans en stikstof (N), fosfaat (P_2O_5) en kalium (K) gehalte van de verschillende meststromen tijdens het productieproces van Groot Zevert Vergisting (Regelink et al., 2021). De nummers van de meststroom corresponderen met de nummers in Figuur 8.3. Grijze meststromen zijn tussenproducten, groene meststromen zijn eindproducten, blauwe stromen worden hergebruikt en oranje meststromen wordt tijdens het proces afgevoerd.

Meststroom	Massa (kg) ¹	N (g/kg)	P ₂ O ₅ (g/kg)	K (g/kg)
1) Digestaat	1.000	7,4	4,6	4,6
2) Digestaat	1.218	8,8	4,8	5,4
3) Dunne fractie digestaat	1.097	5,6	0,52	4,5
4) Permeaat filtratie	673	2,9	0,11	2,7
5) Concentraat filtratie	548	3,9	0,53	2,2
5A) Terug na-vergister	203	1,4	0,19	0,83
5B) Afgevoerd	345	2,4	0,33	1,4
6) Mineralenconcentraat	313	2,5	0,1	2,5
7) Schoon water	374	0,041	0,0	0,0057
8) Loosbaar water	374	0,0	0,0	0,0
8A) Hergebruikt in systeem	183	0,0	0,0	0,0
8B) Geloosd	170	0,0	0,0	0,0
9) Dikke fractie digestaat	304	12,0	22,0	4,6
10) Fosfaatrijke vloeistof	734	4,6	7,3	2,7
11) Fosfaatslib	156	8,4	27	1,8
12) Organische meststof	119	4,5	8,2	2,9

¹ De massa digestaat die uit de hoofd-vergister komt is op 1.000 kg gesteld en vanuit daar zijn de massa's van de andere meststromen bepaald.



Figuur 8.3 Versimpelde weergaven van het proces bij Groot Zevert Vergisting (Regelink et al., 2021).

8.4.4 Lessons learned

Groot Zevert Vergisting is een loonwerker die de mineralen centrale heeft opgezet. Het opzetten van een mestbewerkingsinstallatie door een bedrijf wat al bekend is in het agrarische netwerk van de regio heeft hierbij duidelijke voordelen. De afzet van biogas naar Friesland Campina is uniek en verlaagt de CO₂ footprint voor Friesland Campina. Daarnaast wordt als één van de gebruikte co-producten een reststroom van de zuivelindustrie gebruikt, al wordt daarmee wel afhankelijkheid gecreëerd. De locatie betreft net als bij Twence een gesloten stortplaats. De vergaande terugwinning van fosfaat was tijdens het onderzoek technisch succesvol, echter deze is niet uitgerold op praktijkschaal.

9 Potentie mestbewerking en reststromen Noord-Holland

Gerritsen et al. (2023) hebben reststromen gezocht, waarmee de nutriënten tekorten in de provincie Noord-Holland kunnen worden ingevuld. Ze zijn gestart vanuit de bronnen van reststromen die in Noord-Holland beschikbaar zijn (Circle Economy, 2017):

- **Akkerbouw, tuinbouw en sierteelt;** hieronder vallen nutriëntenstromen uit de ongebruikte delen van planten in deze teelten,
- **Weg en waterbouw;** hieronder vallen nutriëntenstromen uit baggerslib, bermgras en waterplanten,
- **Huishoudens;** hieronder vallen groente, fruit en tuinafval (GFT) en het humane afvalwater dat in rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) wordt verwerkt.
- **Groen- en natuurgebied;** hieronder vallen nutriëntenstromen uit het bosbeheer, park- en plantsoen onderhoud en natuurgras van open natuur,
- **Horeca, zorg en gemeentelijke instellingen;** hieronder vallen nutriëntenstromen vanuit voedselafval uit horeca, hotels, gemeentelijke instellingen, ziekenhuizen en zorginstellingen,
- **Industrie;** hieronder vallen nutriëntenstromen uit de voedselverwerkingsindustrie, haven van Amsterdam en andere grote industrieën.

In Gerritsen et al. (2023) is gefocust op nutriëntenstromen uit rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's), groenten fruit en tuinafval (GFT), industriële stromen en bermgras. Hieruit blijkt dat het terugwinnen van stikstof en fosfaat uit rioolwater kan bijdragen aan het invullen van het provinciale tekort aan nutriënten. Echter kan met de huidige beschikbare technieken maar een beperkt deel van de stikstof worden teruggewonnen. Bij GFT en bermgras speelt mee dat er fysische verontreinigen in deze stromen aanwezig zijn, zoals huishoudelijk- of zwerfafval. Bij GFT komt dit doordat het scheiden van GFT en restafval niet in iedere gemeente evengoed uitgevoerd wordt, waardoor een deel van het GFT niet bruikbaar is. Bermgras is een goed materiaal om als bodemverbeteraar of organische meststof in te zetten. Wel zitten in bermgras veel onkruidzaden en -kiemen en dient rekening gehouden te worden met zwerfafval zoals plastic, blik en glas. Gewasresten zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten, omdat deze nutriënten veelal al op het land terecht komen. Compostering van gewasresten om ziektekiemen (bijvoorbeeld bij bollenresten) te elimineren wordt wel gedaan.

9.1 Reststromen als co-producten bij vergisting

Op provinciaal niveau is er in Noord-Holland met de huidige teelten sprake van een nutriëntentekort, maar op bedrijfsniveau hebben veel melkveehouders na het vervallen van de derogatie een overschot aan dierlijke mest, omdat niet alle mest op het eigen land geplaatst kan worden. Het gebruik van co-producten bij vergisten verhoogt de totale hoeveelheid nutriënten in het digestaat. Als co-producten zijn opgenomen in Bijlage Aa van de uitvoeringsregeling Meststoffenwet, dan zal het digestaat als dierlijke mest ingezet mogen worden. Slib afkomstig van de rioolwaterzuiveringsinstallaties en GFT afval staan niet in de lijst in Bijlage Aa. Het gebruik van dit slib als co-product bij vergisting zal dan leiden tot een digestaat dat niet ingezet mag worden als meststof. Dit wordt als afvalstroom gezien en moet worden afgevoerd met de bijkomende afvoeren verwerkingskosten. Van de in Gerritsen et al. (2023) genoemde reststromen zijn in bijlage Aa wel opgenomen:

- Een aantal zuiveringsslibben uit de voedingsmiddelenindustrie, echter deze mogen niet gemengd zijn met andere afvalwaterstromen.
- Een aantal reststoffen uit de bloembollenteelt die ontstaan bij oogsten, sorteren en in bloei trekken.
- Bermgras of natuurgras.

In Tabel 9.1 zijn voor een aantal co-producten de samenstellingen weergegeven. Ongeacht het co-product wat toegevoegd wordt, zal de totale hoeveelheden aan nutriënten in het digestaat verhoogd worden. Dit zal

leiden tot het verhogen van de mestoverschotten op de bedrijven. De gehalten in het digestaat worden wel verschillend beïnvloedt. Zo kan verdunning optreden door het gebruik van co-producten met lage nutriënten gehalten, maar bij het gebruik van co-producten met hoge gehalten zal het digestaat verrijkt worden.

Tabel 9.1 Gemiddelde samenstellingen van enkele co-producten uit Kool et al. (2005) en samenstelling rundveedrijfmest (forfaitair).

(Co) product	Drogestof (g/kg)	N (g/kg)	P ₂ O ₅ (g/kg)
Rundveedrijfmest*	86	4,0	1,5
Tarwestro	902	4,0**	1,0**
Gerst	871	16,5	8,0
Zonnebloemzaden	940	33,9	16,9
Aardappelstoomschillen	124	1,1	0,7

* forfaitaire gehalten (RVO tabel 11 normen en mestcodes aanvoer en afvoer dierlijke mest)

** overgenomen uit Van Os et al. (2012)

De belangrijkste reden om co-producten toe te passen tijdens vergisting is omdat dit een hogere biogasproductie geeft. Kool et al. (2005) hebben op basis van de destijds goedgekeurde co-producten de methaanopbrengsten in beeld gebracht. Om een beeld te geven van de potentie van co-producten zijn in Tabel 9.2 van een aantal producten de biogasopbrengsten opgenomen. Uit deze gegevens blijkt dat de biogasopbrengst aanzienlijk verhoogd kan worden door het toevoegen van co-producten.

Bij de meeste co-producten is er bij de vergister een invoer nodig voor vaste producten. Daarnaast is mogelijk een voorbehandeling (bijvoorbeeld verkleinen, kneuzen) nodig om de biogasopbrengsten te verhogen en praktische problemen zoals verstoppingen en de vorming van drijf of zaklagen te voorkomen. Ook is het verwijderen van fysische verontreinigingen voorafgaand aan het vergisten van belang (bijvoorbeeld bij bermgras). Het co-product dient ook opgeslagen te worden en dit zal gepaard gaan met emissies (ammoniak, methaan, lachgas en geur) met eventueel hinder voor de omgeving tot gevolg. Een co-vergistingsinstallatie is vergunningsplichtig in het kader van de Omgevingswet waar een mono-mestvergistingsinstallatie alleen meldingsplichtig is.

Tabel 9.2 Gemiddelde samenstellingen van enkele co-producten en biogasopbrengsten in m³ methaan /kg organische stof uit Kool et al. (2005) en omgerekend naar m³ biogas per ton ingaand product.

(Co) product	Drogestof (g/kg)	Organische stof (g/kg)	m ³ /kg organische stof		Berekende biogasopbrengst m ³ /ton ingaand product*	
Rundveedrijfmest	86	64	0,12	0,21	13	22
Tarwestro	902	812	0,15	0,31	203	420
Gerst	871	850	0,36		510	
Zonnebloemzaden	940	906	0,24	0,44	362	664
Aardappelstoomschillen	124	114	0,31		59	

*Voor de omrekening is aangenomen dat methaan standaard 60% van het biogas betreft

Bermgras en gras uit natuurgebieden is een co-product dat in Noord-Holland voorradig is. Er wordt geschat dat er circa 21 kton aan bermgras per jaar vrijkomt in de provincie Noord-Holland (Gerritsen et al., 2023). De jaarlijkse rundveedrijfmestproductie is 2.661 kton (Smit et al., 2024). Uitgaande van 50% bijmenging van co-producten is de ingeschatte hoeveelheid bermgras maar een beperkte bron voor co-vergisting. Kool et al. (2005) rapporteren voor natuur- en bermgras een vrij lage methaan opbrengst 0,08 tot 0,25 m³/kg OS. Ook zijn hier de al eerder genoemde belemmeringen zoals zwerfafval en de vorming van zak en drijfslagen aan de orde. Er dient dus een zeer goede voorscheiding en bewerking van het bermgras uitgevoerd te worden.

Het co-vergisten van de restproducten uit de bollenteelt zal voor Noord-Holland een mogelijkheid zijn. Roelofs & Gude (2013) schatten in dat deze reststroom in Noord-Holland circa 80 kton drogestof betreft, waarvan circa 50 kton bestaat uit bij de bollenteelt gebruikt stro. Het is dus een grotere reststroom dan bermgras, echter met het vergisten wordt maar een deel van de ziektekiemen geëlimineerd, wat mogelijk voor de bollentelers een probleem is. Bij composteren worden hogere temperaturen bereikt en daardoor zal

de ziektedruk verder afnemen. Onder anderen Delphy (Nieuwe Oogst, 2021) concludeert dat indien de compostering juist uitgevoerd wordt de compost gemaakt uit restmaterialen uit de bollenteelt veilig is.

9.2 Reststromen gebruiken als meststof

Van de mestbewerkingen die beschreven zijn in Hoofdstukken 3, 4, 5 en 6 is het gebruik van reststromen voor composteren, vermicomposteren en het maken van bokashi het meest voor de hand liggend of zelfs noodzakelijk. Voor composteren is een goede beluchting nodig, wat met (drijf)mest lastig is. Door (droge) organische reststromen toe te voegen kan dit verbeterd worden. Dit kunnen reststromen zijn die mee-composteren (bijvoorbeeld bermgras), maar ook houtsnippers die er na het composteren weer uitgefilterd worden. Het toevoegen van organische stof bij het maken van bokashi uit dierlijke mest is noodzakelijk. Dit kan gedaan worden door stromest te maken, maar ook een opzet met verschillende lagen (reststromen afgewisseld met drijfmest) wordt in de praktijk gedaan. Zoals in bovenstaande paragraaf is beschreven, zullen de toegevoegde nutriënten als dierlijke mest beschouwd worden bij aanwenden. Dergelijke mestproducten concurreren hierdoor met groencompost. Voor groencompost is 75% van de fosfaat vrijgesteld, waardoor de fosfaatgebruiksruimte veel minder snel wordt overschreden dan bij drijfmest. Voor stapelbare mest geldt een vrijstelling van 25% voor fosfaat. Gezamenlijk verwerken van groenstromen en mest is vanuit dit oogpunt daarom niet efficiënt. Termorhuizen & Postma (2021) hebben van een aantal bemestingsproducten bepaald welke effecten van deze op zichzelf staande producten te verwachten zijn op organische stofgehalte (effectieve organische stof, EOS), bodemvruchtbaarheid, bodemleven en ziektevering en tevens zijn de risico's op nitraatuitspoeling en verontreinigingen ingeschaald. In Figuur 9.1 is het resultaat van deze studie samengevat. Hieruit blijkt dat producten uit rundveedrijfmest positief scoren. Alleen vaste rundvee- en geitenmest scoort iets beter op de risico's.

	gewenste effecten				risico's	
	EOS	bodemvruchtbaarheid	bodemleven	ziektewering	nitraatuitspoeling	verontreinigingen
producten van rundveedrijfmest	geel	geel	geel	geel	oranje	geel
vaste rundvee- en geitenmest	geel	geel	geel	geel	oranje	geel
producten van varkensdrijfmest	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	geel
vaste varkensmest	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	geel
pluimveemesten	geel	geel	geel	geel	geel	geel
organische kalkmeststof	geel	geel	geel	geel	geel	geel
plantaardig digestaat	geel	geel	geel	geel	oranje	geel
onbewerkt berm- en slootmaaisel	geel	geel	geel	geel	oranje	rood
ingekuuld berm- en slootmaaisel incl. Bokashi	geel	geel	geel	geel	oranje	geel
compost	geel	geel	geel	geel	oranje	geel
stro	geel	geel	geel	geel	oranje	geel
verwerkt dierlijk eiwit	oranje	oranje	oranje	oranje	geel	geel
humuszuren	oranje	oranje	oranje	oranje	geel	geel
zaadmeel	geel	geel	geel	geel	geel	geel
zeewierpreparaten	oranje	oranje	oranje	oranje	geel	geel

Vet omkaderd is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

Figuur 9.1 Beoordeling van verschillende bemestingsproducten van effecten op de bodem. Overgenomen uit Termorhuizen & Postma (2021).

Kortom, de in Noord-Holland beschikbare reststromen (zoals vastgesteld in Gerritsen et al. (2023)) zijn in mindere mate geschikt als co-product voor vergisting of mestbewerking. Voor co-vergisting is in verhouding weinig volume restproduct beschikbaar vergeleken met de beschikbare hoeveelheid dierlijke mest. Daarnaast

vragen de restproducten een voorbehandeling, voordat deze kunnen worden vergist of worden toegepast bij mestbewerking. Vooral fysieke verontreinigingen zoals (zwerf)afval vormen hierbij een probleem. Ook leidt het gebruik van restproducten bij co-vergisting en mestbewerking tot meer dierlijke mest, omdat nutriënten worden toegevoegd en het eindproduct wordt beschouwd als dierlijke mest.

10 Discussie en conclusies

De melkveehouderij in Noord-Holland is relatief extensief. Toch krijgt een groot aantal melkveehouders te maken met een stikstofoverschot door het afbouwen van de derogatie en omdat een groot deel van het Noord-Hollandse landbouwareaal aangewezen is als nutriënten verontreinigt. Daardoor mag er minder dierlijke stikstof worden ingezet op hun eigen land. Daarnaast zijn er in het Provinciaal Programma Landelijk Gebied (PPLG) doelen gesteld ten aanzien van klimaatverandering, milieu, biodiversiteit en bodemkwaliteit en is de ambitie beschreven om te streven naar natuurinclusiviteit. Mestmanagement, waaronder mestbewerking, kan een rol spelen in het behalen van deze doelen. De diversiteit aan melkveehouderijen, de regionale verschillen en de verschillen in opgaven zorgen ervoor dat er niet één ideale oplossing is voor het mestmanagement op melkveehouderijen. Meer dan de helft van de melkveebedrijven in Noord-Holland is beperkt van omvang (minder dan 100 melkkoeien) en slechts 12 bedrijven hebben een omvang van meer dan 300 melkkoeien. In deze studie is uitgegaan van de toekomstperspectieven zoals ze nu bekend zijn, zoals de definitie van RENURE zoals beschreven in het concept voorstel en het wegvallen van de derogatie in 2026. Mochten er besluiten wijzigen of als uiteindelijke wetteksten substantieel afwijken van de concept teksten, dan kan dat gevolgen hebben voor de conclusies uit dit onderzoek.

Tabel 10.1 Mestbewerkingstechnieken en hoe deze bijdragen aan de gestelde doelen. + betekent dat de mestbewerkingstechniek bij het doel past, - betekent dat de techniek negatief bijdraagt aan het doel en 0 betekent dat de techniek geen invloed heeft op het doel.

Mestbewerkingstechnieken	Doel 1: Mestbewerking ter verhoging van natuurinclusiviteit	Doel 2: Reductie van ammoniak- en broeikasgasemissies	Doel 3: Verminderen van stikstofoverschot op bedrijfsniveau	Doel 4: Productie van mestproducten voor specifieke landbouwakkers
Composteren*	+	-	-	+
Centraal composteren	-	+	+**	+
Vermicomposteren	+	0	0	0
Anaerobe fermentatie	+	-	0	0
Vergisting	-	+	0	+
Stromest	+	-	0	+
N-strippen en scrubben	-	+	+**	+
Aanzuren	-	+	0	0
Verdunnen	0	+	0	0
Biologische zuivering	-	+	+	0
Filtratie en Omgekeerde osmose	0	0	+**	+
Struviet	0	0	+**	0
Pyrolyse	0	+	+	0

*uitgaande van een simpele vorm van composteren op boerderijschaal met toevoeging van reststroom.

**uitgaande van inwerking treding van RENURE volgens de concept tekst RENURE (EU, 2024).

In dit onderzoek is vanuit vier potentiële mestbewerkingdoelen bekeken welke mestbewerkingstechnieken interessant kunnen zijn om in te zetten op boerderijschaal. De resultaten zijn samengevat in Tabel 10.1. Voor alle vier de mestbewerkingdoelen (natuurinclusiviteit, emissiereductie, verlagen van stikstofoverschot en het produceren van specifieke mestproducten) zijn mestbewerkingstechnieken beschikbaar. Voor de meeste mestbewerkingen geldt dat verbetering op alle gestelde doelen niet mogelijk is. Het hangt daardoor van de doelen van een regio of specifiek voor het melkveebedrijf af welke mestbewerkingstechnieken van toegevoegde waarde kunnen zijn. Op basis van de uitgevoerde SWOT-analyses per mestbewerkingstechniek kan worden geconcludeerd dat voor het verhogen van natuurinclusiviteit stromest en (vermi)compostering technieken zijn die het beste aansluiten. Voor de reductie van ammoniak- en broeikasgasen zijn vergisting, strippen en scrubben, aanzuren en verdunnen veelbelovend. Om het stikstofoverschot op bedrijfsniveau te verminderen kan mest biologisch worden gezuiverd of worden behandeld met omgekeerde osmose of

strippen en scrubben. Om mestproducten te maken voor de bloembollenteelt, glastuinbouw en akkerbouw kan strippen en scrubben, omgekeerde osmose, stromest en vergisting worden toegepast.

De grootste uitdaging in de melkveehouderij op korte termijn is het wegwerken van het stikstofoverschot en het reduceren van ammoniakemissies. Mestbewerking zou dus minstens aan deze twee doelen moeten bijdragen. Technieken die op dit moment aan beide doelen kunnen bijdragen zijn strippen en scrubben, biologische zuivering en intensieve compostering (met luchtwater). Mestbewerking in het kader van de doelstelling natuurinclusief vraagt om een integrale benadering. Mestbewerking zal dan ondersteunend moeten zijn aan een natuurinclusieve bedrijfsvoering. De uitdagingen met betrekking tot het stikstofoverschot en het reduceren van emissies geldt ook voor deze bedrijven, dus moet worden gezocht naar een combinatie van maatregelen en technieken die er samen voor zorgen dat de doelen behaald worden.

Aan de hand van de SWOT-analyses zijn per doel een aantal mestbewerkingsroutes geselecteerd. Vervolgens is gekeken naar welke mestbewerkingsroutes een oplossing kunnen bieden voor het stikstofoverschot op bedrijfsniveau. Gefocust is op oplossingen voor kleine tot middelgrote bedrijven die praktisch haalbaar zijn. Van de volgende drie mestbewerkingsroutes zijn ammoniak- en broeikasgasemissies en de exploitatie berekend: 1) mechanische mestscheiding op het bedrijf en centrale, intensieve compostering van de dikke fractie, 2) biologisch aanzuren van de mest in de stal met vergisten en 3) verwerking van mest met een mobiele mestscheider en strip/scrub installatie. Uit deze modellering bleek dat voor een gemiddeld bedrijf (100 melkkoeien) alle doorgerekende mestbewerkingen kostenverhogend zijn ten opzichte van het afvoeren van drijfmest. Mestmanagement met derogatie is altijd positiever dan zonder derogatie. Het verder bewerken van mest kan iets van deze extra kosten wegnemen indien de bedrijven voldoende omvang hebben. De uitkomsten van de modelberekeningen zullen bij andere uitgangspunten anders zijn. Hierbij geldt over het algemeen dat mestbewerking bij grotere en intensievere melkveebedrijven (dus bij een groter mestoverschot) sneller leiden tot een positieve businesscase. Voor een bedrijf van een gemiddelde grootte of kleiner zal aansluiten bij een centrale mestverwerker of een initiatief bij een andere melkveehouder een mogelijkheid kunnen zijn.

Scenario 1 kan een oplossing zijn voor het wegwerken van het stikstofoverschot op bedrijfsniveau, omdat de dikke fractie van het bedrijf wordt afgevoerd. Voor een gemiddeld bedrijf met 100 melkkoeien moet wel rekening gehouden worden met hogere onkosten dan bij het afvoeren van drijfmest naar derden. Wel zal met een dergelijke centrale mestcompostering een stabiele afzet gevormd worden. Eventueel kan dit in combinatie met het verwerken van andere reststromen uit bijvoorbeeld de bollenteelt of van bermgras. Een nadeel hiervan is dat het mengen van deze producten wel de hoeveelheid nutriënten die bestempeld worden als dierlijke mest verhoogt.

Scenario 2 is interessant om de emissies uit de mestkelder te verlagen. Bijkomend effect is dat de biogasproductie omhoog gaat, waardoor de businesscase vanaf > 150 melkkoeien al positief wordt. Deze route is doorgerekend met als doel om ammoniak- en methaanemissies uit mest te reduceren. Dit lukt zeer goed voor methaan en over de gehele keten worden de broeikasgasemissies uit mest met 75% gereduceerd. In de stal worden beide emissies gereduceerd. Echter wordt deze reductie in ammoniakemissie teniet gedaan doordat tijdens het vergisten de pH weer omhooggaat en de ammoniakemissies bij aanwending modelmatig hoger zijn dan van gewone drijfmest. Over de totale mestketen vind er zo slechts 4% ammoniak emissiereductie plaats.

Uit de modelberekeningen blijkt dat scenario 3 bij de gekozen uitgangspunten niet financieel uit kan. Dit kan mogelijk geoptimaliseerd worden door de mobiele strip/scrub installatie efficiënter in te zetten, door de machine zo min mogelijk te verplaatsen en veel draaiuren te maken. Mogelijk kan dit scenario wel uit als nabijgelegen boeren samenwerken, maar dit zal situatie specifiek berekend moeten worden.

Modelleringen uit Smit et al. (2024) laten zien dat centrale mestbewerking kan leiden tot een positieve businesscase. Hierbij zijn de inkomsten uit mono-mestvergisting belangrijk. Daarnaast is de Subsidie Duurzame Energie (SDE) leidend voor de beste opzet, vanwege verschillende tarieven bij verschillende capaciteiten van installaties. Uit de drie besproken voorbeelden van mestbewerkers (Wipptal, Twence en Groot Zevert) blijkt dat deze grootschalige initiatieven complexere mestbewerking mogelijk maken. De Nederlandse voorbeelden zijn vooral gericht op het exporteren van een droge dikke fractie (met veel fosfaat) naar het buitenland en het produceren van loosbaar water. Bij Wipptal, een mestverwerker in Italië, worden

vooral producten gemaakt die aansluiten bij lokale behoeften. Voor Noord-Holland is het ook belangrijk om te focussen op het maken van producten die aansluiten bij de regionale behoeften in de provincie. Hierbij kan gedacht worden aan RENURE-producten die terug naar de melkveebedrijven gaan of die ingezet kunnen worden bij akkerbouwers en mogelijk in de glastuinbouw. Organische stofrijke dikke fracties kunnen ingezet worden in de bollenteelt en ook in de akkerbouw.

Er wordt voor het gebruik van reststromen bij mestbewerking op de boerderij of op centrale schaal geen grote rol verwacht. Met co-vergisting kunnen de biogasopbrengsten aanzienlijk verhoogd worden en reststromen kunnen ook gebruikt worden om de kwaliteit van de eindproducten te verhogen (bijvoorbeeld door extra organische stof toe te voegen). Echter verhoogd dit de complexiteit en het totaal aan nutriënten gehalten in dierlijke mest gaat omhoog. Ook is de beschikbaarheid van reststromen beperkt en worden deze vaak al voor andere doeleinden gebruikt. Voor de reststroom uit de bollenteelt is het centraal composteren met dierlijke mest mogelijk interessant, vanwege hygiënisatie van het product.

Aanbevolen wordt om in te zetten op een pallet aan mestbewerkingen voor de melkveehouderij in Noord-Holland. Er zijn verschillende mogelijkheden voor mestbewerking in de provincie Noord-Holland, maar welke technieken geschikt zijn hangt af van de beoogde doelen. Sommige technieken dragen bij aan meerdere doelen tegelijkertijd. Veel mestbewerkingstechnieken zijn wel kostenverhogend. Vanwege hoge kosten is niet elke techniek geschikt om toe te passen op bedrijfsniveau, maar dan zijn er mogelijkheden om op een centrale plek de mest te bewerken. Dit rapport geeft informatie en inspiratie en kan door de provincie Noord-Holland worden gebruikt bij het stimuleren van mestbewerking die past bij de ontwikkelingen in de sector en de doelen van het PPLG.

Literatuur

- Adema (2022) *Toekomstvisie agrarische sector - BRIEF VAN DE MINISTER VAN LANDBOUW, NATUUR EN VOEDSELKwaliteit*. Vergaderjaar 2022 – 2023. 30252
- Agrimatie (2022a). Bedrijfsgrootte van melkveebedrijven. <https://agrimatie.nl/noord-holland/>, geraadpleegd op 25-09-2024
- Agrimatie (2022b) Weidegang op melkveebedrijven. <https://agrimatie.nl/noord-holland/>, geraadpleegd op 13-11-2024
- Agrimatie (2022c) Areaal- Bloembollenteelt (Noord-Holland)- Bloembollenareaal stabiel. <https://agrimatie.nl/>, geraadpleegd op 12-01-2024
- Agrimatie (2022c) Biologisch gehouden melkkoeien. <https://agrimatie.nl/noord-holland/>, geraadpleegd op 13-11-2024
- Agrimatie (2022d) Areaal – Glastuinbouw (Noord-Holland). <https://agrimatie.nl/>. Geraadpleegd op 04-04-2024
- Agrimatie (2022e) Areaal- Akkerbouw (Noord-Holland). <https://agrimatie.nl/>, geraadpleegd op 09-04-2024
- Agrimatie (2023a) Kerncijfers – Fosfaatbemesting op akkerbouwbedrijven, geraadpleegd op 09-04-2024
- Agrimatie (2023b) Kerncijfers – Stikstofbemesting op akkerbouwbedrijven, geraadpleegd op 09-04-2024
- Barberg, A. E., Endres, M. I., Salfer, J. A., & Reneau, J. K. (2007). Performance and Welfare of Dairy Cows in an Alternative Housing System in Minnesota. *Journal of Dairy Science*, 90(3), 1575–1583. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)71643-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71643-0)
- Biogas Wipptal (2017) Innovation for a green future, brochure Biogas Wipptal.
- Boer, M., Smeding, F., Kloen, H., & Guldemon, J. A. (2003) *Ondernemen met biodiversiteit - Werkboek voor ondernemers*. <https://edepot.wur.nl/24609>
- Bokhorst, J., Y. van Leeuwen, C. ter Berg. (2008) Bodem en bemesting in de bollenteelt. Louis Bolk Instituut, Driebergen
- Bouma, J., M. Koetse en J. Brandsma (2019) Natuurinclusieve landbouw: wat beweegt boeren? Het effect van financiële prikkels en gedragsfactoren op de investeringsbereidheid van agrariërs. Rapport Planbureau voor de Leefomgeving
- CBS (2022) StatLine 2022. <https://opendata.cbs.nl/>, geraadpleegd op 25-09-2024
- CBS (2023) StatLine 2023. <https://opendata.cbs.nl/>, geraadpleegd op 25-09-2024
- CBS (2024) Toename stikstofoverschot in landbouw door droge zomer 2022. Centraal Bureau voor de Statistiek. <https://www.cbs.nl/>, geraadpleegd op 11-04-2024
- Circle Economy (2017) Noord-Holland Noord Biomassa: Fase 1: Grondstofstromen. In Provincie Noord-Holland.
- CONO (2023) Feiten & cijfers. <https://www.cono.nl/over-ons/feiten-cijfers/>, geraadpleegd op 22-10-2024
- De Boer, H.C. (2023) Niveau en samenstelling van het stikstofverlies uit een melkveestal met roostervloer en een koetoilet. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1448.
- De Buissonjé, F., Melse, R., Mosquera, J., & Verdoes, N. (2013) *Inventarisatie emissies en geluidsoverlast van mestbewerkingsinstallaties en eventuele maatregelen*. Wageningen UR Livestock Research. Rapport 703. <https://edepot.wur.nl/276854>
- Dominguez, J., & Edwards, C. (2010) Relationships between Composting and Vermicomposting. In C. A. Edwards, N. Q. Arancon, & R. L. Sherman (Eds.), *Vermiculture Technology* (pp. 11–25). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10453-3>
- Dooren, H.J.C. van, K. Blanken, N.W.M. Ogink (2022) Reductie van ammoniakemissie door gebruik van water in melkveestallen; Resultaten van emissiemetingen op Dairy Campus. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1304.
- Ehlert, P., & Oenema, O. (2010) *Informatieblad Mest van bedreiging naar kans - Biochars van dierlijke mest*. <https://edepot.wur.nl/154749>
- Erisman, J.W., N. van Eekeren, A. van Doorn, W. Geertsema, N. Polman (2017) Maatregelen Natuurinclusieve landbouw. Wageningen Environmental Research rapport 2821. <https://edepot.wur.nl/419124>

-
- Friesland Campina (2024) Eigendom van boeren – De coöperatie.
<https://www.frieslandcampina.com/nl/eigendom-van-boeren/de-cooperatie/>, geraadpleegd op 22-10-2024
- Galama, P. J., De Boer, H. C., Van Dooren, H. J. C., Ouweltjes, W., & Poelarends, J. J. (2014) *Vrijloopstallen voor melkvee in de praktijk*.
<https://edepot.wur.nl/310448#:~:text=De%20ervaringen%20van%20de%20melkveehouders,van%2030%20m2%20per%20koe.>
- Gerritsen, S.A., G.G.A. Hekkert, S.A.L. Uyttendaele, A.J.G. Dekking, W. van Dijk, L.M. Fuchs, T.V. Vellinga, (2023) Agrarische nutriënten-kringlopen in Noord-Holland; Wageningen Research, Rapport WPR-OT-1049
- Gioelli, F., E. Dinuccio, L. Rollé, P. Balsari (2016) How to maximise the manure value in a high livestock concentration area: the Life Optimal project. 11th international AIIA Conference: July 5 – 8, 2016 Bari- Italië "Biosystems Engineering addressing the human challenges of the 21st century"
- Glastuinbouw Nederland (2023) Verantwoorde glastuinbouw is klimaatneutraal in 2040; update 2023. Glastuinbouw Nederland, Zoetermeer
- Gollenbeek L.R., Ehler P.A.I., Buissonjé F.E. de (2018) Perspectives of Ecochar in Europe, Wageningen Livestock Research, Report 1113. <https://edepot.wur.nl/452704>
- Gollenbeek L.R., J.P.B.F. van Gastel, F.A.M. Casu, I. Huisman, N. Verdoes (2022) Berekningen emissies en economie voor verschillende scenario's voor verwaarding van rundveemest; NL Next Level Mestverwaarden. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1372.
- Gollenbeek, L.R., S. Hol, van der Weide, R. (2024) Mogelijke mestbehandelingen op boerderijschaal. Wageningen Research, Rapport WPR-952. <https://edepot.wur.nl/584504>
- Hoang, D. L., Davis, C., Moll, H. C., & Nonhebel, S. (2020) Impacts of biogas production on nitrogen flows on Dutch dairy system: Multiple level assessment of nitrogen indicators within the biogas production chain. *Journal of Industrial Ecology*, 24(3), 665–680. <https://doi.org/10.1111/jiec.12956>
- Hoeksma, P., H. Schmitt, S de Rijk, F. de Buissonjé en P. Sefeedpari (2021) Effluent van mestbewerkingsinstallaties; Wageningen Livestock Research, Rapport 1301
- Hoeksma, P., K. Veldman en F. de Buissonjé (2021). Voorkomen van verspreiding van pathogenen en resistente bacteriën via mest en milieu. Wageningen Livestock Research, Rapport 1312. <https://edepot.wur.nl/545864>
- Hoekstra, B., & Brouwer, A. (2018) *Technische onderbouwing beleidsregels voor risicobeperking gezondheidseffecten via de lucht van mestbewerkingsinstallaties*.
- Hoekstra, N., Bruinenberg, M., Van Houwelingen, K., & Holshof, G. (2022) Adaptief weiden in het veenweidegebied kurzrasen en roterend standweiden - Systeemproef naar effect van beweidingssysteem en intensiteit op gras- en melkproductie, draagkracht en biodiversiteit .
- Hoppenbrouwers, M., & Van den Bergh, C. (2011) Biochar in Vlaanderen? *Landbouw & Techniek*. <https://edepot.wur.nl/302744>
- Huijsmans, J. F. M., Hol, J. M. G., van Schooten, H. A., & Verwijs, B. R. (2017) Ammoniakemissie bij met water verdunde mest toegediend met een sleepvoetenmachine op grasland: resultaten 2016-2017. Wageningen Plant Research; No. WPR-754. Lelystad. <https://doi.org/10.18174/444996>
- Iepema, G., Elferink, E., & Jelsma, M. (2021) *Resultaten onderzoek bokashi*.
- Jetten, R. A. A. (2024) *Kamerbrief aanpassingen bijmengverplichting groen gas*.
- Jurado, M., López, M. J., Suárez-Estrella, F., Vargas-García, M. C., López-González, J. A., & Moreno, J. (2014) Exploiting composting biodiversity: Study of the persistent and biotechnologically relevant microorganisms from lignocellulose-based composting. *Bioresource Technology*, 162, 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.03.145>
- Karimi, B., Sadet-Bourgeteau, S., Cannavacciuolo, M., Chauvin, C., Flamin, C., Haumont, A., Jean-Baptiste, V., Reibel, A., Vrignaud, G., & Ranjard, L. (2022) Impact of biogas digestates on soil microbiota in agriculture: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(5), 3265–3288. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01451-8>
- Klootwijk, C. (2019) Keys to sustainable grazing : economic and environmental consequences of grazing strategies for dairy farms [PhD, Wageningen University]. <https://doi.org/10.18174/472154>
- Koning, L., Holshof, G., Klop, A., & Klootwijk, C. (2022) Enterische methaanemissie van melkvee in relatie tot (vers) graskwaliteit Jaarrapport 2: 2021 - Resultaten van een meerjarige beweidingproef naar methaanemissie bij weidegang, zomerstalvoeding en het voeren van graskuil. <https://edepot.wur.nl/583403>

-
- Kool A., M. Timmerman, H. de Boer, H.J. Van Dooren, B van Dun, M Thijmensen (2005) Kennisbundeling Covergisting, CLM-621-2005
- Lemmens, B., Ceulemans, J., Elslander, H., Vanassche, S., Brauns, E., & Vrancken, K. (2007) *Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor mestbewerking*. <http://www.emis.vito.be>, geraadpleegd op 20-08-2024
- Melse, R. W., De Buissonjé, F. E., Verdoes, N., & Willers, H. C. (2004) *Quick scan van be- en verwerkingstechnieken voor dierlijke mest*. <https://edepot.wur.nl/24640>
- Misselbrook, T., J. Hunt, F. Perazzolo, G. Provololo (2016) Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Slurry Storage: Impacts of Temperature and Potential Mitigation through Covering (Pig Slurry) or Acidification (Cattle Slurry). *Journal of Environmental Quality*. 45(5). <http://doi.org/10.2134/jeq2015.12.0618>
- Nieuwe Oogst (2021) Delphy: compost van reststromen uit bollenteelt van waarde en veilig. <https://www.nieuweoogst.nl/>, geraadpleegd op 20-08-2024
- Nutriman (2021) Thematisch opleidingsmateriaal voor het gebruik van mineralenconcentraat als meststof is gepubliceerd. <https://nutriman.net/>, geraadpleegd op 24-10-2024
- Onrust, J., T. Piersma (2019) How dairy farmers manage the interactions between organic fertilizers and earthworm ecotypes and their predators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 273, pp 80 - 85
- Polman, N., R. Jongeneel (2020) Voor een natuurinclusieve landbouw zijn nieuwe verdienmodellen nodig. *ESB* 150(4791S), <https://esb.nu/voor-een-natuurinclusieve-landbouw-zijn-nieuwe-verdienmodellen-nodig/>
- Provincie Noord-Holland (2023) Buitengewoon Noord-Holland! Startversie Provinciaal Programma Landelijk Gebied. Provincie Noord-Holland
- Provincie Noord-Holland (2024a) BUITENGEWOON NOORD-HOLLAND!; Eerste concept-versie Voorontwerp Provinciaal Programma Landelijk Gebied. Provincie Noord-Holland
- Provincie Noord-Holland (2024b) De staat van de glastuinbouw. https://geoapps.noord-holland.nl/dashboards/2020_015_Glasrapportage.htm. Geraadpleegd op 04-04-2024
- Puente-Rodríguez, D. Gollenbeek, L.R., Verdoes, N. & Bos, A.P. (2022) Perspectief van het aanzuren van mest in Nederland om methaan- en ammoniakemissie te reduceren. Wageningen Livestock Research, Rapport 1375.
- Ravetto Enri, S., Probo, M., Farruggia, A., Lanore, L., Blanchetete, A., & Dumont, B. (2017) A biodiversity-friendly rotational grazing system enhancing flower-visiting insect assemblages while maintaining animal and grassland productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 241, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.030>
- Raza, S. T., Zhu, B., Tang, J. L., Ali, Z., Anjum, R., Bah, H., Iqbal, H., Ren, X., & Ahmad, R. (2020) Nutrients Recovery during Vermicomposting of Cow Dung, Pig Manure, and Biochar for Agricultural Sustainability with Gases Emissions. *Applied Sciences*, 10(24), 8956. <https://doi.org/10.3390/app10248956>
- Regelink, I.C., J.L. van Puffelen, P.A.I. Ehlert, O.F. Schoumans (2021) Evaluatie van verwerkingsinstallaties voor mest en co-vergiste mest. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3120. <https://edepot.wur.nl/554452>
- Rietra, R., K. van Dijk, O. Schoumans (2024) Environmental Effects of Using Ammonium Sulfate from Animal Manure Scrubbing Technology as Fertilizer. *Applied Science* 14, 4998. <https://doi.org/10.3390/app14124998>
- Rietra, R.P.J.J. en G.L. Velthof (2014) Stikstofwerking van mineralenconcentraat onder gecontroleerde omstandigheden; Effecten van aanzuren, vocht en toedieningstechniek. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2518. <https://edepot.wur.nl/309954>
- Rijksoverheid (2022) Startnotitie Nationaal Programma Landelijk Gebied. 10 juni 2022. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. Publicatie-nr. 2210262
- Rijksoverheid (2023) Aanwijzing nutriënten verontreinigde gebieden: samen werken aan schoner water. Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur.
- Roelofs P.F.M.M. en H. Gude (2013) Kwantitatieve informatie reststromen bloembollen, PPO project nummer 32 361596 00 Januari 2013
- Romkens, P. F. A. M., Rietra, R. P. J. J., & Spijker, J. H. (2020) *Aanzet Kennisprogramma Circulaire Terreinbeheer*. 10.18174/520312
- RVO (2020) Onderzoek naar mineralenconcentraat. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. <https://www.rvo.nl/>, geraadpleegd op 11-04-2024

-
- RVO (2023) Stimuleren organische stofrijke meststoffen. <https://www.rvo.nl/>, geraadpleegd op 12-01-2024
- RVO (2024) Fosfaatdifferentiatie. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. <https://www.rvo.nl/>, geraadpleegd op 21-11-2024
- Safwat, S. M., & Matta, M. E. (2021) Environmental applications of Effective Microorganisms: a review of current knowledge and recommendations for future directions. *Journal of Engineering and Applied Science*, 68(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00049-1>
- Schils, R.L.M., R.H.E.M. Geerts, J. Oenema, J. Verloop, F.B.T. Assinck, G.L. Velthof (2014) Effect van gebruik mineralenconcentraat op nitraatuitspoeling: verkennend onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten. Effect van gebruik mineralenconcentraat op nitraatuitspoeling. Verkennend onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2570. <https://edepot.wur.nl/328378>
- Smeding, F., & Langhout, J. (2006) *Riet voor stro - Natuurstrooisel in de potstal*. <https://www.louisbol.nl/sites/default/files/publication/pdf/1791.pdf>
- Smit, H., F. Casu, J. van Gastel, G. Hekkert, S. Veraa, S. Uyttendaele, M. de Haas, E. van der Burgt, R. van de Weide, C. van Dooremalen (2024) *Technische en economische haalbaarheidsstudie van mestvergisting in Noord-Holland*, Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport. <https://doi.org/10.18174/673795>
- Smit, P. (2023) Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2022. Wageningen, Wageningen Economic Research, Rapport 2023-138. <https://doi.org/10.18174/641047>
- Smits, M.-J., Dawson, A., Dijkshoorn-Dekker, M., Ferwerda-van Zonneveld, R., Michels, R., Migchels, G., Polman, N., Schrijver, R., Sukkel, W., Vogelzang, T., & Kistenkas, F. (2020) *Van A naar Biodiversiteit*. <https://edepot.wur.nl/521302>
- Steel, H., & Bert, W. (2012) Biodiversity of compost mesofauna and its potential as an indicator of the composting process status. *DYNAMIC SOIL DYNAMIC PLANT*, 5(2), 45–50.
- Systemic (2017) Factsheet SYSTEMIC Demonstration Plant Groot Zevert Vergisting (Beltrum, NL). SYSTEMIC Circular solutions for biowaste. <https://systemicproject.eu/>
- Termorhuizen, A.J., Postma, R. (2021) Effecten van toevoer van organische stof op bodemgezondheid en bodemvruchtbaarheid. Aad Termorshuizen Consultancy en NMI. 69 pp
- Thangarajan, R., Bolan, N. S., Tian, G., Naidu, R., & Kunhikrishnan, A. (2013). Role of organic amendment application on greenhouse gas emission from soil. *Science of The Total Environment*, 465, 72–96. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.031>
- 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.
- Van Boxmeer, E.G.G., J.C. van Middelkoop, H.J.C. van Dooren (2023) Toevoegen van magnesiumchloride (MgCl₂) aan runderdrijfmest; Huidige stand van zaken van onderzoek naar het effect van MgCl₂ in mest op emissies, bodem en gewas. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1428. <https://edepot.wur.nl/631674>
- Van Boxmeer, E.G.G., N. Verdoes, L.D. Workel, J. Vonk, J.W.H. Huis in 't Veld (2024) Emissies uit verse drijfmest, urine en feces van rundvee, varkens en kalveren; onderzoek in klimaatrespiratiecellen naar emissies van ammoniak, lachgas, koolstofdioxide, methaan en niet-methaan vluchtige organische componenten, waaronder vluchtige vetzuren. Wageningen Livestock Research, Rapport 1495.
- Van Bruggen, C., & Faqiri, F. (2015) *Trends in beweiden en opstallen van melkkoeien en het effect op emissies naar lucht*. <https://www.cbs.nl/-/media/imported/documents/2015/18/2015-trends-in-beweiden-en-opstallen-van-melkkoeien-en-het-effect-op-emissies-naar-lucht.pdf>
- Van der Lugt (2022) Nutriënten verdeling gewassen; opdracht SIGN in kader van studie naar vergroenen meststoffen. Stichting Innovatie Glastuinbouw Nederland. SIGN S220001 Vloeibare meststoffen
- Van Dijk, W., R. Postma, L.R. Gollenbeek, P. Mostert, J. Roefs, N. Verdoes (2020) Behoeftes mestbewerkingsproducten in Nederland en Europa, inventarisatie perspectiefvolle product-markt-combinaties. Wageningen Research, rapport WPR-1011. <https://doi.org/10.18174/528800>
- Van Doorn, A., Melman, D., Westerink, J., Polman, N., Vogelzang, T., & Korevaar, H. (2016) *Food-for-thought: natuurinclusieve landbouw*. <https://doi.org/10.18174/401503>
- Van Gastel J., F. Casu (2023) Praktijkcases van Poppel en Wientjes. NL Next Level mestverwaarden
- Van Os, G., A. van der Lans, J. Lommen, E. van der Wal, D. Keuper (2012) Inventarisatie fosfaatarme organische materialen voor de bollenteelt op duinzandgrond. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Ward N., A. Atkins and P. Atkins, Estimating methane emissions from manure: a suitable case for treatment?, 2024, *Environ. Res.: Food Syst.* 1 (2024) 025003

Wit, J. de, N. van Eekeren, W. Honkoop, J. Pijlman (2020) De waarde van vaste mest - Quick scan mest en natuur in de Krimpenerwaard. Louis Bolk Instituut. Publicatienummer 2020-020 LbD

Bijlage 1 SWOT-analyses technieken

Composteren	
Sterktes	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - Hoge mate van natuurinclusiviteit en aansluiting op de natuurinclusiviteits-doelstelling van Noord-Holland. - Hoog (9) Technology Readiness Level (TRL) (Gollenbeek et al., 2024). - Mogelijk op boerderijschaal. - Dit humus product is vrij van pathogenen (bij voldoende hoge temperatuur tijdens het proces). - Verhoging organisch stofgehalte bodem. - Verbetering watervasthoudend vermogen en bodemstructuur. 	<ul style="list-style-type: none"> - Composteren kan enkel met stromest, met drijfmest verrijkt met structuurrijke organische stof of met de dikke fractie van (mechanisch) gescheiden drijfmest. - Er treden verliezen op aan stikstof. - Er is vorming van de broeikasgassen methaan en lachgas.
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - Hoog hygiëniseringspotentieel, export mogelijk bij gebruik van erkende composteerinstallaties. - Co-compostering met reststromen. - Per 1 januari 2023 is de fosfaatvrijstelling verhoogd van 50% naar 75% voor compost en van 0 naar 25% voor champost (RVO), dit geldt niet voor compost uit dierlijke mest. 	<ul style="list-style-type: none"> - Emissies van ammoniak, lachgas en methaan zijn erg lastig in te schatten vanwege de sterke afhankelijkheid van het management. - De emissies dan wel af- en uitspoeling die gepaard gaan bij aanwending van compost van dierlijke oorsprong zijn erg beperkt bestudeerd en sterk afhankelijk van de samenstelling, wijze van toediening en gewaskeuze.

Vermicomposteren	
Sterktes	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - Redelijke mate van natuurinclusiviteit en aansluiting op de natuurinclusiviteit-doelstelling van Noord-Holland. - Redelijk hoge TRL (7), beperkte doorontwikkeling nodig (Gollenbeek et al., 2024). - Mogelijk op boerderijschaal. - Doordat de temperatuur van het vermicomposteren lager ligt dan bij composteren, is het microbioom zeer divers, wat de plant ten goede komt (Grand, 2020). 	<ul style="list-style-type: none"> - Tijdens vermicompostering treedt ammoniakemissie op. - Ziektekiemen en onkruidzaden kunnen deels aanwezig blijven. - Wormen kunnen slecht tegen hogere ammoniak concentraties en daarom wordt bij vermicomposteren de mest vaak van tevoren gedeeltelijk gecomposteerd. - Vermicompostering moet overdekt plaatsvinden en daardoor zijn de kosten relatief hoog. - De benodigde arbeid en kennisniveau zijn relatief hoog.
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - Co-vermicompostering met reststromen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Op dit moment is dierlijke mest nog uitgesloten van voer voor landbouwhuisdieren. Onduidelijk is of wormen als landbouwhuisdieren gezien moeten worden danwel of wormen hierop een uitzonderingspositie hebben.

Anaerobe fermentatie (bokashi)	
Sterktes	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - Hoge mate van natuurinclusiviteit en aansluiting op de natuurinclusiviteits-doelstelling van Noord-Holland. - Hoge TRL (8) (Gollenbeek et al., 2024). - Mogelijk op boerderijschaal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Onduidelijk of ziekteverwekkers en onkruidzaden worden gedood door het proces. Verwachting is dat veel ervan het overleven door de relatief lage temperatuur van 40°C (Iepema et al., 2021), alhoewel anaerobe omstandigheden de onkruidzaden en ziekteverwekkers wellicht wel elimineren. - Risico op uitspoeling van nitraat, met name in het najaar wanneer gewassen reeds geoogst zijn of weinig N meer opnemen. - Risico op emissie van ammonium en methaan. - Instabieler dan gecomposteerde rundveemest.
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - Co-fermentatie van reststromen. 	<ul style="list-style-type: none"> - De wettelijke status is een grijs gebied. - De vrijkomende emissies van methaan en lachgas tijdens het productie- en aanwendproces zijn nog onvoldoende onderzocht. - Kwaliteit hangt sterk af van de beschikbare/gebruikte input (incl. mogelijke fysische verontreinigingen als blik, papier en plastic).

Stromest	
Sterktes	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - Hoge mate van natuurinclusiviteit en aansluiting op de natuurinclusiviteits-doelstelling van Noord-Holland. - Hoge (9) TRL o.b.v. genoemde praktijkvoorbeelden. - Verhoging organisch stofgehalte bodem. - Verbetering watervasthoudend vermogen en bodemstructuur. - Toepasbaar in biologische sector. - Verbetering van dierenwelzijn. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoge prijs stro. - Arbeidsbehoefte is potentieel hoger.
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - Fosfaatvrijstelling van 25% voor storrijke mest per 1 januari 2023. - Organisch rijk product voor de akkerbouw 	<ul style="list-style-type: none"> - Emissies van stikstof- en broeikasgassen zijn erg afhankelijk van het management en slechts beperkt onderzocht.

Mechanische mestscheiding	
Sterktes	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - Hoge TRL (9) - Simpele techniek om afvoervolume te verlagen 	<ul style="list-style-type: none"> - Niet zozeer een technologie om emissies tegen te gaan eerder een ondersteunende techniek
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - Mogelijkheid verdere verwerking dikke en dunne fractie - Emissie arm opslaan dikke en dunne fractie 	<ul style="list-style-type: none"> - Kans op ammoniakemissie wanneer open uitgevoerd. - Kans op emissies bij opslag dikke en dunne fracties

Anaerobe vergisting	
Sterktes	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - Productie van biogas (energie) - Hoge TRL (9) - Emissiereductie doordat opslagduur van mest wordt verkort 	<ul style="list-style-type: none"> - De installatie is redelijk prijzig, waardoor dit pas bij 180 – 350 koeien financieel haalbaar is. - Het kennisniveau en de energie- en arbeidsbehoefte zijn hoog. - Potentieel negatieve mate van natuurinclusiviteit en aansluiting op de natuurinclusiviteitsdoelstelling van Noord-Holland.
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - Hogere emissiereductie bij gebruik van verse mest. - De bijmengverplichting groen gas van 3,8 megaton (Mton) CO2 ketenemissiereductie in 2030 (Jetten, 2024). - Vraag vanuit co-vergistinginstallaties waar het i.c.m. reststromen uit bijv. de humane voedingsindustrie vergist wordt. 	<ul style="list-style-type: none"> - Afnemende mestproductie kan leiden tot lagere benutting van de vergister. - Verdienmodel afhankelijk van SDE++-subsidies.

N strippen en scrubben	
Sterktes	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - Sterke ammoniak emissiereductie bij opslag en aanwending - Hoge TRL (9) - Geen ziekten of onkruiden in het stikstof concentraat 	<ul style="list-style-type: none"> - Vrijkomende geur - Het stikstofconcentraat bevat weinig organische stof, fosfaat en kalium
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - Het eindproduct voldoet aan RENURE eisen (momenteel nog geen huidig beleid) - Twee mestproducten: mineraal N product met 5 – 8% stikstof bij zwavelzuur, 15 – 20% bij salpeterzuur; P/K/OS product als basismeststof. - In plaats van zwavel- of salpeterzuur is het mogelijk om een organische zuur (zoals citroenzuur) te gebruiken. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gebruik van zwavel- of salpeterzuur is niet natuur-inclusief - Bij gebruik van zwavelzuur zal bij aanwending op het land mogelijk de zwavelnorm overschreden worden. - Gebruik van alternatieve zuren, zoals salpeterzuur, gaan gemoeid met hogere kosten en meer veiligheidsaspecten.

Aanzuren	
Sterktes	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - Ammoniakemissiereductie - Sterke methaanemissiereductie - Hoge TRL (9) - Geen grote veranderingen in bedrijfssysteem nodig. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gebruik van zwavel- of salpeterzuur is niet 'natuur-inclusief'
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - In plaats van zwavel- of salpeterzuur is het mogelijk om een organische zuur (zoals citroenzuur) te gebruiken. - Aanzuren kan ook via een biologische omzetting van makkelijk afbreekbare organische stoffen. - De biogasopbrengsten zullen hoger zijn dan bij niet geconserveerde mest. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bij gebruik van zwavelzuur kan maar een beperkte hoeveelheid stikstof kunnen worden toegediend om een te hoge zwavelgift te voorkomen. - Gebruik van alternatieve zuren, zoals salpeterzuur, gaan gemoeid met hogere kosten en meer veiligheidsaspecten. - Inzet van makkelijk afbreekbare organische stof kan mogelijk hoogwaardiger ingezet worden.

Verdunnen	
Sterktes	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - Reductie van ammoniakemissie in stal, opslag en bij aanwending. - Hoge TRL (9) - Samenstelling van de mest blijft gelijk (alleen concentratie verandert) - Mest wordt (nog) beter verpompbaar - Hogere beschikbaarheid van stikstof 	<ul style="list-style-type: none"> - Verhoging van het mestvolume - Werking moet goed geborgd worden.
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - Combinatie met sleepvoet voor aanwenden 	<ul style="list-style-type: none"> - Voor verdunnen van mest in de stal zijn nog geen definitieve emissiefactoren vastgesteld.

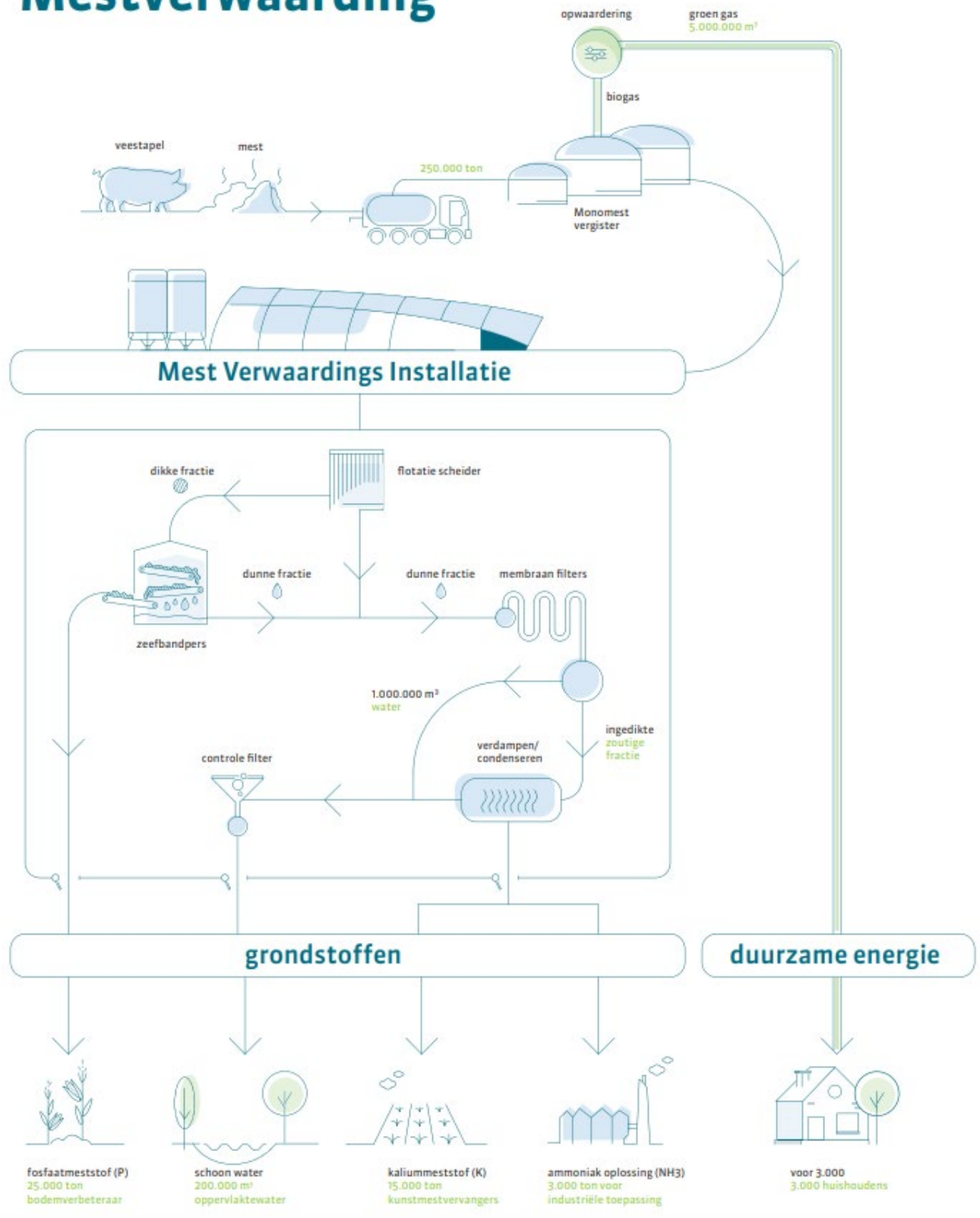
Biologische zuivering	
Sterktes	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - Ammoniak in mest wordt omgezet in niet schadelijk stikstofgas (N₂). - Effluent is rijk aan K. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mest moet vooraf mechanisch gescheiden worden. - Hoog energieverbruik.
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - Wordt vooral bij centrale mestbewerking ingezet, kan technisch ook op bedrijfsschaal mits voldoende volume mest. 	<ul style="list-style-type: none"> - Niet circulair, omdat stikstof verloren gaat. - Risico op het ontstaan van lachgas (N₂O).

Filtratie en omgekeerde osmose	
Sterktes	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - TRL is 9 (Gollenbeek et al., 2024). - Permeaat mag (met aanvullende voorschriften) worden geloosd op oppervlaktewater. - Geconcentreerd N en K product. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hogere ammoniakemissie bij opslag en aanwending i.v.m. hoge concentratie. - Hoog energie verbruik. - Na verloop van tijd vervuilen de membranen. - Voorbehandeling (scheiden, filteren) noodzakelijk
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - Kunstmestvervanger (RENURE) - Wordt vooral bij centrale mestbewerking ingezet, kan technisch ook op bedrijfsschaal mits voldoende volume mest. 	<ul style="list-style-type: none"> - Behandeling niet economisch haalbaar voor bedrijfsniveau

Pyrolyse	
Sterktes	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - Productie van energie (gas) - Koolstofrijk product 	<ul style="list-style-type: none"> - Biochar uit mest mag niet als meststof worden geëxporteerd
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - Biochar kan als bodemverbeteraar dienen 	<ul style="list-style-type: none"> - Niet geschikt op bedrijfsniveau - NOX kan ontstaan bij pyrolyse

Bijlage 2 Schema Twence

Mestverwaarding



Overgenomen van <https://www.twence.nl/processen/biomassa-verwerken>, september 2024

Bijlage 3 Uitgangspunten modelberekening

De algemene uitgangspunten staan beschreven in Smit et al. (2024). Onderstaande tabel geeft de uitgangspunten weer voor een aantal specifiek voor de in dit onderzoek doorgerekende scenario's.

Tabel A3.1 *Uitgangspunten modelberekeningen specifiek voor de in dit onderzoek doorgerekende mestroutes.*

Onderdeel	Waarde	Eenheid
Kosten mest aanvoeren	-8	€/ton
Kosten afvoer dikke fractie naar centrale composteerder	20	€/ton
Dosering melasse	28	L/m ³
Kosten melasse	0,23	€/L
Tarief mobiele N-stripper	14,85	€/ton
• Rente en afschrijving	1,38	€/ton
○ Investering	600.000	€
○ Capaciteit	8	m ³ /uur
○ Inzetbare uren	6500	uur
○ Rente	4	%
○ Afschrijving	10	%
• Rente en afschrijving niet operationeel	0,10	€/ton
• Energie	2,98	€/ton
• Hulpstoffen (natronloog en zwavelzuur)	6,87	€/ton
○ Kosten natronloog	0,43	€/kg 25% NaOH
○ Dosering natronloog	15	kg/ton (dunne fractie)
○ Kosten zwavelzuur	0,15	€/kg
○ Dosering zwavelzuur	3,5	kg/kg NH ₃ -N
• Arbeid	1,18	€/ton
○ Aantal uren	25	Uren
○ Uurtarief	60	€/uur
• Onderhoud	0,39	€/ton
• Marge	15	%

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



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

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

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

