



Mogelijke mest behandelingen op bedrijfsniveau

PPS, betere stal, betere mest, betere oogst

Auteurs | Luuk Gollenbeek, Stefan Hol en Rommie van der Weide

WPR-OT 952
gewijzigde versie

Mogelijke mestbehandelingen op boerderijschaal

PPS Betere Stal, betere Mest, betere Oogst

Auteurs: Luuk Gollenbeek, Stefan Hol, & Rommie van der Weide

Wageningen University & Research

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen de PPS Betere Stal, betere Mest, betere Oogst van de topsector Agri & Food (TKI-AF-LWV20.245). Dit project ontvangt financiële steun van de Topsector Agri & Food. Binnen de Topsector werken bedrijfsleven, kennisinstellingen en de overheid samen aan innovaties voor lekker, veilig en gezond voedsel voor 9 miljard mensen in een veerkrachtige wereld.

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, augustus 2024

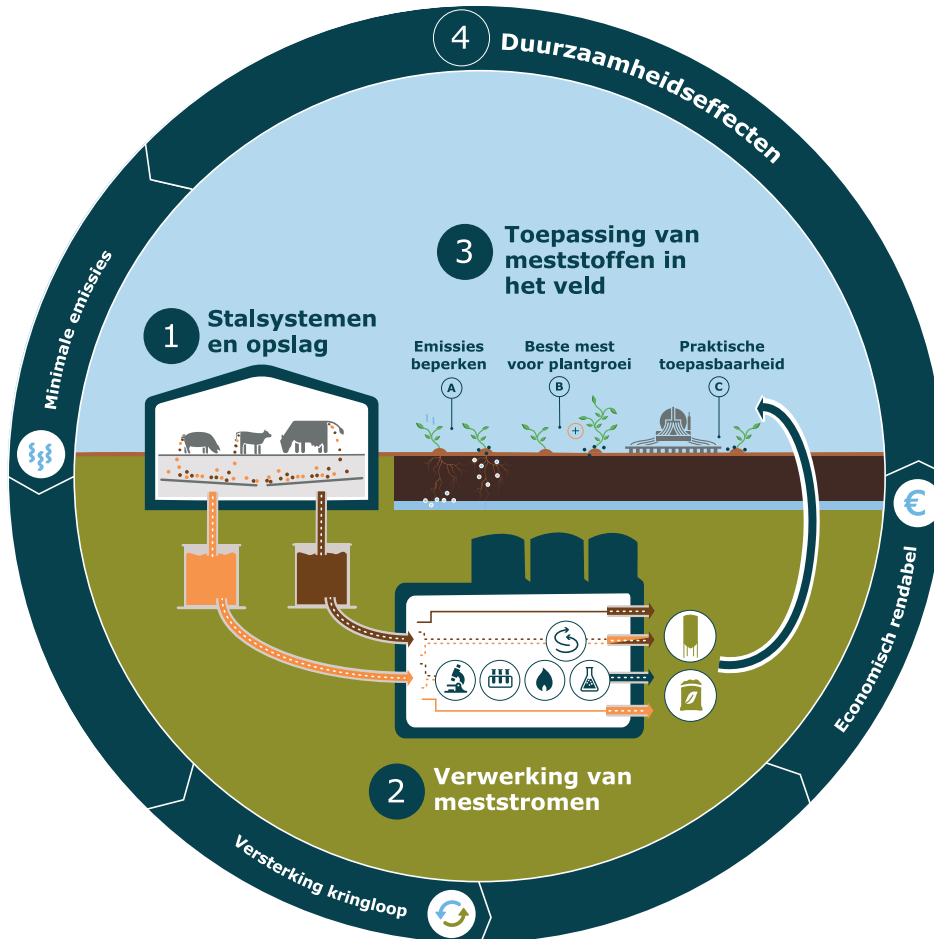
(betreft een herziening van versie 2022 Wevers, K; S. Hol, D. Meijvogel, R. van der Weide en L.R. Gollenbeek

Rapport WPR-OT 952



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

bsmo



2Split: Pigs

FME POWERED BY DUTCH TECHNOLOGY

Cooperl N2 — Applied

SBK Stichting Brancheorganisatie Kalvesector



HANSKAMP Innovation for dairy farming

Pigster Oirschot B.V.

Maatschap Thelosen-Van Haren



provincie Overijssel

nem



Provincie Zeeland

VEREIJKEN



Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit



swaans agra

provincie limburg gesubsidieerd door de Provincie Limburg



provincie Gelderland

Provincie Noord-Brabant



SusStable Created by Pigfarmers



ZLTO

VOGELSANG

WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/584504>

Samenvatting

In deze rapportage is geïnventariseerd welke bestaande en nieuwe technologieën ingezet kunnen worden voor de mestbewerking op boerderijschaal. Hierbij is ook gekeken naar welke mestproducten uit nieuwe stalconcepten geschikt zijn om te verwerken en zodoende de meststromen beter te verwaarden. Technieken zijn beschreven, de benodigde kwaliteit van de meststroom is bepaald en de potentie voor toepasbaarheid op boerderijschaal is onderzocht. Geformuleerd is welke technieken of welke combinatie van technieken toekomst zouden kunnen hebben voor een betere verwaarding van mestproducten bij nieuwe stalconcepten.

Abstract

In this report an inventory is made about which existing and novel technologies are suitable for manure processing on the farm. This includes new stable concepts, to better valorize the manure streams and to see where issues arise. Each technique has a brief description, the quality of the in- and output of the manure is assessed and the potential of the technique on the farm is researched. Formulated is which techniques, or which combination of techniques has future in the valorization of manure products from new stable concepts.

Trefwoorden; mestverwerking, mestbewerking, digestaat, dikke fractie, dunne fractie, mestscheiding, urine, strippen, plasmabehandeling, vergisting, composteren, bokashi, BSF, vermicompost, indampen, omgekeerde osmose, thermische oxidatie.

Keywords: manure processing, manure treatment, digestate, solid fraction, liquid fraction, manure separation, urine, stripping, plasma treatment, fermentation, composting, bokashi, BSF, vermicompost, evaporation, reverse osmosis, thermal oxidation.

© 2022 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0320 - 291 111; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Report WPR-952

Foto omslag: Lely International N.V.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	10
1.1 Aanleiding	10
1.2 Doel van de studie	10
1.3 Inhoud van het rapport	10
1.4 Werkwijze	11
2 Overzicht verschillende technieken	12
2.1 Technieken	12
2.2 Samenstelling mestproducten	19
3 Chemische behandelingen	21
3.1 Strippen en Scrubben	21
3.1.1 Type mest	21
3.1.2 Omschrijving	21
3.1.3 Kwaliteit van mest na behandeling	22
3.1.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	22
3.1.5 Schaal van de techniek	22
3.2 Mest verdunnen	22
3.2.1 Type mest	22
3.2.2 Omschrijving	22
3.2.3 Kwaliteit van de mest	23
3.2.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	23
3.2.5 Schaal van de techniek	23
3.3 Aanzuren van mest	23
3.3.1 Type mest	23
3.3.2 Omschrijving	24
3.3.3 Kwaliteit van mest na behandeling	24
3.3.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	24
3.3.5 Schaal van de techniek	24
3.4 Chemische mestadditieven	25
3.4.1 Type mest	25
3.4.2 Omschrijving	25
3.4.3 Kwaliteit van de mest	26
3.4.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	26
3.4.5 Schaal van de techniek	26
4 Biologische behandelingen	27
4.1 Mestvergisting	27
4.1.1 Type mest	27
4.1.2 Omschrijving	27
4.1.3 Kwaliteit van mest na behandeling	28
4.1.4 Verwachte emissies en broeikasgassen	28
4.1.5 Schaal van de techniek	28
4.2 Biologische zuivering	28

4.2.1	Type mest	28
4.2.2	Omschrijving	29
4.2.3	Kwaliteit van mest na behandeling	29
4.2.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	29
4.2.5	Schaal van de techniek	29
4.3	Composteren	29
4.3.1	Type mest	29
4.3.2	Omschrijving	29
4.3.3	Kwaliteit van mest na behandeling	30
4.3.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	31
4.3.5	Schaal van de techniek	31
4.4	Vermicomposteren	32
4.4.1	Type mest	32
4.4.2	Omschrijving	32
4.4.3	Kwaliteit van de mest	32
4.4.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	32
4.4.5	Schaal van de techniek	32
4.5	Insectenweek op mest	33
4.5.1	Type mest	33
4.5.2	Omschrijving	33
4.5.3	Kwaliteit van de mest	33
4.5.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	33
4.5.5	Schaal van de techniek	33
4.6	Aquatische biomassa groei op dunne fractie	34
4.6.1	Type mest	34
4.6.2	Omschrijving	34
4.6.3	Kwaliteit van de mest	35
4.6.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	35
4.6.5	Schaal van de techniek	35
4.7	Biologische mestadditieven	35
4.7.1	Type mest	35
4.7.2	Omschrijving	35
4.7.3	Kwaliteit van mest na behandeling	36
4.7.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	36
4.7.5	Schaal van de techniek	36
4.8	Bokashi productie	36
4.8.1	Type mest	36
4.8.2	Omschrijving	36
4.8.3	Kwaliteit van mest na behandeling	37
4.8.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	37
4.8.5	Schaal van de techniek	37

5 Fysische behandelingen 38

5.1	Mechanische scheiding	38
5.1.1	Type mest	38
5.1.2	Omschrijving	38
5.1.3	Kwaliteit van de mest	38
5.1.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	38
5.1.5	Schaal van de techniek	38
5.2	Flotatie/ DAF	39
5.2.1	Type mest	39
5.2.2	Omschrijving	39
5.2.3	Kwaliteit van de mest	39

5.2.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	39
5.2.5	Schaal van de techniek	39
5.3	Reversed Osmosis en filtratie dunne fracties	40
5.3.1	Type mest	40
5.3.2	Omschrijving	40
5.3.3	Kwaliteit van mest na behandeling	41
5.3.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	41
5.3.5	Schaal van de techniek	41
5.4	Electrodialyse	41
5.4.1	Type mest	41
5.4.2	Omschrijving	41
5.4.3	Kwaliteit van mest na behandeling	41
5.4.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	41
5.4.5	Schaal van de techniek	42
5.5	Indampen van vloeibare mestfracties	42
5.5.1	Type mest	42
5.5.2	Omschrijving	42
5.5.3	Kwaliteit van de mest	42
5.5.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	42
5.5.5	Schaal van de techniek	42
5.6	Drogen van vaste mestfracties	43
5.6.1	Type mest	43
5.6.2	Omschrijving	43
5.6.3	Kwaliteit van de mest	43
5.6.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	43
5.6.5	Schaal van de techniek	43
5.7	Korrelen	44
5.7.1	Type mest	44
5.7.2	Omschrijving	44
5.7.3	Kwaliteit van de mest	44
5.7.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	44
5.7.5	Schaal van de techniek	44
5.8	Verbranden en vergassen	45
5.8.1	Type mest	45
5.8.2	Omschrijving	45
5.8.3	Kwaliteit van mest na behandeling	45
5.8.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	45
5.8.5	Schaal van de techniek	45
5.9	N2 Plasma behandeling van het vloeibare organische substraat	45
5.9.1	Type mest	45
5.9.2	Omschrijving	45
5.9.3	Kwaliteit van mest na behandeling	46
5.9.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	46
5.9.5	Schaal van de techniek	47
5.10	Fysische mestadditieven	47
5.10.1	Type mest	47
5.10.2	Omschrijving	47
5.10.3	Kwaliteit van mest na behandeling	47
5.10.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	47
5.10.5	Schaal van de techniek	48
5.11	Mestmixen	48
5.11.1	Type mest	48
5.11.2	Omschrijving	48

5.11.3	Kwaliteit van mest na behandeling	48
5.11.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	48
5.11.5	Schaal van de techniek	48
6	Luchtbehandelingen	49
6.1	Luchtwater	49
6.1.1	Toepassing	49
6.1.2	Omschrijving	49
6.1.3	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	49
6.1.4	Schaal van de techniek	49
6.2	Luchtfilter	49
6.2.1	Toepassing	49
6.2.2	Omschrijving	50
6.2.3	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	51
6.2.4	Schaal van de techniek	51
6.3	Oxidatie methaan	51
6.3.1	Toepassing	51
6.3.2	Omschrijving	51
6.3.3	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	52
6.3.4	Schaal van de techniek	52
7	Combinaties van technieken	53
7.1	Stalsysteem en mestverwerking	54
7.2	RENURE	54
8	Conclusie	57
9	Referenties/ bronnen	59
10	Appendix	62

Woord vooraf

Bij het streven naar kringlooplandbouw in Nederland met minimale emissies naar het milieu zijn er een aantal belangrijke ontwikkelingen gaande. Eén daarvan is de implementatie van nieuwe stalsystemen in de veehouderij. Deze nieuwe stalsystemen werken met frequent afvoeren van de mest en in een aantal gevallen met het scheiden van feces en urine bij de bron. Een belangrijk voordeel hiervan zijn lagere emissies aan ammoniak en broeikasgassen t.o.v. traditionele stalsystemen. Een tweede voordeel is dat deze gescheiden meststromen grote kansen bieden voor toepassing verderop in de keten, bijvoorbeeld als organische meststof of bodemverbeteraar, als bron van groene energie, of als kunstmestvervanger. De uitdaging is om deze meststromen dusdanig in de plantaardige productie toe te passen dat zowel de verliezen (emissies naar lucht en grondwater) minimaal zijn, als dat de economische waarde maximaal is.

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

De PPS Betere Stal, betere Mest, betere Oogst richt zich op onderzoek naar meststromen uit nieuwe stalconcepten, hoe deze bijdragen aan de reductie van ammoniak, methaan en lachgas en tegelijkertijd 'nieuwe' mestproducten opleveren. In de PPS wordt onderzocht hoe deze 'nieuwe' mestproducten zo goed mogelijk aansluiten bij de toepassing in het veld en gewas en als bron van groene energie. Kringlooplandbouw met minimale emissies naar het milieu is het streven in de Nederlandse landbouw. Twee nieuwe ontwikkelingen dragen hieraan bij, nieuwe stalsystemen (scheiding van feces en urine wat leidt tot een emissiereductie, of snelle afvoer van mest) en precisielandbouw wat leidt tot de juiste veldtoepassing. De Publieke Private Samenwerking (PPS) Betere Stal, betere Mest, betere Oogst brengt de knelpunten en kansen in beeld van deze nieuwe ontwikkelingen. Uiteindelijk leidt dit tot een optimale verwaarding van meststromen uit de stallen die aansluiten bij de precisielandbouw.

De PPS wordt uitgevoerd in samenwerking tussen het ministerie van LNV en een consortium van verschillende partijen; Stichting Nederlands Centrum voor mestverwaarding, BO Akkerbouw, Melkveefonds, Stichting Brancheorganisatie Kalversector (samengevoegde partners LTO, SBK en VanDrie), ZLTO, Vereijken Hooijer B.V., Vereniging FME, Maatschap Thelosen-van Haren, Sanitation, Hanskamp AgroTech BV, Susstable B.V., 2Split: Pigs, Vogelsang B.V., Kamplan B.V., Swaans Beton, Pigster Oirschot B.V., en N2 Applied, Lely Industries NV.

Het programma kent 5 werkpakketten (WP):

WP1: Karakteriseren van meststromen die beschikbaar zijn uit nieuwe stalsystemen

WP2: Bepalen welke tussenbewerking de meststroom geschikt maakt voor de afnemer, met minimale emissie

WP3: Bepaling en optimalisatie van hoe de nieuwe meststromen passen bij plantaardige productie

WP4: Beperking van totale emissies in de gehele mestverwerkingsketen

WP5: Communicatie; Bereiken van verhoogde adoptie van nieuwe stalconcepten, bewerkingen en bemesting van mestsoorten, die economisch haalbaar zijn zonder ongewenste lekverliezen.

Dit rapport behoort tot werkpakket 2 en is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en Wageningen Plant Research. Dit rapport betreft een herziening van de eerste versie januari 2023, tekstueel is het een en ander aangepast en er zijn een aantal mestbewerkingen toegevoegd.

Meer informatie: www.wur.nl/bsmo

Luuk Gollenbeek: luuk.gollenbeek@wur.nl +31317486731

Rommie van der Weide: rommievanderweide@wur.nl +31320291631

Samenvatting

Dit rapport is een inventarisatie van mogelijke mestbewerkingstechnieken die toe te passen zijn op boerderijschaal voor verschillende meststromen en valt onder werkpakket 2 van de PPS Betere Stal, betere Mest, betere Oogst. Dit rapport beschrijft niet de scheidingstechnieken in de stal (bijvoorbeeld emissiearme vloeren of het koetoilet), deze vallen onder werkpakket 1 en vallen buiten de scope van dit rapport. Verwerkte nieuwe meststromen worden aangewend op het land, wat onder werkpakket 3 valt. In deze inventarisatie zijn de mogelijke stromen uit de stal of de vergister; urine/gier, vaste mest, drijfmest, digestaat, dikke en de dunne fractie na scheiding van mest of digestaat. De mestbewerkingstechnieken in dit rapport zijn onderverdeeld in chemische (technieken gebaseerd op chemische reacties), biologische (technieken gebaseerd op omzettingen door micro-organismen, insecten en wormen) en fysische (scheidings)technieken (processen gebaseerd op deeltjesgrootte of processen die gestuurd worden door toevoeging van water, lucht, elektriciteit en/of warmte). De techniek is omschreven samen met de kwaliteit van de mest en hoe de bewerking de kwaliteit van de mest en eventuele emissie zal veranderen/verbeteren. Een greep uit de beschreven technieken zijn strippen/scrubben, het aanzuren van (drijf)mest, N₂plasmabehandelingen, composteren, vergisting, biologische omzetting, indampen/drogen (zie ook tabel 1 in de hoofdtekst). Aan het einde van dit rapport is een overzicht gegeven welke technieken mogelijk gecombineerd kunnen worden en die ook al in de praktijk uitgevoerd worden. Dit rapport moet gezien worden als een inventarisatie van bestaande technieken die al gebruikt worden of potentie hebben op boerderijschaal.

Deze inventarisatie vormt de basis om samen met de verzamelde informatie van werkpakket 1 (stalsystemen) en werkpakket 3 (bodem en gewas) optimale mestroutes te dimensioneren, waarbij de kwaliteit van de mestproducten aansluit bij de behoeften van bodem en gewas en emissies naar de omgeving zo laag mogelijk zijn. In samenwerking met de andere werkpakketten zullen mestverwerking scenario's gecreëerd worden die gedurende het project worden doorgerekend. Voor deze scenario's zullen aanvullende gegevens verzameld worden.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Binnen de Publiek Private Samenwerking (PPS) 'Betere stal, betere Mest, betere Oogst (BSMO) wordt gezocht naar integrale optimalisatie van innovatieve stalsystemen, mestbewerking en aanwending van mest. Oftewel hoe worden op bedrijfsschaal verliezen (emissies stikstof en broeikasgassen) voorkomen en welke mestproducten sluiten goed aan bij de vraag van plant en bodem. Wet- en regelgeving en onderzoek zijn vaak gericht op aparte onderdelen van de mestketen, dit project beoogt een integrale benadering.

Dit project is opgedeeld in vijf werkpakketen, die de volgende vragen beantwoorden;

- WP1 Stal: Welke behandeling van mest op de boerderij is nodig om een goede grondstof te zijn voor hoogwaardige producten?
- WP2 Ver-/Bewerking: Welke technologie en technische ontwikkelingen zijn nodig om tot een waardevol mestproduct te komen die aansluit bij de vraag vanuit bodem en plant met minimale verliezen.
- WP3 Veld: Welke mestkwaliteit is nodig op het veld?
- WP4 Duurzaamheid: Hoe duurzaam zijn deze nieuwe technieken en zijn ze emissiearm?
- WP5 Communicatie: Hoe worden nieuwe technieken onder de aandacht/op de markt gebracht?

Het voorliggende rapport betreft een inventarisatie van de beschikbare mestbewerkingstechnieken in het kader van werkpakket 2 mestbewerking. Deze inventarisatie wordt gebruikt om tezamen met de werkpakketten Stal, Veld en Duurzaamheid te werken aan een duurzame en economisch haalbare oplossing voor de mestketen op bedrijfsniveau.

Een goede mestbewerkingscyclus draagt bij aan circulaire landbouw. Om een integraal emissiearm systeem te kunnen realiseren is het van belang om naar alle aspecten van de cyclus te kijken. Dat betekent dat het begint bij een emissiearm stalsysteem (bijvoorbeeld met scheiding feces en urine), waarna de mest vervolgens opgewerkt kan worden tot waardevolle meststromen. Deze meststromen kunnen op het juiste moment, in de juiste hoeveelheden worden toegepast in de landbouw, met zo weinig mogelijk verliezen. Met deze mestproducten kan tevens de precisielandbouw bediend worden, maar denkbaar is het maken van kunstmestvervangers.

1.2 Doel van de studie

Het doel van deze studie is het in kaart brengen van mestbewerkingssystemen die inzetbaar zijn in combinatie met nieuwe emissiearme stalsystemen, zodat hoogwaardige mestproducten geproduceerd kunnen worden. Specifiek is gekeken naar de inzet van de mestverwerkingstechnieken op boerderijschaal.

1.3 Inhoud van het rapport

In dit rapport worden verschillende behandelingen en mestbewerkingstappen omschreven, geordend in chemische, biologische en fysische behandelingen. Omdat het project de focus legt op systemen die op boerderijschaal ingezet kunnen worden, is de mogelijke schaal van iedere techniek benoemd en toegelicht. Technieken die worden uitgediept, zijn of al mogelijk op boerderijschaal, of zijn in ontwikkeling en interessant in de toekomst. Per techniek wordt er kort uitgelegd welke typen mest geschikt zijn, gevolgd

door een korte beschrijving van de techniek. Vervolgens wordt er genoemd wat de bewerking met de mest heeft gedaan en op welke schaal de techniek toepasbaar is. Verder wordt in dit rapport toegelicht welke technieken kansrijk zijn in combinatie met de stalsystemen uit WP1 en de beoogde bemestingsproducten uit WP3. Ook wordt er gekeken waar in de keten het mogelijk is om de productie van biogas te realiseren.

1.4 Werkwijze

Er is een deskstudie uitgevoerd op basis van wetenschappelijke literatuur (artikelen en rapportages), grijze literatuur (rapportages en websites), commerciële websites (websites leveranciers). Daarnaast hebben de partners van deze PPS informatie aangeleverd. Als startpunt zijn de website van NUTRIMAN (<https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology-categories>), de rapportages van NL Next level mestverwaarden en de website van het Nederlandse Centrum voor Mestverwaarding (NCM, <https://www.mestverwaarding.nl/>) meegenomen.

2 Overzicht verschillende technieken

2.1 Technieken

In tabel 1 zijn de verschillende mestbehandelingstechnieken samengevat weergegeven. In de tabel worden ook de Technology Readiness Levels gegeven. Daarnaast wordt in de appendix uitleg gegeven over de TRL-systematiek. Omdat dit rapport de mogelijkheden verkent die in de agrarische sector direct toegepast kunnen worden zonder verdere ontwikkeling, wordt er gefocust op de technieken met een TRL van 7 of hoger. De technieken met een TRL van 6 of lager zijn nog niet voldoende ontwikkeld om in de praktijk op korte termijn toegepast te worden. Deze technieken zijn daarom ook niet beschreven in dit rapport, mits er aanleiding is om te verwachten dat technieken een snelle ontwikkeling kunnen doorlopen. Een overzichtstabel van meerdere technieken, zowel degene die opgenomen zijn in dit rapport, als degene die een te lage TRL hebben is toegevoegd in de appendix. De behandelingen zijn geordend in chemische, biologische en fysische behandelingen. De meeste behandelingen zijn niet strikt chemisch, fysisch of biologisch, maar eerder een combinatie. Om de lijst overzichtelijk te houden, zijn ze ingedeeld op het belangrijkste achterliggende principe van de behandeling. Onder chemisch worden behandelingen geschaard die gebaseerd zijn op chemische reacties. Onder biologisch verstaan we behandelingen die met gebruik/behulp van (micro-)organismen plaatsvinden. Onder fysisch zijn de behandelingen geplaatst die gebaseerd zijn deeltjesgrootte en deeltjes dichtheid en processen die gestuurd worden door toevoeging van water, lucht, elektriciteit en/of warmte.

In tabel 1 staan alle technieken die in dit rapport behandeld worden, samen met de informatie voor welke type mest de techniek geschikt is en wat het effect is van de mestbewerking op de gehalten aan organische stof en de stikstof in de mest. De verschillende meststromen uit de stalsystemen zijn afhankelijk van het gekozen stalsysteem waarbij de kennis hierover uit WP1 zal komen. Voorlopige resultaten uit werkpakket 1 laten zien dat rekening gehouden moet worden met scheiding bij de bron (producten urine/gier en feces), snelle afvoer (verse drijfmest, verse urine/gier of verse feces), of organisch verrijkte mest (stapelbare mest/stromest).

Het inzetten van mestverwerking kan verschillende redenen hebben, mestverwerking kost geld dus kosten en baten moeten goed afgewogen worden. De aanleiding om tot mestverwerking over te gaan zal meestal een mestoverschot op bedrijfsniveau zijn. Mestverwerking kan dan ingezet worden om mestproducten te maken:

- met een verhouding nutriënten die beter past bij bodem en gewas zodat minder mest afgevoerd hoeft te worden
- die exportwaardig zijn (gehygiëniseerd, droger en geconcentreerder product)
- waardoor minder transportkosten gemaakt worden (volumevermindering)
- met een RENURE-status zodat stikstof hoogwaardig ingezet kan worden (let op RENURE is nog niet erkend en er wordt op Europees niveau nog gediscussieerd over de precieze invulling), eventueel met verrijking
- of producten die buiten de landbouw van nut zijn

Maar mestverwerking kan ook andere doelen nastreven bijvoorbeeld het reduceren van ammoniak- en broeikasgasemissies tijdens opslag of bij het aanwenden (bijvoorbeeld aanzuren, verdunnen en strippen scrubben). Mestbewerking kan ook leiden tot mestproducten die beter of anders aan te wenden zijn. Dan spelen bijvoorbeeld praktische zaken als verpompbare of juist stapelbare mest, hoge gehalten waardegevende bestanddelen of juist het inzetten van dierlijke mest als bodemverbeteraar met een hoog organisch stofgehalte.

Over het algemeen is het gunstig voor emissievermindering (zowel ammoniak als methaan), om de mestverwerking met verse mest te laten plaatsvinden. Dit levert ook voordelen op bij de mestverwerking. Vergisting van verse mest levert bijvoorbeeld een hoger biogaspotentieel. Dit maakt het aansluiten bij nieuwe stalsystemen extra interessant.

Tabel 1 Schematisch overzicht met de verschillen mestverwerking technieken en samengevat de belangrijkste parameters.

Methodie	Techniek	TRL	Toepasbaar op welk type mest of digestaat stroom?	Doel*	Mestproducten	Organische stofgehalte (OS)	Stikstofgehalte	Opmerking
Chemisch	Strippen en Scrubben	9	Dunne fractie van drijfmest of digestaat	1 en 3	Ammoniak arme mest N-rijke oplossing	N-rijke oplossing bevat nauwelijks organische stof.	N-rijke oplossing hoog minerale stikstofgehalte	Onkruidzaden en ziektekiemen vooral in dunne fractie (afhankelijk van gebruikte T en of pH). N-rijke oplossing geen onkruidzaden, kleine kans op ziektekiemen
	Verdunnen (minder emissies)	7-9	Drijfmest/ digestaat	3	Verdunde mest	Verlaging OS-gehalte i.v.m. verdunning.	Stikstof concentratie lager door het verdunnen	Onkruidzaden en ziektekiemen worden niet gedood.
	Aanzuren van drijfmest	7-8	Drijfmest/digestaat dunne fractie, urine/gier	3	Aangezuurde mest	Organisch materiaal blijft aanwezig.	Vermindering stikstofemissies. Bij gebruik salpeterzuur verdubbeld ruwweg de stikstofconcentratie.	Onkruidzaden en ziektekiemen mogelijk verminderd via aanzuren.
	Chemische additieven	4 t/m 9 (diverse middelen)	Drijfmest/digestaat, dikke fractie/feces	3	Diverse	Beperkt effect.	Afhankelijk van toevoegmiddel.	Afhankelijk van toevoegmiddel.
Biologisch	Mestvergisting	9	Alle vormen van mest met organische stof	3, 5 en 7	Digestaten	Vooraf makkelijk afbreekbare organische stof wordt afgebroken. Effectieve organische stof blijft over	Deel organisch gebonden stikstof omgezet naar minerale stikstof	Ziektekiemen en onkruidzaden zijn deels onschadelijk gemaakt

Biologische zuivering	9	Dunne fractie die ontstaat na messcheden	1, 3 en 6	Slib en een ammoniumarme vloeistofstroom	Organische stof blijft over in het slib	Ammonium is voor een groot deel omgezet in stikstofgas	Ziektekiemen en onkruidzaden worden beperkt gedood
Composteren	9	Voornamelijk de dikke mestfracties	4 en 5	Compost uit dierlijke mest, eventueel spuiwater uit luchtwasser	Effectieve organische stof blijft over, makkelijk verteerbare organische stof is afgebroken	Stikstof vooral aanwezig in organische vorm. Er treedt emissie van ammoniak op	Ziektekiemen en onkruidzaden worden (grotendeels) onschadelijk gemaakt, bereiken van 70 °C (afhankelijk van de gebruikte composteer techniek)
Vermicomposteren	7	Digestaat en de dikke fractie (feces) fractie van mest	4	Rul mestproduct, eventueel spuiwater uit luchtwasser	Organisch materiaal wordt deels afgebroken, door verdamping water hoger drogestofgehalte	Er treedt emissie van ammoniak op	Ziektekiemen en onkruidzaden kunnen deels aanwezig blijven
Insectenkweek op mest	7	Digestaat en de dikke fractie (feces) fractie van mest	1, 2 en 6	Eiwitrijke biomassa en frass	Makkelijk afbreekbaar organisch materiaal wordt omgezet	Er treedt emissie van ammoniak op	Ziektekiemen en onkruidzaden kunnen deels aanwezig blijven
Aquatische biomassa groei op dunne fractie	7	Dunne fractie, gier/urine	1 en 2	Dunne fractie gier/urine, met verminderde concentraties aan nutriënten. Vaak verdund i.v.m. aquatische teelt	OS neemt af in de meststroom. Wel vastlegging os in biomassa	Concentraties nemen af in het kweekmedium. Tevens vaak verdunning nodig voor kweek (volume vergroting)	Biomassa kan een bron van eiwitten zijn, i.p.v. een meststof. Onkruidzaden en ziektekiemen worden niet gedood.
Biologische mestadditieven	6-8	Drijfmest/digestaat	3	Homogene drijfmest	Niet vastgesteld	Niet vastgesteld	Ziektekiemen en onkruidzaden overleven

	Bokashi	8	Dikke fractie	4	Bokashi (geconserveerde organische meststof)	OS wordt zoveel mogelijk behouden (afbreekbaar en effectief)	Niet vastgesteld	Ziektekiemen en onkruidzaden overleven
Fysisch	Mechanische scheiding (uitgezonderd filters)	9	Drijfmest en digestaat	1, 2, 6 en 7	Dikke en dunne fractie	Fosfaat en organische stof zal voornamelijk in de dikke fractie zitten	Stikstof zit voornamelijk in de dunne fractie	Ziektekiemen en onkruidzaden overleven
	Flotatie (DAF)	9	Digestaat, dunne fractie	1, 2, 6 en 7	Dikke fractie en dunne fractie	Dikke fractie met verhoogd organische stof en veel P. Dunne fractie met verlaagd gehalte aan OS weinig P.	Meeste stikstof komt in dunne fractie maar er zit ook stikstof in dikke fractie.	Ziektekiemen en onkruidzaden kunnen overleven
	Omgekeerde osmose en filtratie	9	Gezuiverde dunne mestfractie	1, 6 en 7	Concentraat en water (loosbaar)	Concentratie neemt toe (circa factor 5).	Concentratie neemt toe (circa factor 5).	Ziektekiemen en onkruidzaden kunnen overleven en komen terecht in concentraat.
	Elektrodialyse	4-5	Dunne fractie gier/urine	1 en 7	Effluent en concentraat	Beide stromen zijn relatief laag in organische stof	Concentraat met relatief hoge concentraties aan N mineraal.	Ziektekiemen en onkruidzaden kunnen overleven en komen terecht in effluent.
	Indampen van vloeibare mestfracties	9	Dunne fracties	2, 6 en 7	Concentraten, eventueel spuiwater uit luchtwasser	Hoger drogestof gehalte en daarmee ook hoger OS-gehalte	Stikstof wordt geconcentreerd, maar ook stikstof emissie	Ziektekiemen en onkruidzaden worden onschadelijk gemaakt (afhankelijk van gebruikte T)
	Drogen van vaste mestfracties	9	Dikke fracties	2, 6 en 7	Gedroogde mest, rul product, pellets, eventueel	Hoger droge stofgehalte en daarmee ook hoger OS-gehalte	Stikstof wordt geconcentreerd, maar ook stikstofemissie	Ziektekiemen en onkruidzaden worden onschadelijk gemaakt

					spuiwater uit luchtwater			(afhankelijk van gebruikte T)
Korrelen	9	Droge pluimveemest of gedroogde dikke fractie	4 en 6	Mestkorrels >90 ds	Hoog droge stofgehalte	Het product is erg droog en daarmee geconcentreerd	Ziektekiemen en onkruidzaden worden onschadelijk gemaakt (afhankelijk van gebruikte T)	
Verbranden en vergassen	9 of 6	Kippenmest of droge dikke mestfracties	1, 3 en 6	Afhankelijk van het proces, as of houtskoolachtige producten	Organische stof wordt omgezet tot houtskool of as. Kalium en fosfor blijven in deze fractie aanwezig	Stikstof vervluchtigt bij verbranding	Ziektekiemen en onkruidzaden overleven niet	
N2 plasma behandeling	8	Dunne fractie, urine/gier, drijfmest of digestaat	3	N-verrijkte mest	Organisch materiaal blijft aanwezig. Reductie methaanvorming	Verhoging van het N gehalte (minerale) door toevoeging van nitraat. Ook reductie N emissies.	Vermindering ziekttekiemen, onkruidzaden overleven.	
Fysische mestadditieven	6-8 (diverse middelen)	Drijfmest en digestaat	3 en 4	Homogene drijfmest	Niet vastgesteld, bij gebruik biochar hoger effectief organische stof	Niet vastgesteld	Ziektekiemen en onkruidzaden overleven	
Mestmixen mechanisch en luchtbellen	9	Drijfmest en digestaat	7	Homogene drijfmest	Geen effect verwacht	Homogener verdeeld door de mest. Geen eenduidige verhoging of verlaging verwacht.	Ziektekiemen en onkruidzaden overleven	

Lucht	Luchtwater Chemisch, biologisch of combi	9	Lucht uit stal of mestopslag	3	Gezuiverde lucht	Luchtwassers vooral gericht op ammoniak. Deel organische stof wordt afgevangen.	Reductie ammoniakemissies.	
	Luchtfilters koolstof en biologisch	9	Lucht uit stal of mestopslag	3	Gezuiverde lucht	Koolfilter 95% reductie emissie vluchtige organische stoffen. Bio filter omzetting van vluchtig organische stof in biomassa en CO ₂ .	Een deel van de ammoniakemissie wordt gereduceerd.	Geur wordt geneutraliseerd
	Oxidatie methaan	7	Lucht uit stal of mestopslag	3	Gezuiverde lucht	Methaan wordt afgebroken.	Een deel van de ammoniakemissie wordt gereduceerd.	-

- *
1 N overschot verlagen
2 P overschot verlagen
3 emissies verlagen
4 organische stof rijke bemester
5 energieproductie
6 transportkosten verlagen
7 ondersteunende bewerkingstap

2.2 Samenstelling mestproducten

In van Boxmeer et al., 2023 zijn de resultaten van een bemonstering van verschillende mestproducten uit innovatieve stalsystemen gegeven. Hieruit blijkt dat met de komst van huisvestingssystemen met snelle afvoer van gescheiden urine en feces of snelle afvoer van drijfmest de diversiteit van de onbewerkte mestproducten toeneemt. Een andere richting is het produceren van vaste mestfracties door het toevoegen van organische stof (bijvoorbeeld stro). Over het algemeen voldoen de urine/gier fracties aan de samenstelling criteria voor RENURE-meststoffen qua $N_{\min}:N_{\text{totaal}}$ verhouding ($>90\%$) danwel $C_{\text{totaal}}:N_{\text{totaal}}$ (<3). De feces fracties vallen vaak binnen een organische meststof (relatief hoog organische stofgehalte maar ook hoge nutriënten gehalten) of een bodemverbeteraar (relatief hoog organisch stofgehalte en relatief lage gehalten aan nutriënten). Ook de stapelbare (vaste mest) valt meestal onder deze organische meststoffen of bodemverbeteraars.

Omdat de mestverwerkingstechnologieën besproken in dit rapport vaak voor meerdere meststromen inzetbaar zijn en voor meerdere diercategorieën zijn geen samenstellingen opgenomen van de producten, dit zou te uitgebreid worden. In tabel 2 zijn voor een aantal mestproducten de samenstellingen weergegeven om een eerste idee te geven. Gedetailleerdere informatie over mestsamenstellingen kan gevonden worden in bijvoorbeeld Van Boxmeer et al., 2023, Van Middelkoop et al., 2017, Gollenbeek 2022 maar ook de forfaitaire samenstelling inzake N en P voor de verschillende mestcodes¹.

Tabel 2 Gemiddelde samenstellingen van dierlijke mest uit verschillende stalsystemen en gemiddelde samenstellingen voor een eerste mestbewerkingsstap mechanische scheiding van drijfmest.

	Melkveemest stal			Urine/gier	Melkveemest bewerkt	
	Drijfmest	Stapelbare mest	Feces		Dikke fractie	Dunne fractie
Droge stof	92	267	130,4	45,7	189	47,5
Org. stof	71	155	23,3	107,1	180	155
N-Totaal	4,0	7,7	3,9	3,9	4	5,3
N-NH ₄	1,9	1,1	0,7	0,7	1,5	
P ₂ O ₅	1,5	0,2	3,1	2,1	0,9	3,6
K ₂ O	5,8		6,9	3,1	4,9	10,5
Blankvleeskalvermest stal						
	Drijfmest*	Feces	Urine/gier			
Droge stof	57	181,1	23,4			
Org. stof	40	158,6	9,3			
N-Totaal	6,2	7,5		3,9		
N-NH ₄	3,9	1,8		3,7		
P ₂ O ₅	1,4	3,2		0,4		
K ₂ O	6,5	3,7		5,3		
Vleesvarkens stal						
	Drijfmest	Stapelbare mest	Feces	Urine/gier	Dikke fractie	Dunne fractie
Droge stof	107	260	217	11,2	246	30
Org. stof	79	153	187,2	5,2	185	15
N-Totaal	7	7,9	7,5	2,1	10,2	4,4
N-NH ₄	3,7	2,6	2,0	1,9	4,0	3,7
P ₂ O ₅	3,9	7,9	5,8	0,1	12,7	1,0
K ₂ O	4,7	8,5	5,4	2,5	5,3	5,2

* Berekende waarden uit Gollenbeek et al., 2021 NL Next Level mestverwaarden

¹ Tabel 11 Normen en mestcodes aanvoer en afvoer (dierlijke) mest (rvo.nl)

In Van Boxmeer et al., 2023 is tevens de pH gemeten van een aantal mestproducten uit de stal. Hieruit kan afgeleid worden hoe makkelijk NH₃ naar de gasfase gaat bij verdere opslag en aanwending. In tabel 3 zijn de pH's van verschillende producten weergegeven. De gier/urine producten hebben een hoge pH (pH>8,5) wat het risico op ammoniak emissies verhoogd. Een mogelijke bewerking kan zijn het verlagen van de pH met een chemisch of organisch zuur. Ook het maken van een spuiwater kan een zuur product opleveren, echter de zuurgraad van het product zal ook afhangen van de instellingen van de luchtwasser.

Tabel 3 Gemiddelde pH en standaarddeviatie van mestproducten uit verschillende stalsystemen. Let op vaak is maar op 1 bedrijf bemonsterd overgenomen uit Van Boxmeer et al., 2023.

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

3 Chemische behandelingen

De chemische behandelingen zijn technieken gebaseerd op chemische reacties of chemische principes. Een voorbeeld hiervan zijn de zuur-base reacties, door het veranderen van de pH en het toevoegen van bijvoorbeeld zeoliet wat materialen bindt.

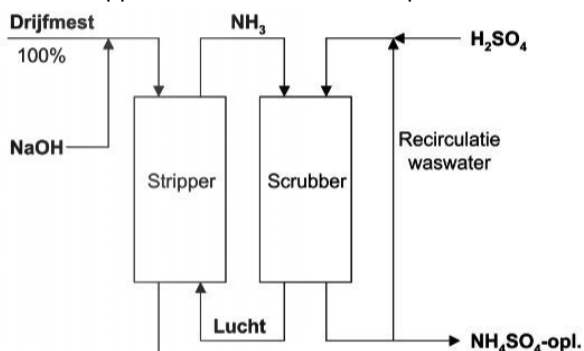
3.1 Strippen en Scrubben

3.1.1 Type mest

Strippen kan toegepast worden op drijfmest, dunne fractie, urine/gier en digestaat en vaste pluimveemest. Het scrubben wordt toegepast op de met ammoniak verrijkte lucht die bij het strippen ontstaat. Het scrubben betreft een vergelijkbare techniek die ook gebruikt wordt in luchtwassers voor stallucht.

3.1.2 Omschrijving

Strippen houdt in dat een vluchtige stof als ammoniak uit een processtroom kan worden verwijderd met behulp van een gas. Scrubben legt deze ammoniak weer vast door middel van wassing met een zuur. In een stripp kolom wordt de ammoniakale stikstof (samen met allerlei andere vluchtige stoffen zoals bijvoorbeeld vluchtige vetzuren) uit de mest gestript en daarna in een scrubber vastgelegd in ammoniumsulfaat (of een alternatief zuur), waardoor deze niet meer kan vervliegen. Fosfaat, organische stikstof en kali blijven in het effluent achter en kunnen zoals basismeststof worden benut. Het ammoniumsulfaat voldoet aan de eisen van een RENURE, een kunstmestvervanger (let op dit is nog niet vastgesteld beleid). Twee parameters zijn belangrijk voor het werken van de stripp kolom, dat zijn de temperatuur en de pH van de mest, tevens kan de dampspanning verlaagd worden met een onderdruk (vacuüm). In een vloeibare omgeving zijn ammonium en ammoniak in balans met elkaar. Wanneer de temperatuur of de pH wordt verhoogd, verschuift deze balans naar ammoniumgas (NH_3) en kan het afgevangen worden in de lucht (Melse et al., 2004). Het gas wordt vervolgens gewassen met een lage pH vloeistof, zodat het ammoniakgas opgelost wordt (het gaat van NH_3_{gas} naar $\text{NH}_4^+_{\text{aqua}}$). Een scrubber zorgt ervoor dat gassen in contact komen met een vloeistof, in dit geval een zuur. Afhankelijk van het gekozen zuur produceer je of ammoniumsulfaat (wanneer je H_2SO_4 toevoegt) of ammoniumnitraat (wanneer je HNO_3 toevoegt) of andere NH_4 zouten. Het toevoegen van een organisch zuur als citroenzuur is ook mogelijk (eindproduct ammoniumcitraat). Zie **Figuur 1** voor een overzicht van een stripper in combinatie met een scrubber. Onder praktisch condities bij het gebruik van zwavelzuur is het mogelijk een mineraal N product te maken met een concentratie van maximaal 5-8% stikstof (Verdoes et al., 2021). In digestaat is een deel van de organische stikstof afgebroken naar mineraal stikstof (vooral NH_4^+) hierdoor kan er meer ammoniak uit digestaat gestript worden. Een hogere pH en een hogere temperatuur van het digestaat zal het stripproces sneller laten verlopen.



Figuur 1 Digestaat of drijfmest wordt in de stripp kolom gepompt. Lucht wordt tegen deze stroom in gepompt, waarbij ammoniak (NH_3) in gasfase komt. Vervolgens wordt de lucht met ammoniak door twee scrubbers gepompt. Hier wordt de ammoniak vastgelegd in een zuur. Wat resulteert is een pH neutraal ammonium sulfaat en de gestripte mest met een laag stikstofgehalte (Melse et al., 2004).

3.1.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Bij gebruik van deze techniek blijven twee 'mest' stromen over: een vloeibare stroom met minerale N (N-mineraal oplossing) en een gestripte mestfractie waaruit een groot deel van de minerale N is verwijderd, een rendement van 80-90 % verwijdering van het totaal ammoniakaal stikstof (TAN) is mogelijk. In de N-mineraaloplossing kan organisch materiaal terecht komen als vluchtige vetzuren en stofdeeltjes echter dit is zo weinig dat het product binnen de RENURE definitie zal vallen en bij erkenning als kunstmestvervanger afgezet en ingezet kan worden. Verder zijn er geen ziekten of onkruiden in de N-mineraal oplossing te verwachten. In de gestripte mestfractie, wordt de bemestende waarde vooral bepaald door welke input voor het strippen gebruikt werd. Het organisch stofgehalte, en ziekten en onkruiden veranderen niet bij lage temperaturen en wel bij gebruik van hogere temperaturen en P en K zullen niet veranderen.

3.1.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Met deze techniek wordt de ammoniakemissie bij verdere opslag en aanwenden sterk gereduceerd. Bij het proces van strippen en scrubben van mest kan vrijkomende geur een aandachtspunt zijn.

3.1.5 Schaal van de techniek

De TRL van strippen scrubben is 9. Strippen scrubben is op boerderijschaal en op een centrale mestverwerkingsplant mogelijk. Er zijn zelfs mobiele strip scrub installaties. Vooral voor bedrijven met een stikstofoverschot kan deze techniek een uitkomst bieden, zeker wanneer de N-mineraal fractie als kunstmestvervanger ingezet mag worden. Enkele voorbeelden van leveranciers zijn: JOZ, Byosis, Askové, Fabiton, Circular Values en Colsen.

3.2 Mest verdunnen

3.2.1 Type mest

Het verdunnen van drijfmest is geschikt om ammoniakemissies (in de stal of bij het uitrijden) te verlagen. Verdunnen kan uitgevoerd worden met water maar ook met een behandelde ammonium arme dunne fractie. Verdunnen voor aanwenden met de sleepvoet wordt vooral toegepast in melkveehouderij op klei en veengronden, op deze bodems is uitrijden met een sleepvoet nog toegestaan mits de drijfmest verdund wordt, voor zandgronden geldt dit niet en moet de drijfmest geïnjecteerd worden met de zodenbemester. Het verdunnen en spoelen met ammonium arme vloeistof wordt beperkt toegepast in de varkens en vleeskalverhouderij. Het verdunnen van mest bevindt zich op de scheidslijn tussen stalmaatregel (WP1) en mestbewerking (WP2), voor de volledigheid is deze techniek wel opgenomen in voorliggende rapportage.

3.2.2 Omschrijving

Het verdunnen van mest en het spoelen zijn twee verschillende werkingsprincipes. Bij het spoelen wordt de mest verwijderd en wordt een oppervlak gereinigd, terwijl bij verdunnen de ammonium en daarmee de ammoniak concentraties worden verlaagd. Bij het spoelen met water of ammonium arme vloeistof wordt tevens verdund.

Verdunnen van de mest kan plaatsvinden op de vloer, er is dan vooral sprake van spoelen (WP1), in de mestput het doel kan dan verdunnen maar ook spoelen zijn (WP1-2) of bij het uitrijden van de mest dan is er sprake van verdunnen (WP 2-3) (werkpakketten BSMO: WP1 stal, WP2 mestbewerking en WP3 gewas).

Verdunnen

Het verdunnen van de mest voor het uitgereden wordt over het land zorgt voor een vermindering van de ammoniakemissies bij klei- en veengronden. Een optimale verhouding mest: water is 2:1. De mest is dunner en zakt daardoor sneller in de bodem, wat bijdraagt aan lagere emissies (van Zessen T., 2020). Tevens leidt de lagere concentratie ammonium en daarmee ook lagere concentratie ammoniak ertoe dat er minder ammoniak emitteert.

Ook zijn er stalsystemen waar de drijfmest in de mestput met bijvoorbeeld een ammoniakarme vloeistof (JOZ, Kamplan) of door middel van water wordt verdund. Hiermee wordt de kelderemissie verlaagd maar niet de vloeremissie. Vooral bij vleesvarkens en vleeskalveren worden bij het verdunnen van de mest in de mestkelder goede reducties van de ammoniak emissies verwacht (>50% van de stalemissies). Er is hier niet alleen sprake van verdunnen maar ook van het regelmatig verwijderen van de mest uit de stal. Voor melkvee zal verdunnen in de mestkelder leiden tot minder hoge reducties van de ammoniak emissies uit de stal, vanwege de geringere bijdrage van de mestkelder ten opzichte van de vloer. Onderzoek wordt nog gedaan in de varkens- en kalversector, naar hoeveel er verdund moet worden en hoe vaak de vloeistof vervangen moet worden om tot de gewenste ammoniakemissiereductie te komen.

Spoelen

Er zijn systemen waarmee de vloer schoongespoeld kan worden met bijvoorbeeld een mestrobot met sproeier, een mestschuif met sproeiers of vaste sproeiers in een opstaande rand bij voerhek of ligboxen (Lely, JOZ en van de Weerd). De drijfmest zal dan verdund in de mestput terecht komen (roostervloer) of wordt afgestort (dichte vloer). Door een schoner vloeroppervlak en verdunning verlaagt de ammoniakemissie van zowel vloer als kelder. Op Dairy Campus wordt onderzoek gedaan in 2023 en 2024 naar het sproeien van water over de roosters en het effect op de ammoniak emissies. In de varkenshouderij worden momenteel ook systemen getest waarin de mest opgevangen wordt in mestgoten en die goten worden regelmatig gespoeld met de dunne mestfractie om de drijfmest uit de stal te verwijderen.

3.2.3 Kwaliteit van de mest

De samenstelling van de oorspronkelijk mest wordt niet veranderd of omgezet, alleen de concentratie verandert en de mest wordt (nog) beter verpompbaar. De pH van de mest verandert nauwelijks. Omdat water wordt toegevoegd ligt de concentratie van ammonium lager, wat leidt tot een lagere ammoniakemissie en daarmee een hogere beschikbaarheid van de stikstof voor het gewas.

Door de verdunning wordt het volume mest groter wat gevolgen heeft voor opslag en transport. Oplossingen hiervoor zijn; in de omgeving van de boerderij uitrijden, pas verdunnen bij uitrijden (slootwater of regenwater), verdere mestverwerking (scheiding en filteren), gebruik biologisch gezuiverde of getripte dunne fractie als verdunning/spoelmiddel.

3.2.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Door het verdunnen wordt de concentratie stikstof in de mest verlaagd (naar verhouding). Hierdoor vervluchtigt minder ammoniak in de stal. Bij uitrijden zal de verdunde mest beter de grond inlopen wat ook de ammoniakemissie reduceert. Het effect op methaanemissies en lachgasemissies na aanwenden van verdunde mest is onbekend.

3.2.5 Schaal van de techniek

Het verdunnen van de mest bij aanwenden wordt in de praktijk gedaan vooral bij melkvee (TRL 9). Ook het verdunnen van de mest in de stal (melkvee, varkens en vleeskalveren) wordt op enkele bedrijven gedaan (TRL 7-8), echter voor het verdunnen van de mest in de stal zijn nog geen definitieve emissiefactoren vastgesteld. Verdunnen van mest is een maatregel die vooral op bedrijfsschaal toegepast kan worden, maar bedrijfsspecifieke kenmerken bepalen of de techniek succesvol ingezet kan worden. Enkele voorbeelden van leveranciers zijn: Lely, JOZ en van de Weerd, verdunnen van drijfmest bij uitrijden kan door veel loonwerkers uitgevoerd worden, en dit wordt vooral met melkveemest in bepaalde klei en veengebieden gedaan.

3.3 Aanzuren van mest

3.3.1 Type mest

Het aanzuren kan toegepast worden op drijfmest en digestaat maar ook op producten als urine/gier en dunne fractie na mechanische scheiding.

3.3.2 Omschrijving

Het aanzuren van drijfmest betekent dat er een zuur aan de mest wordt toegevoegd om de pH te verlagen. Daarmee wordt de vorming van ammoniak deels voorkomen. Ammoniakgas vervluchtigt minder snel uit de mestopslag. Drijfmest heeft normaal een pH van 7-9 en digestaat zit vaak aan de hoge kant. Wanneer de mest of digestaat wordt aangezuurd zal het evenwicht tussen NH_4^+ (opgelost) en NH_3 (gas) richting NH_4^+ (opgelost) gaan. Theoretisch is aanzuren tot onder pH 7 voldoende om de ammonium in oplossing te houden in de praktijk wordt vaak een pH van 5,5-6,5 aangehouden. Het aanzuren kan gebeuren met zwavelzuur maar ook met salpeterzuur of organische zuren (mits deze zuren sterker zijn dan NH_3). Er is ook een plasmatechnologie op de markt waarmee de drijfmest aangezuurd kan worden dit is verder beschreven in paragraaf 5.4. Ook is het mogelijk om de mest te verzuren door middel van micro-organismen die suikers anaeroob omzetten naar organische zuren (Bijvoorbeeld Bokashi werkt via dit mechanisme en is uitgewerkt in Paragraaf 4.3).

Het aanzuren kan tijdens opslag gedaan worden. Dit leidt tot een reductie van ammoniak (en ook methaanemissies bij pH <6) uit de stal. In Denemarken wordt op grote schaal mest aangezuurd tijdens het uitrijden. Dit leidt tot een emissiereductie van ammoniak op het veld (Puente-Rodriguez et al., 2022). De hoeveelheden toe te voegen zuur zijn sterk afhankelijk van de mestsoort en de gewenste pH verlaging (digestaat behoeft een grotere zuurtoevoeging). Het aanzuren van de drijfmest bij opslag zal circa 8-16 liter 96 % zwavelzuur kosten per ton mest om een pH <6 te halen. Voor het aanzuren bij aanwenden is 2-4 liter 96 % zwavelzuur nodig per ton mest. In de mest is een hoge mate van buffering aanwezig wat ervoor kan zorgen dat na verloop van tijd de pH weer zal oplopen en opnieuw toevoegen van zuur nodig is.

Een voordeel van het aanzuren van drijfmest is dat het gemakkelijk toe te passen is zonder een grote verandering in het bedrijfssysteem. Een nadeel van het aanzuren is dat er CO_2 en H_2S (potentieel dodelijk gas) vrij kunnen komen (Verboon, n.d.). Door alleen een urine/gier fractie aan te zuren kan het zuurverbruik verlaagd worden, wat kostenbesparend is.

3.3.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Door de verlaging van de pH (ongeacht met welk zuur), zal het gehalte aan mineraal stikstof hoger zijn door de vermeden emissies. Bij het gebruik van zwavelzuur zal daarnaast het zwavelgehalte verhoogd worden. Dit heeft een bemestende waarde, maar kan ook leiden tot overbemesting. Wanneer salpeterzuur als zuur wordt gebruikt wordt minerale stikstof toegevoegd aan de mest wat de bemestende waarde verhoogd. Het vergisten van met zwavelzuur aangezuurde mest kan leiden tot hogere ontzwavelingskosten. Bij het gebruik van aangezuurde mest kan het nodig zijn om de bodem pH te corrigeren met bijvoorbeeld kalk. Of dit nodig is hangt af van de hoeveelheid toegevoegd zuur en de bodemgesteldheid. Onkruidzaden en ziektekiemen kunnen overleven op een pH van 5,5 en zullen dus nog aanwezig zijn, zij het in minder getalen dan voorheen. Door de lagere ammoniakemissie is er sprake van een hogere beschikbaarheid van de stikstof voor het gewas.

3.3.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Door het aanzuren van de drijfmest gaan de ammoniak en methaanemissie omlaag. Het aanzuren kan plaatsvinden in de mestkelder. In Denemarken zijn systemen waarbij de drijfmest buiten de stal wordt gemixt met zwavelzuur tot een pH <5, waarna de mest weer de mestkelder ingaat. Dit leidt tot reductie van de ammoniakemissies in de stal, maar ook bij het aanwenden van de drijfmest. Bijkomend voordeel is dat de methanogene bacteriën stilgelegd worden bij een <pH 6, waardoor methaanemissies in de stal ook gereduceerd worden (Habtewold, 2018). In Denemarken wordt echter meer gebruik gemaakt van het aanzuren tijdens het aanwenden van drijfmest (circa 20% van de drijfmest, Presentatie Europese Commissie 2018; Jacobsen). Dit leidt tot lagere ammoniakemissies bij het aanwenden maar er is geen effect op de stalemissies.

3.3.5 Schaal van de techniek

De TRL van deze techniek is 7-8. Binnen de WUR zijn er in de jaren 90 veelvuldig onderzoeken gedaan naar het aanzuren van drijfmest (Verboon, n.d.). En in Denemarken wordt het aanzuren van mest in de praktijk gedaan zowel bij aanwenden als bij mestopslag, (Presentatie Europese Commissie 2018; Jacobsen). In Denemarken is het aanzuren van mest een erkende methode om ammoniakemissies in stal en bij aanwenden te reduceren. In Nederland is het aanzuren van drijfmest als emissiereducerende maatregel nog niet erkend. Een bedrijf dat gespecialiseerd is in het aangezuurd uitrijden van mest in Denemarken is SyreN, Vogelsang

past deze techniek ook toe in Nederland. Het biologisch aanzuren (TRL 5) is nog in ontwikkeling (bijvoorbeeld onderzoek door NMI, NCM Sanitation en platform groen gas). Het aanzuren door middel van plasmatechnologie (N2-Applied) wordt op voorbeeld locaties (TRL 7-8) al gedaan.

3.4 Chemische mestadditieven

Onder mestadditieven vallen een heel scala aan stoffen en micro-organismen die toegevoegd kunnen worden aan de mest. In deze paragraaf zijn een aantal chemische mestadditieven beschreven en in paragrafen 4.7 en 5.8 zijn respectievelijk de biologische en fysische mestadditieven beschreven. Het aanzuren of verdunnen van mest kan gezien worden als het toevoegen van chemische mestadditieven, er is voor gekozen om deze uitgebreider te beschrijven (zie paragrafen 3.2 en 3.3).

Belangrijke bronnen voor de beschrijvingen van mestadditieven waren Van Boxmeer en Ogink, 2023 en Bakker et al., 2020. Voor gedetailleerdere beschrijvingen wordt dan ook verwezen naar deze rapportages.

3.4.1 Type mest

Chemische mestadditieven zijn het best toepasbaar bij drijfmest en de dunne vloeibare fracties. Ongebluste kalk is daar een uitzondering op.

3.4.2 Omschrijving

Chemische mestadditieven werken door een chemische binding of verschuiving van evenwichten.

Aan meststromen kunnen verschillende chemische additieven toegevoegd worden. In tabel 4 zijn algemene gegevens van een aantal chemische toevoegmiddelen weergegeven namelijk nitrificatie remmer, urease remmer, magnesium chloride, magnetiet, kalk, zuren en water.

Nitrificatieremmers worden ingezet om de nitraat uitspoeling te verminderen en lachgasemissies te verlagen bij het aanwenden van drijfmest. De werking berust op het remmen van de omzetting van ammoniak naar nitraat en is alleen interessant bij het aanwenden. Urease remmers daarentegen kunnen in de stal ingezet worden. De werking berust op het remmen van de omzetting van urease naar ammonium wat emissies van ammoniak kan verlagen. Let op deze toevoegmiddelen hebben een tijdelijke werking.

Magnesiumchloride kan toegevoegd worden aan de mest om struviet te vormen en zodoende fosfaat en ammonium te binden. Deze werkwijze is nog in onderzoek op boerderijschaal. Ook is het mogelijk om calciumfosfaat te maken uit de dikke fractie, zoals Groot Zevert (*Groot Zevert, The Netherlands - Systemic*, n.d.) doet door middel van aanzuren en aanlogen. Met dit proces wordt een fosfaatarm organische mestfractie gemaakt en een fosforrijkproduct.

Het toevoegen van magnetiet en het winnen van fosfaat uit mest is experimenteel onderzocht maar nog niet op praktijkschaal uitgevoerd. Het ijzer bindt het fosfaat en slaat neer. Deze neerslag kan uit de mest gehaald worden met behulp van magnetisme. Met zuur kan de binding tussen het fosfaat en ijzer weer losgekoppeld worden. Deze techniek komt uit de mijnbouw (Nico Verdoes et al., 2021).

Gebliste kalk kan toegevoegd worden om de mechanische scheiding van dikke en dunne fractie te verhogen en voor de efficiency van de fosfor scheiding. Ongebluste kalk kan ingezet worden om een fecesfractie te bewerken tot een product met een hoger droge stofgehalte. Deze techniek is veelvuldig toegepast op rioolwaterzuiveringsslib, maar is nog niet op praktijkschaal in gebruik voor mest.

Tabel 4 Toevoegmiddelen mest.

Toevoegmiddel	Werkingsprincipe	Bedrijf/product	TRL	Opmerking
Nitrificatieremmers	Remming van micro-organismen/enzym	Vizura	8	
Urease remmer	Remming van micro-organismen/enzym urease	EOW, LIMUS	8	
Magnesiumchloride	Vorming van struviet (MgNH ₄ PO ₄ ·6(H ₂ O)) en daardoor ook minder ammoniakemissie	FarMin	6	
Magnetiet	Binding van ortho-fosfaat aan ijzer		4	(Nico Verdoes et al., 2021)
Gebluste kalk	Toevoegen aan dunne fractie voor betere mestscheiding	Chemicaliën/grondstoffen leverancier	9	
Ongebluste kalk	Toevoegen aan feces fractie voor verhogen drogestof gehalte	Chemicaliën/grondstoffen leverancier	5	
Zuur	Chemisch evenwicht naar ammonium	Syre-N, JH acidification	7-8	Zie paragraaf 3.3
Water	Verlagen concentraties		7	

3.4.3 Kwaliteit van de mest

De verschillende chemische mestaddities zullen verschillende effecten hebben op de samenstelling van de mest. Bij het verminderen van ammoniak emissies kunnen de stikstofgehalten hoger zijn dan normaal. Met kalk kan het drogestof gehalte verhoogd worden in combinatie met mechanische mestscheiding. Verdunnen met water zal het volume mest sterk verhogen wat een nadeel is maar bij uitrijden van de verdunde mest zullen de ammoniak emissies ook lager zijn.

3.4.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

De emissie van ammoniak zullen met urease remmers, magnesiumchloride en zuur en water omlaag gaan. Een verlagend effect op de methaan emissies is vastgesteld voor het aanzuren van drijfmest. Lachgas emissies kunnen worden verlaagd met nitrificatieremmers. In het geval van magnetiet zullen de ammoniakemissies gelijk blijven, aangezien die toevoeging specifiek voor fosfaat bedoeld is. Het toevoegen van kalk kan leiden tot hogere ammoniakemissies die met een luchtwasser afgevangen kunnen worden.

3.4.5 Schaal van de techniek

De TRL van de verschillende toevoegmiddelen variëren van 4 t/m 9 en zijn in tabel 4 weergegeven.

4 Biologische behandelingen

Het cluster biologische behandelingen bevat technieken die gebaseerd zijn op omzettingen veroorzaakt door (micro)organismen, zoals bacteriën, microalgen, eendenkroos, schimmels, insecten en wormen.

4.1 Mestvergisting

Onder fermenteren verstaan we het anaeroob omzetten van organisch materiaal met behulp van micro-organismen naar methaangas en koolstofdioxide. Fermenteren gebeurt altijd anaeroob, in tegenstelling tot composteren, wat een aerob proces is.

4.1.1 Type mest

In het algemeen zijn alle typen mest en organische stromen geschikt voor vergisting. Er zijn echter wel grote verschillen in biogasopbrengsten. De ene stroom is praktisch beter in te passen dan de andere (bijvoorbeeld verpompbaarheid, deeltjesgrootte, drijfslagen). Mestvergisting kan vallen onder mono-mestvergisting waarbij alleen dierlijke mest wordt gebruikt of co-mestvergisting waarbij ook ander goedgekeurd organisch materiaal (maximaal 50%) aan de vergister wordt toegevoegd.

4.1.2 Omschrijving

Bij vergisting wordt mest in een vergister gedaan. In deze vergister zetten micro-organismen onder anaerobe omstandigheden biologische componenten, zoals suikers, vetten en cellulose, om in biogas (methaan 60% en CO₂ 35%).

Co-producten kunnen zorgen voor een hogere gasopbrengst. Er is een lijst met producten opgesteld door het Ministerie van LNV, die geschikt zijn voor co-vergisting waarbij het eindproduct nog steeds dierlijke mest genoemd mag worden, bij het gebruik van niet erkende producten wordt het eindproduct wettelijk gezien afval. De meeste vergisters die gebruikt worden door veehouders zijn mesofiele vergisters, die op een temperatuur van 37 - 40 °C worden gehouden. Thermofiele vergisters worden op een temperatuur van circa 55 °C gehouden. In een thermofiele vergister hoeft de mest maar 10 à 20 dagen gehouden te worden. In een mesofiele mestvergister tussen de 30 en 40 dagen. De verblijfsduur is afhankelijk van de snelheid van vertering van de ingrediënten van het te vergisten product. Digestaat wat nog niet stabiel is zal in een navergister moeten verblijven totdat de productie van biogas stopt. De uiteindelijke opslag van digestaat dient emissiearm en veilig te gebeuren.

Belangrijk voor zowel het reduceren van de methaan emissies in de stal als het maximaliseren van de biogasopbrengst, is dat de mest zo vers mogelijk vergist wordt. Mestvergisting sluit dus goed aan op stalsystemen waarbij de mest zo snel mogelijk uit de stal wordt verwijderd. Vergisting op boerderijschaal heeft tot voordeel ten opzichte van een grote centrale vergister dat er geen (weg)transport nodig is. Hierdoor kan de mest dagvers of nog verser ingevoerd worden in de vergister. Bij een centrale mestvergister kan dit transport leiden tot een langere duur van de opslag van de mest. Het in bedrijf houden van een vergister is complex, het succes van biogasproductie hangt dus ook af van de kennis en kunde van de operator/boer, waarbij co-vergisting meer kennis en kunde vraagt dan monomestvergisting.

Er zijn verschillende opties om het geproduceerde biogas in te zetten namelijk:

- Biogas als zodanig leveren aan een eindgebruiker (bijvoorbeeld een kas met WKK).
- Produceren van warmte met een boiler.
- Met een Warmtekrachtkoppeling (WKK) kan uit het biogas elektriciteit en warmte geproduceerd worden.
- Opwaarderen van biogas naar groen gas (80% methaan) en invoeren op het aardgasnet.
- Biogas opwaarderen naar LNG (Liquified Natural Gas) of CNG (Compressed Natural Gas).

4.1.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Wat overblijft na het vergisten wordt digestaat genoemd. Dit is homogene vloeibare substantie die goed verpompbaar is en die goed als meststof gebruikt kan worden. De geurcomponenten worden bij vergisting ook afgebroken wat resulteert in een fors minder sterke mestgeur wanneer het digestaat wordt uitgereden over het land. Door vergisting is een deel van de organisch stof afgebroken (dit betreft vooral de makkelijk afbreekbare organische stof). Hierdoor is ook een deel van het organisch stikstof omgezet in minerale stikstof, wat beter opneembaar is voor planten. Door het verder verwerken van het digestaat, bijvoorbeeld strippen scrubben kunnen meststoffen gemaakt worden die voldoen aan de criteria van een RENURE-meststof (Huygens et al., 2020, JRC). Door het vergistingsproces worden de ziekteverwekkers en onkruidzaden deels onschadelijk gemaakt (Kool et al., 2005).

4.1.4 Verwachte emissies en broeikasgassen

Bij vergisting wordt methaangas en CO₂ geproduceerd en kan het methaangas als brandstof worden gebruikt. CO₂ is een gereduceerd broeikasgas, ten opzichte van methaangas. Het vergisten van mest heeft een positief milieueffect. Als de mest snel, minimaal dagelijks, uit de stal gehaald wordt en vergist, dan zal de methaanemissie uit mest gereduceerd worden in de stal. Als oude mest vergist wordt, dan zal een groot deel van de methaan emissie al hebben plaatsgevonden in de stal (De Vries, 2014). Tijdens vergisting en latere opslag kan een klein deel van het geproduceerde methaan emitteren. In NL Next Level mestverwaarden wordt 4% aangehouden, schattingen lopen echter uiteen van 0 tot 15 % (Gollenbeek et al., 2022). Ammoniakemissies tijdens het aanwenden van digestaat kunnen wel hoger zijn vanwege de hogere ammonium gehalten en de hogere pH van het digestaat. Bij het verder verwerken van het digestaat bijvoorbeeld strippen scrubben kunnen de emissies bij aanwenden gereduceerd worden.

4.1.5 Schaal van de techniek

Mestvergisting heeft een TRL van 9. Er zijn ruim 130 mestvergisters actief in Nederland en daarbij zijn ook voorbeelden beschikbaar van vergistingsinstallaties op boerderij-niveau. In Zeewolde worden er bijvoorbeeld 3.000 huishoudens voorzien van warmte en energie met behulp van een biogasinstallatie. Zie voor meer informatie; <https://ennatuurlijk.nl/warmtenetten-van-ennatuurlijk/zeewolde> (24 januari 2024).

Het project Jumpstart van Friesland Campina hielp melkveehouders met het realiseren van mono-mestvergistingsinstallaties op de boerderij. Bij dit initiatief werd ook gekeken naar verdere verwaarding van het digestaat (bijvoorbeeld strippen scrubben).

Om een vergister op boerderijschaal te kunnen exploiteren is voldoende mestproductie nodig >6.500 ton wat omgerekend neerkomt op grofweg 250 melkkoeien of 4.000 vleesvarkens (Bodde, 2020; Gollenbeek 2021; Cornelissen, 2018; Stokkermans, 2021). Deze schaalgrootten zijn slechts een indicatie, bedrijfsspecifieke omstandigheden kunnen hier sterk op van invloed zijn. En ook zullen investeringskosten en de opbrengsten sterk afhangen van de samenstelling van de installatie (bijvoorbeeld wel of niet opwaardering biogas). Wanneer verse mest gebruikt wordt is de gasopbrengst beduidend hoger en kan het economisch perspectief verbeteren (Gollenbeek et al., 2021). Enkele leveranciers zijn HoSt Groep, Bioelectric en Fabiton.

4.2 Biologische zuivering

4.2.1 Type mest

Het biologisch zuiveren is vooral geschikt voor de dunne fractie die ontstaat na mechanische mestscheiding. Eventueel met gedeeltelijke toevoeging van ongescheiden drijfmest. Echter het drogestof gehalte en organische stofgehalte moet niet te hoog worden anders kost het veel energie (lucht met zuurstof erin pompen) om de stroom te zuiveren. Vooral van blankvleeskalvermest zijn er een aantal grote installaties (Stichting Mestverwerking Gelderland). Voor andere mestsoorten wordt deze zuivering maar op enkele locaties in Nederland toegepast.

4.2.2 Omschrijving

De dunne fractie van de mest wordt door middel van anaerobe en aerobe micro-organismen gezuiverd en de vloeistof wordt gefilterd. Het proces is vergelijkbaar met die van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Er is sprake van beluchting waardoor zuurstof wordt toegevoegd aan de te zuiveren vloeistof. Onder deze aerobe omstandigheden breekt organisch materiaal af en nitrificatie leidt tot omvorming van ammonium naar nitriet en nitraat. Onder anaerobe omstandigheden zal het nitraat omgezet worden naar N₂(gas). Door middel van scheiding (ultrafiltratie of zeefbandpers) ontstaat een slib en een gezuiverde vloeistof. Een aantal van dergelijke installaties heeft een vergunning om de gezuiverde vloeistof op de riolering te lozen. Het slib kan als dierlijke mest aangewend worden of nog verder worden verwerkt. De minerale stikstof uit de dunne fractie wordt tijdens de zuivering omgezet in stikstofgas. Dit is niet schadelijk. Voor bedrijven met een overschot aan stikstof is deze manier van mestverwerking een oplossing.

4.2.3 Kwaliteit van mest na behandeling

De ammoniumarme vloeistof kan mogelijk geloosd worden op het riool. Of ingezet worden als een kalium bemesting. Pathogenen en onkruidzaden worden beperkt gedood tijdens de anaerobe aerobe zuivering. Daarnaast zijn er systemen in ontwikkeling waarbij de ammonium arme vloeistof ingezet wordt als mestopvang vloeistof (verdunding en spoelen) in een emissiearm stalsysteem.

De dikke fractie en zuiveringsslib kunnen afgezet worden in de landbouw als organisch minerale bemester. Verdere mestverwerking van de dikke fractie alsmede de gezuiverde dunne fractie is mogelijk.

4.2.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Tijdens de verwerking van de mest kunnen ammoniak en broeikasgassen ontstaan. Het risico op emissies is vooral aanwezig als de installatie niet naar behoren werkt. Tijdens het uitrijden van de mest zullen de emissies aan ammoniak lager zijn, aangezien een groot deel van het ammonium omgezet is in stikstofgas.

4.2.5 Schaal van de techniek

De techniek wordt al decennia grootschalig ingezet met kalvermest bij de Stichting Mestverwerking Gelderland, Greenferm verwerkt ook grootschalig mest met inzet van nitrificatie denitrificatie. Ook op boerderijschaal zijn in Nederland een aantal installaties actief. Kamplan is een leverancier van dergelijke mestzuiveringssystemen.

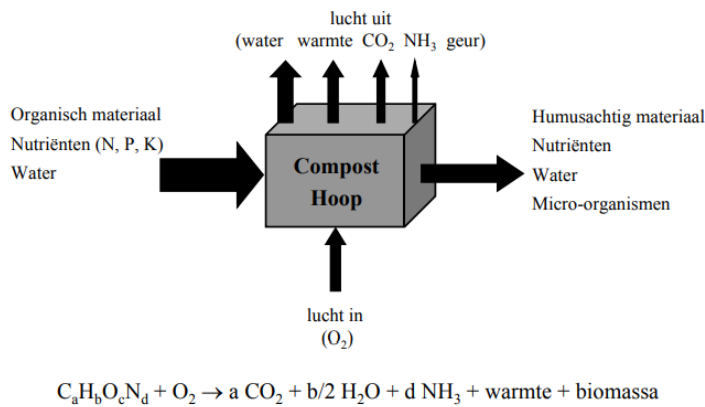
4.3 Composteren

4.3.1 Type mest

Drijfmest is de meest voorkomende mestsoort. Indien men deze wil composteren dan zal de drijfmest ontwaterd moeten worden (dikke fractie of feces) en/of er zal structuur toegevoegd moeten worden. Stro, vlas, lemen, houtsnippers of andere materialen kunnen toegevoegd worden aan de drijfmest om een structuurrijke composteerbare meststroom te krijgen (Nest et al., 2015). Vooral pluimveemest wordt gecomposteerd eventueel in combinatie met varkensmest. De gecomposteerde pluimveemest bevat minder water en is beter te gebruiken in mestkorrels of te verbranden.

4.3.2 Omschrijving

Composteren is een gecontroleerd aerob proces dat bij een temperatuur van 50 à 70 °C uitgevoerd wordt. Dit resulteert in het afbreken van organisch materiaal tot een humusrijk product. Dit humus product is vrij van mens en plant pathogenen en is stabiel indien de mest voldoende warm wordt gedurende langere tijd. Bovendien is het nuttig voor de groei van planten en gewassen. Compost wordt geproduceerd door aerobe bacteriën die zuurstof, water en koolstof gebruiken. Naast compost wordt ook warmte, waterdamp en CO₂ geproduceerd. Zie Figuur 2 voor een schematisch overzicht van composteren.



Figuur 2 Een schematisch overzicht van composteren (Starmans et al., 2002).

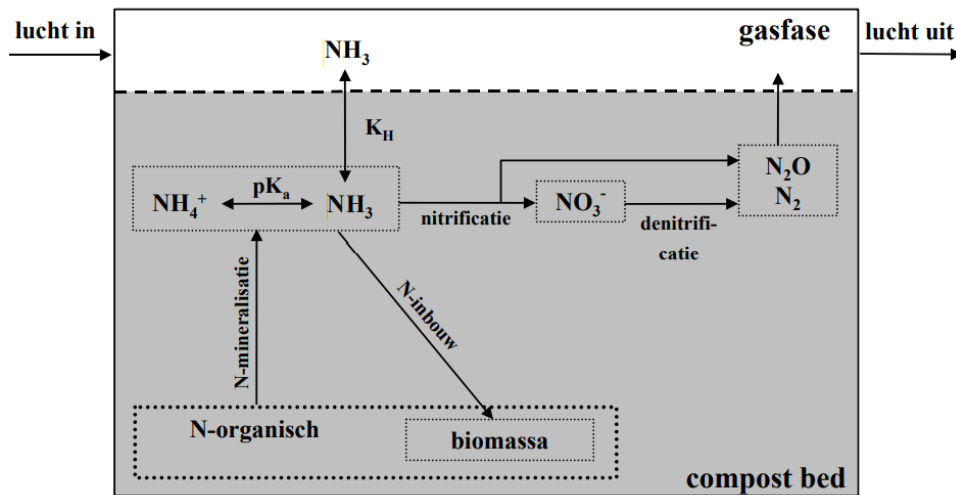
Grofweg kunnen twee manieren van composteren onderscheiden worden, intensief en extensief. Onder intensief composteren scharen we hoogtechnologische compostering. Hierbij wordt het te composteren materiaal in afgesloten reactor tanks, cellen of composteertrommels geplaatst. In deze installaties kunnen vaak temperatuur en het zuurstofgehalte gestuurd worden. De kwaliteit van de compost kan daardoor gegarandeerd worden. Een voorbeeld hiervan is de compostering die toegepast wordt ten behoeve van het maken van substraat uit paardenmest en kippenmest voor champignonteelt. De kosten voor intensieve compostering zijn hoog ten opzichte van extensieve composteren. Bij extensieve compostering wordt de biomassa op een hoop of rug geplaatst. De temperatuur en het kooldioxidegehalte kunnen in de hoop worden gemeten. De composthoop wordt doorgaans enkele keren per maand gekeerd, en beluchting gaat via natuurlijke trek (passieve beluchting). De controle over het proces is minder dan bij intensieve compostering. Door de temperatuur en kooldioxide te meten kan toch een constante kwaliteit van het product geborgd worden en wordt de prijs aanzienlijk lager ten opzichte van intensieve compostering (van 't Riet & van Dam, 2003). Op boerderijschaal wordt intensieve maar ook extensieve compostering ingezet. Zo worden in de melkveehouderij composteertrommels ingezet waarin compost gemaakt wordt van de dikke mestfractie wat is in te zetten als beddingmateriaal maar ook als dierlijke compost voor tuinders/particulieren. Pluimveehouders maken ook gebruik van intensieve composteersinstallaties met als doel de pluimveemest verder te drogen. Extensieve compostering is ook mogelijk dit sluit goed aan bij bijvoorbeeld stapelbare stromest. Er is een aantal karakteristieken belangrijk voor het composteringsproces. De hoeveelheid vocht in het startmateriaal, de verhouding koolstof vs. stikstof en de deeltjesgrootte van het uitgangsmateriaal. Een vochtgehalte tussen de 40-60% wordt als optimaal gezien en het startmateriaal moet klein zijn (vergroting van het contactoppervlak voor micro-organismen) en licht poreus, voor de berging van zuurstof (*Composting Livestock or Poultry Manure – Livestock and Poultry Environmental Learning Community, n.d.*).

4.3.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Tijdens de compostering wordt een deel van de organische stof omgezet in CO₂. Het totale organische stofgehalte neemt dus af, echter de organische stof die overblijft is bestendiger. Een deel van het aanwezige water zal verdampen vanwege de warmteontwikkeling hierdoor neemt de hoeveelheid droge stof naar verhouding toe. Dus relatief gezien kan het organische stofgehalte toenemen. Ook zullen verliezen optreden aan stikstof (ammoniakemissie) en er kan sprake zijn van uitspoeling van nutriënten via composteringssappen. Gecomposteerde dikke fractie van rundveemest bevat ongeveer 3,3 kg N/ton en gecomposteerde varkensmest gemengd met stro bevat ongeveer 12,5 kg N/ton (Starmans et al., 2002). De ziektekiemen en onkruidzaden worden (grotendeels) gedood door de hoge temperatuur in de composthopen. Door gebruik te maken van erkende composteersinstallaties zal de mest formeel geschikt zijn voor export (oftewel voldoende gehygiëniseerd). Composteren van pluimveemest eventueel gemengd met dikke fractie varkensmest kan exportwaardige producten opleveren met drogestof percentages van 50 tot 90 %, afhankelijk van de input en eventuele verdere droging. Compost gemaakt uit dierlijke mest blijft wettelijk gezien dierlijke mest, niet te verwarren met compost uit groenafval.

4.3.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Tijdens composteren wordt organisch materiaal afgebroken waarbij CO₂ vrijkomt en ammonium ontstaat. Dit ammonium kan vervluchtigen als ammoniak. De ammoniakemissies kunnen zo hoog zijn dat luchtwassing noodzakelijk is. Maar ammonium kan ook omgezet worden naar nitraat en nitriet wat bij anaerobe omstandigheden (wat niet wenselijk is bij composteren) weer omgezet kan worden in stikstofgas of lachgas. Bij anaerobe omstandigheden kan ook methaan ontstaan. De risico's op het ontstaan van emissies tijdens het composteren zullen afhangen van de gehanteerde composteringmethode. Tevens zal het afvangen van deze emissies door middel van luchtwassing bij de ene composteringstechniek beter kunnen worden toegepast dan bij een ander.



Figuur 3 Een overzicht van de N omzettingen in een compost bed (Starmans et al., 2002.)

In bovenstaande figuur is zichtbaar hoe stikstof wordt omgezet door composteren. Een aantal microbiologische processen bepalen de vorm waarin N voorkomt; 1) de afbraak van organisch materiaal waarbij voornamelijk eiwitten en gevormde biomassa afgebroken wordt. Hierbij komt stikstof vrij in de vorm van ammoniak; 2) biomassa groei, het organisch materiaal dat aerob afgebroken wordt zal deels omgezet worden in biomassa (bacterie en schimmel groei); 3) nitrificatie, hierbij wordt ammoniak omgezet naar nitriet en vervolgens naar nitraat. Belangrijk is dat deze omzetting alleen plaatsvindt onder aerobe mesofiele omstandigheden; 4) denitrificatie, waarbij nitraat wordt omgezet naar stikstofgas. Stap 4 zal bij een goede compostering niet voorkomen.

4.3.5 Schaal van de techniek

De TRL van mest composteren op boerderijschaal is 9. Composteren is geschikt om op boerderijschaal toe te passen. Afhankelijk van de kwaliteitseisen van het product: exportwaardig (>70 °C gedurende 1 uur) of niet, de ingaande meststroom en bedrijfsspecifieke situatie kan een geschikte composteer techniek worden geselecteerd. Het composteren van alleen drijfmest is niet mogelijk vanwege het hoge vochtgehalte. Voor aerobe omstandigheden is een droger product nodig of er moeten droge producten worden toegevoegd. Voor het composteren van pluimveemest worden composteertrommels (Golstein Comtrom, Beddingmaster) of vloerbeluchting en omzetting (Big Ducthman) gebruikt. Voor mestverwerking op boerderijschaal is compostering uitermate geschikt.

4.4 Vermicomposteren

4.4.1 Type mest

Vermicompostering is een methode om organische (rest)stromen om te zetten in een wormencompost. Voor vermicompostering moet het uitgangsmateriaal aan de volgende eisen voldoen; temperatuur van 15-30°C, vochtgehalte van 60-80 %, pH-waarde van 6-8, aerobe omstandigheden en voldoende voedsel met een C/N verhouding van 25:1. Meestal is inmengen of verdunnen van het uitgangsmateriaal nodig om tot de gewenste C/N verhoudingen te komen (Grand, 2020). Om vermicomposting toe te kunnen passen op dierlijke mest zal altijd gemixt moeten worden met andere substraten om aan de eisen voor het substraat te kunnen voldoen, waarbij stapelbare stromest, feces fracties of dikke fracties het best voldoen. Wormen kunnen echter slecht tegen hogere ammoniakconcentraties en daarom wordt bij vermicomposteren de mest vaak van tevoren gedeeltelijk gecomposteerd.

4.4.2 Omschrijving

Bij vermicomposteren worden er compostwormen gebruikt om het organische materiaal om te zetten in vermicompost. Dit gebeurt aerob en bij relatief lage temperaturen (tussen de 15 en 30°C). Vermicomposteren is een continu proces waarbij doorgaans nieuw materiaal aan de bovenkant wordt aangevoerd en de compost onderin verzameld wordt. Compostwormen bewegen zich namelijk vooral in de bovenste laag. Als er veel weersschommelingen zijn moet vermicompostering overdekt uitgevoerd worden (Grand, 2020).

Het gebruik van dierlijke mest als groeisubstraat betreft een grijs gebied. Insecten worden in Europese wetgeving genoemd als landbouwhuisdieren en landbouwhuisdieren voer voor landbouwhuisdieren moet GMP+ gecertificeerd zijn, mest is hiervan vooralsnog uitgesloten. Als er geen specifieke wetgeving voor wormenteelt is vastgesteld wordt vaak teruggegrepen op wetgeving voor insecten.

4.4.3 Kwaliteit van de mest

Vermicomposteren doodt de onkruidzaden niet. Er verdampt een deel van het water waardoor het drogestof gehalte toeneemt. De makkelijk afbreekbare organische stof wordt door de wormen en micro-organismen afgebroken en opgenomen. Doordat de temperatuur van het vermicomposteren lager ligt dan bij composteren, is het microbiom zeer divers. Dit komt de plant ten goede (Grand, 2020). De wormencompost wordt gezien als een goede organische bemester en bodemverbeteraar. Vermicompost uit dierlijke mest houdt de dierlijke mest status afhankelijk van bijgevoegde groeisubstraten.

4.4.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

De wormen (en aanwezige micro-organismen) zetten organisch materiaal om in CO₂, waarbij ook ammoniakemissies kunnen optreden. Bij hogere concentraties aan ammonium (zoals bij dierlijke mest), zal eerst een voorcompostering moeten plaatsvinden. Hierbij zal ook ammoniakemissie optreden.

4.4.5 Schaal van de techniek

De TRL van vermicomposteren van dierlijke mest op boerderijschaal is 7. Vermicompostering moet overdekt plaatsvinden, daardoor zijn de kosten relatief hoog. De vermicompost wordt nu vooral gemaakt met plantaardige reststromen en wordt toegepast als waardevolle bodemverbeteraar, zoals in boomgaarden of wijngaarden. Vermicomposting van dierlijke mest wordt momenteel in Nederland vooral voor onderzoek toegepast.

4.5 Insectenkweek op mest

4.5.1 Type mest

Er is ervaring met het kweken van Black Soldier Fly (*Hermetica Illucens*) en de huisvlieg (*Musca domestica*) op dierlijke mest.

Black soldier fly (BSF) larven kunnen op allerlei typen mest groeien, in de literatuur zijn er voorbeelden van kippen, varkens en koeienmest te vinden (Oonincx et al., 2015). De groeisnelheid zal wel afhangen van de samenstelling van het substraat. Belangrijk hierbij zijn de gehalten aan koolhydraten, eiwitten en vetten. Een vochtgehalte van 70-80 % wordt geadviseerd. Het substraat moet wel nat zijn en er moet lucht in kunnen komen (Hasnol et al., 2020). Vaak worden substraten gemixt om de juiste samenstelling te krijgen. Voor het kweken van de huisvlieg zijn vergelijkbare voedingssubstraten nodig. Zhang et al., 2012 gebruiken als voer varkensmest met een vochtgehalte van 78 % (na behandeling is het vochtgehalte 48 %).

4.5.2 Omschrijving

Bij veel insectenkweek systemen wordt in bakken gekweekt, maar er zijn ook systemen waar de larven gekweekt worden op banden. Meestal is er sprake van een gescheiden productieruimte waar volwassen insecten eitjes leggen. De larven worden verder opgekweekt in een andere ruimte. De larven vreten zich een weg door het substraat en zetten het om in frass (insectenmest) en in eigen biomassa. De larven worden na hun groeiperiode gescheiden van de frass. De frass kan gebruikt worden als bemester. De larven zelf zijn een bron van eiwitten en vetten. Een klein deel van de larven wordt opgekweekt tot adulte die weer eitjes kunnen leggen.

4.5.3 Kwaliteit van de mest

De frass van insecten heeft de status dierlijke mest en mag daarom aangewend worden op het land. Uit rapporten waar gekeken werd naar het effect van insecten mest als bodemverbeteraar en als ziekte onderdrukker, bleek dat de toevoeging van insectenmest een positief effect had op deze aspecten (Elissen, Schilder, et al., 2019). Ook kan (BSF) frass vergist worden. In proeven gaf de (BSF) frass bij covergisting in combinatie met natuurgras en rundermest een verbetering in het vergistingsresultaat (Elissen, et al., 2019). Belangrijk effect van de insectenkweek is dat de ingaande mest een vochtpercentage van 70-80 % heeft en de frass een vochtpercentage van 40-50% en een ruller product is. Newton et al. (2005) zagen een massa reductie van varkensmest van 56 % na het kweken van BSF.

4.5.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

De emissie van BSF-larven is onderzocht door Parodi et al., (2020). Met behulp van massabalansen en metingen zijn de stikstofgehalten en emissies onderzocht. Hierbij vonden zij een zeer lage emissie van 1% van het totale stikstofgehalte in het systeem. In deze proef werd gewerkt met een substraat met een pH van 4 wat ammoniakemissies sterk zal reduceren. Er zijn ook studies bekend waar 40% gasverliezen aan ammoniak zijn gerapporteerd. In de studie van (Parodi et al., 2020) werd ook nauwelijks methaangas gevormd. Emissies die optreden tijdens de kweek van de huisvlieg zijn niet bekend.

4.5.5 Schaal van de techniek

Het kweken van BSF-larven en huisvlieglarven op mest wordt regelmatig onderzocht (TRL 7). De TRL voor de kweek op GMP+ goedgekeurde substraten wordt als marktrijp gezien (TRL 9).

Bij het kweken van BSF-larven of huisvlieglarven worden enerzijds de larven geproduceerd en anderzijds ontstaat een frass. Hierbij zijn de larven zelf de meest waardevolle stroom. Het substraat waarop de insecten gekweekt worden is doorslaggevend voor de gebruikstoepassingen van de larven die wettelijk mogelijk zijn. Bij het gebruik van dierlijke mest als substraat zijn de gebruikstoepassingen voor de larven zeer beperkt. Er zijn echter wel proeven uitgevoerd om vaste varkensmest te gebruiken voor de groei van BSF. Middels een economisch model is geëvalueerd of dit rendabel kan zijn op bedrijfsschaal voor ca 900 ton vaste varkensmest per jaar. Uit deze modellering bleek dat er alleen sprake is van een positief rendement wanneer er goede afzet voor levende larven gevonden kan worden (Groeneveld et al., 2021). Het gebruik van dierlijke mest als

substraat zorgt ervoor dat de afzetmogelijkheden te beperkt zijn. Het gebruik van dierlijke mest als voeding voor landbouwhuisdieren is in Europese wetgeving verboden, en insecten die worden ingezet als productiedieren vallen hieronder (Insect As Feed 2021).

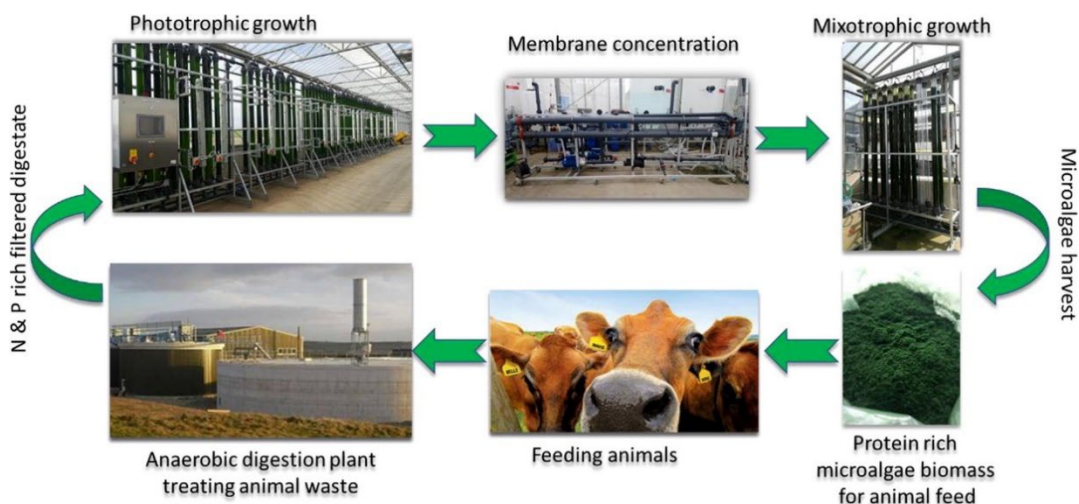
4.6 Aquatische biomassa groei op dunne fractie

4.6.1 Type mest

De dunne fractie of urine is geschikt voor deze omzetting.

4.6.2 Omschrijving

Er zijn verschillende soorten biomassa die kunnen groeien op de dunne fractie van mest of digestaat, waaronder bijvoorbeeld aquatische biomassa, zoals algen of eendenkroos. Deze technieken worden op pilot (800L) en industriële schaal (5000L) toegepast. Fuentes-Grünewald *et al* (2020), zijn erin geslaagd om microalgen te kweken in een lichtreactor, waarin digestaat als substraat was gebruikt. Ze hebben hiervoor een 2-fase reactor. Eerst groeien de algen foto trofisch, waarna de algen geconcentreerd worden op het membraan. De volgende fase is de mixo-trofische fase, waarbij de algen zowel anorganische CO₂ als organische koolstof worden gebruikt en omgezet. Het filtraat uit digestaat was in een concentratie van 2,5% toegevoegd aan de reactor. Het was mogelijk om algen van hoge kwaliteit (bevatten meer dan 45% eiwitten) te kweken op dit substraat (Fuentes-Grünewald *et al.*, 2021).



Figuur 4 Circulaire schema voor de groei van algen op digestaat, waarbij de eiwitten uit de algen verkregen worden. Deze algen kunnen vervolgens gevoerd worden aan het vee (Fuentes-Grünewald *et al.*, 2021).

Zie **Figuur 4** voor een circulair overzicht voor de productie van algen vanuit digestaat. In plaats van dunne fractie mest is het ook mogelijk om algen te laten groeien op dunne fractie digestaat (Van Der Weide *et al.*, 2014). Eendenkroos is een tweede aquatische biomassa stroom die geproduceerd zou kunnen worden op de dunne fractie van mest en digestaat. Voor de teelt van eendenkroos bestaat een volledig gesloten teeltsysteem, zodat het teelmedium en het kroos gecontroleerd en beheerst kunnen worden. De teelt gebeurt in plastic zakken die continu belucht worden of met open vijvers. Ook diverse andere waterplanten kunnen op dunne fractie digestaat groeien, om deze vervolgens in nuttige biomassa om te zetten (Huurman *et al.*, 2013). Het eendenkroos kan na de oogst direct aan het vee worden gevoerd (W van Dijk *et al.*, 2014). Echter, op dit moment staat wetgeving het verhandelen als veevoerders van dergelijke aquatische biomassa gekweekt op mest of digestaat nog niet toe (Broeze *et al.*, 2022), indien er mestdeeltjes in het geproduceerde product kunnen zitten. Toepassingen kunnen gezocht worden in bodemverbeteringsproducten biostimulants of de chemische industrie. Met zeer specifieke algenteelten kunnen bijvoorbeeld kleurstoffen gemaakt worden of ingrediënten voor lijmen of verven.

Wanneer voorkomen kan worden dat er deeltjes mest in het product zitten door mestverwerking en gebruik van N stof uit luchtwasser, en indien de gebruikte algensoorten op de voerlijst staan, zijn de mogelijkheden ruimer.

4.6.3 Kwaliteit van de mest

De dunne fracties worden sterk verdund voor de aquatische teelten en de organismen nemen een deel van de nutriënten op. Wat resteert is een vloeistof met lage concentraties aan nutriënten, die nog de status dierlijke mest heeft. De bemestende waarde is laag en transport is inefficiënt. Deze verdunde fractie zal dus dichtbij afgezet moeten kunnen worden. Wanneer algen worden geteeld op digestaat is het beoogde eindproduct een micro alg met een hoge eiwit concentratie. Veelal wordt de aquatische biomassa dus verder benut voor andere toepassingen en verdwijnen de nutriënten daarmee uit de dunne fractie. In de biomassa (algen) worden de nutriënten geconcentreerd.

4.6.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Algen en aquatische planten leggen juist CO₂ vast tijdens hun groei. De nutriënten in het systeem, zoals stikstof, kunnen gebruikt worden voor de groei van biomassa. Afhankelijk van de teelt kan er sprake zijn van ammoniakemissies. Hierbij is sprake van sterke verdunningen, waardoor emissies beduidend lager zullen zijn dan bij het gebruik van de dunne fracties.

4.6.5 Schaal van de techniek

De TRL van het groeien van aquatische biomassa als algen en eendenkroos is 9 voor teelten op basis van kunstmest, echter voor kweken op de dunne fractie van mest wordt de TRL ingeschaald op 7. Er zijn wel pilots opgezet, maar de volgende stap moet nog gezet worden. Vanwege de kosten om de reactor op te zetten, de manuren die nodig zijn om de reactor draaiende te houden en de lage concentratiemest in de reactor, zijn deze techniek (nog) niet geschikt voor de toepassing op boerderijniveau. Er wel ervaring opgedaan en er werd en worden algen gekweekt bij een tweetal melkveehouders (Kelstein in Nederland en een melkveehouder in België). Een praktijkvoorbeeld van het kweken van eendenkroos op de dunne fractie van kalvermest was Ecoferm (Kroes et al., 2016).

4.7 Biologische mestadditieven

Onder mestadditieven vallen een heel scala aan stoffen en micro-organismen die toegevoegd kunnen worden aan de mest. In deze paragraaf zijn een aantal biologische mestadditieven beschreven en in paragrafen 3.6 en 5.8 zijn respectievelijk de chemische en fysische mestadditieven beschreven. Voor het maken van Bokashi is een aparte paragraaf opgenomen (paragraaf 4.8), er is voor gekozen om deze uitgebreider te beschrijven.

Belangrijke bronnen voor de beschrijvingen van mestadditieven waren Van Boxmeer en Ogink, 2023 en Bakker et al., 2020.

4.7.1 Type mest

Biologische mestadditieven worden meestal toegepast op drijfmest en de dunne vloeibare fracties. Het maken van Bokashi kan met de dikke fractie of feces fractie.

4.7.2 Omschrijving

Van de werking van biologische mestadditieven is nog onvoldoende bekend. Deze middelen bestaan uit een oplossing van micro-organismen en soms ook mineralen. Een aantal effecten die geclaimd worden zijn: verandering samenstelling microbiologie in de mest naar meer aerobe bacteriën waardoor anaerobe afbraakproducten verminderen, vastlegging mineraal stikstof in biomassa waardoor minder stikstof emitteert, van rottingsproces naar composteringsproces.

Duidelijk is dat deze middelen worden toegepast en dat sommige boeren er baat bij hebben (homogenere mest, hogere gewasopbrengsten, minder geur), en anderen weer niet.

Tabel 5 Toevoegmiddelen mest.

Toevoegmiddel	Werkingsprincipe	Bedrijf/product	TRL	Opmerking
Effectieve micro-organismen voor drijfmest, Bokashi of stal	Onduidelijk	Aero Activ, AgriMestMix, MicroFerm & Pro-Mes, en vele anderen	8	

4.7.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Boeren die deze middelen gebruiken geven aan homogenere mest te hebben die betere gewasresultaten laten zien. Dit is niet middels onderzoek onderbouwd.

4.7.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Er zijn geen formele metingen gedaan om de emissiereducties vast te stellen.

4.7.5 Schaal van de techniek

De werking van deze middelen en het effect op emissies (ammoniak en BKG) is nooit formeel vastgesteld, de middelen worden al wel veelvuldig toegepast.

4.8 Bokashi productie

4.8.1 Type mest

Voor het maken van bokashi is een mix van (vaste) organische reststromen waarbij 20% drijfmest wordt toegevoegd geschikt. Ook kan de dikke mestfractie met toevoeging van stro of stapelbare stalmest gebruikt worden om bokashi te produceren.

4.8.2 Omschrijving

Bokashi is een fermentatie techniek die vergelijkbaar is met inkuilen. Het betreft een fermentatieproces dat anaeroob verloopt en waarbij zuren geproduceerd worden. Hierdoor wordt het fermentatieproces gestopt en de organische reststroom geconserveerd. Bokashi kan gemaakt worden met vele verschillende organische reststromen. Voor een succesvolle fermentatie is minimaal 25 en maximaal 50% droge stof nodig. Het belangrijkste is dat er een stikstofbron, een koolstofbron en actieve micro-organismen aanwezig is (Abo-Sido et al., 2021). Bokashi is klaar na 8 tot 12 weken. Een belangrijk verschil met composteren (aerobe afbraak) is de temperatuur. Bij bokashi fermentatie komt deze niet hoger dan 40 °C, tegenover 50-70 °C bij composteren. De pH zakt tijdens de fermentatie tot 3,5-4,0. Bij deze pH zullen de afbraakprocessen stoppen. Om voldoende afbraak te generen wordt er voor de bereiding van bokashi kalkhoudend materiaal toegevoegd zodat de pH niet te snel daalt (Janmaat, 2017). Hierdoor zal het proces langer verlopen. Uiteindelijk is een lage pH gunstig voor bewaring van het product.



Figuur 5 Een bokashi fermentatie op de boerderij.

4.8.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Het fermentatieproces wordt door een verlaging in pH gestopt. Hierdoor conserveert de resterende organische stof (zie figuur 5). Deze blijft in hogere mate beschikbaar voor het bodemleven ten opzichte van composteren of vergisten (Olle, 2020). Wanneer de bokashi uitgereden wordt over het land breekt de koolstof echter alsnog snel af. Bokashi moet eerst omgezet worden door het bodemleven, voor het de gewassen ten gunste komt (Janmaat, 2017).

Bij de proeven uitgevoerd door Hogeschool van Hall Larenstein (gemeten in 2018, 2019 en 2020) was de stikstofconcentratie tussen de 5,9 en 6,5 kg/ton. De kaliumconcentratie lag tussen de 7,3 en 8,9 kg/ton en de hoeveelheid organische stof was tussen de 202 en 214 kg/ton. Het is niet duidelijk of ziekteverwekkers en onkruidzaden worden gedood door het bokashi proces. Vanwege de lage temperatuur van 40 °C is de verwachting dat veel onkruidzaden en ziekteverwekkers het proces overleven (Iepema et al., 2021). Het is daarentegen mogelijk dat ziektekiemen en onkruidzaden niet overleven, door de anaerobe omstandigheden tijdens het fermentatieproces. De kwaliteit hangt ook sterk samen met de gebruikte input. Bokashi staat bekend om fysische verontreinigingen (blik, papier, plastic) die bijvoorbeeld in bermmaaisel of bladafval kunnen voorkomen. Indien de dikke fractie van mest verrijkt met stro gebruikt wordt of stapelbare mest voor het maken van bokashi dan zullen de hiervoor genoemde fysische verontreinigingen niet aanwezig zijn.

4.8.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

De emissie die optreden tijdens de productie van bokashi zijn nog onvoldoende onderzocht. Bij de productie van bokashi zijn methaan en lachgas aandachtspunten en bij aanwenden is mogelijk lachgas een aandachtspunt.

4.8.5 Schaal van de techniek

Dikke fractie mest tot bokashi maken wordt gedaan bij Van Boxtel zie <https://www.landbouwenvoedselbrabant.nl/innovatie/brabant+bemest+beter/bbb+-+bemestingspraktijken+in+regiogroepen/2263448.aspx?t=Bemesten-met-bokashi-en-urine-in-Brabant-Bemest-Beter>. De TRL voor het maken van bokashi uit dierlijke mest is 8. Als dierlijke mest het hoofdingrediënt is dan is de wettelijke status dierlijke mest, wordt dierlijke mest in beperkte mate toegevoegd aan een andere reststroom dan zal de wettelijke status afhangen van de status van het gebruikte hoofdproduct.

Het optreden van emissies bij het bokashi proces is nog onvoldoende onderzocht.

De Stichting Proefboerderijen Noordelijke Akkerbouw hebben enkele proeven met bokashi op boerderijschaal, de bokashi werd na de zomer verstrooid over een wintertarwe stoppel. De eerste resultaten waren goed, ook wat betreft onkruiddruk. Voor meer info, zie <https://www.emwinkel.nl/bokashi-proefboerderij-spna/>.

Voor het aanwenden van bokashi zonder dierlijke mest is een vergunning nodig. Deze vergunning wordt alleen toegekend aan pilots (Jonkheer, 2020).

5 Fysische behandelingen

Onder dit cluster fysische behandelingen zijn mestbewerkingstechnieken beschreven die gebaseerd zijn op deeltjesgrootte, dichtheid of het toevoegen van energie als elektriciteit of warmte.

5.1 Mechanische scheiding

5.1.1 Type mest

Mechanische scheiding wordt toegepast op drijfmest en digestaat. Tevens kan een feces fractie nogmaals gescheiden worden om het drogestof gehalte nog verder te verhogen.

5.1.2 Omschrijving

Mechanische scheiding zal vaak een eerste en ondersteunende stap zijn in het mestverwerkingsproces. Onder deze term scharen we drie mechanische scheidingstechnieken die in de praktijk gebruikt worden namelijk: schroefpers, decanter en zeefbandpers. Filtreren van dunne fracties wordt in paragraaf 5.3 behandeld en Dissolved Air Flotation in paragraaf 5.2

Met de schroefpers wordt door middel van een schroef de mest tegen een filter aangedrukt waardoor de mest ontwaterd wordt. Er is een vezelrijke mest nodig om de schroefpers optimaal te laten werken. De schroefpers wordt vooral ingezet voor melkveemest (vezelrijk) waarbij de dikke fractie ook gebruikt kan worden als ligboxvulling. In een decanter wordt het water uit de mest gecentrifugeerd. Deze scheidingsmethode is geschikt voor varkens-, vleeskalver- en melkveemest waarbij eventueel polymeren en ijzerchloride worden toegevoegd. Het leidt tot een hoger scheidingsrendement dan de schroefpers. De zeefbandpers perst het water uit de mest. Vaak worden bij de zeefband polymeren en of ijzer toegevoegd om een betere scheiding te krijgen. De zeefband is geschikt voor de verwerking van varkens-, vleeskalver- en melkveemest of mengsels hiervan.

De scheidingsrendementen en de kosten verschillen per scheidingstechniek, dit kan een reden zijn om voor een bepaalde techniek te kiezen, alsmede het gebruik van hulpstoffen. Deze drie technieken zijn als vaste installatie toe te passen, maar worden ook als mobiele scheidingsapparaten aangeboden. Hierdoor kan ook bij kleinere schaal gewerkt worden met deze scheidingsapparaten.

5.1.3 Kwaliteit van de mest

De mest wordt in een dikke en een dunne fractie gescheiden. Fosfaat zal vooral in de dikke fractie terechtkomen en minder in de dunne fractie. De betreffende fracties kunnen ingezet worden in de landbouw als bemesters, maar ook verdere verwerking is mogelijk. Het totaal volume aan mest verandert niet.

5.1.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Bij opslag van de dikke en dunne fracties kunnen emissies van ammoniak en broeikasgassen ontstaan. Voor de dikke fractie is er ook het risico op het ontstaan van lachgas.

5.1.5 Schaal van de techniek

Deze technieken worden al jaren ingezet bij centrale verwerkers maar ook op boereiderschaal de TRL is 9.

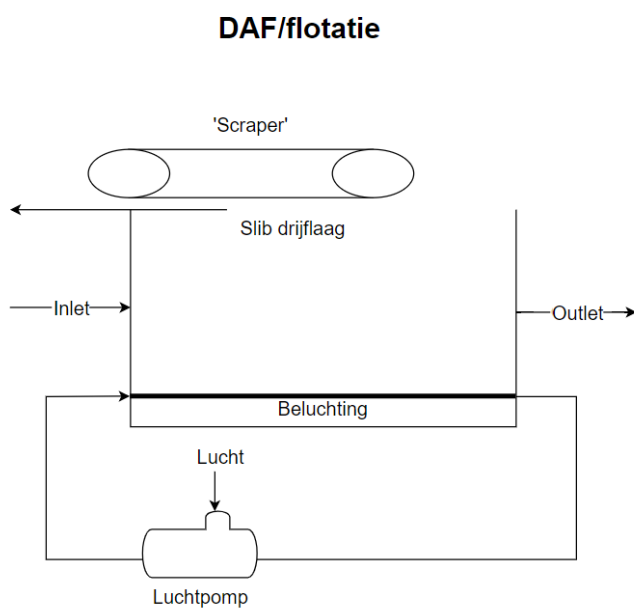
5.2 Flotatie/ DAF

5.2.1 Type mest

Het type mest die voor deze techniek geschikt is, zijn de dunne fracties van digestaat en drijfmest.

5.2.2 Omschrijving

Met Dissolved Air Flotation (DAF) kunnen vaste deeltjes uit de dunne fracties van digestaat en drijfmest verwijderd worden. Het is een techniek afkomstig uit de waterzuivering. In een bak wordt de vloeibare fractie gedaan samen met een geschikt vlokmiddel. Deze bak wordt belucht met kleine belletjes. Door het vlokmiddel gaan de vaste deeltjes klonteren en de kleine belletjes geven deze vlokken drijfvermogen waardoor ze aan het vloeistofoppervlak verzamelen. Hier ontstaat een slibachtige drijf laag die met een zogeheten scraper verwijderd wordt. De flotatie kan bevorderd worden door druk & debiet te veranderen (en daarmee luchtbel grootte), of andere flocculanten toe te voegen. Deze zorgen ervoor dat deeltjes aan elkaar binden en een groter oppervlakte krijgen. DAF wordt vooral ingezet als voorbehandeling bij centrale mestverwerkers.



Figuur 6 Het principe van DAF/flotatie schematisch weergegeven. De dunne fractie komt via de 'inlet' in de tank, waar luchtbelletjes omhoog bubbelen en de organische fractie meenemen naar de oppervlakte van de tank. Hier zit een 'scraper' die de slibachtige drijf laag van de vloeistof schept. De 'outlet' is een minerale rijke en opgeschoonde dunne fractie.

5.2.3 Kwaliteit van de mest

De slibstroom kan met de dikke fractie afgezet worden. De vloeibare fractie is rijk in nutriënten zoals kalium en stikstof. Onkruidzaden en ziektekiemen worden niet gedood met deze techniek. De vloeibare fractie is geschikt voor verdere verwerking.

5.2.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Tijdens het beluchten kan ammoniak emitteren. Meestal wordt deze lucht door een luchtwasser geleid.

5.2.5 Schaal van de techniek

De TRL van deze techniek is 9. Deze techniek wordt vaak ingezet in combinatie met andere mestbewerkingprocessen. Zie bijvoorbeeld <https://www.nijhuisindustries.com/solutions/flotation-systems.In>

Nederland wordt de techniek vaak als voorbewerkingstechniek bij omgekeerde osmose installaties toegepast. De techniek wordt dus vooral bij de grotere mestverwerkingsinstallaties ingezet en is minder geschikt voor toepassing op boerderijschaal.

5.3 Reversed Osmosis en filtratie dunne fracties

5.3.1 Type mest

Het filtreren kan ingezet worden voor het verder scheiden van dunne fracties van mest en digestaat. Dit geldt ook voor urine/gier.

5.3.2 Omschrijving

Een aantal filtratie technieken wordt ingezet voor de verdere verwerking van de waterige fracties. Onderstaand wordt besproken: microfiltratie (0,1-5 μm) ultrafiltratie (20 nm – 0,1 μm) en reversed osmose (0,1-1 nm) bron: [Membraanfiltratie - VCM vzw \(vcm-mestverwerking.be\)](http://Membraanfiltratie - VCM vzw (vcm-mestverwerking.be))

Microfiltratie

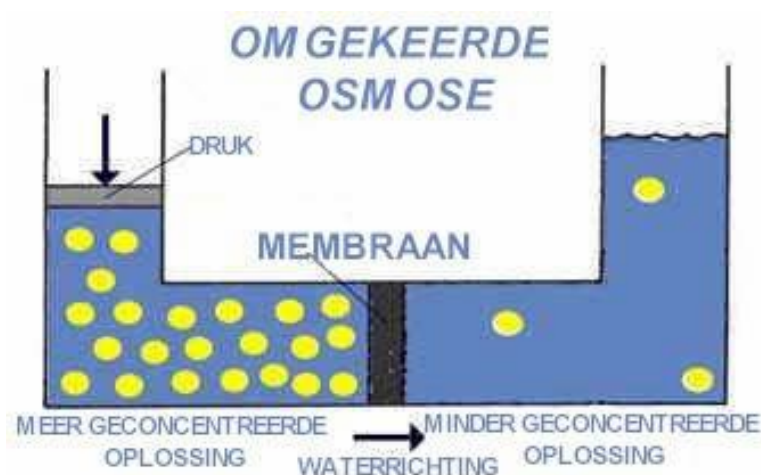
Microfiltratie vindt plaats onder lage druk (0,1-3 bar) en betreft veelal een voorbehandeling voorafgaand aan reversed osmose. Het filter houdt vaste deeltjes en een deel van de micro-organismen tegen. Het permeaat bevat nog opgeloste ionen en moleculen, virussen maar ook een deel van de micro-organismen.

Ultrafiltratie

Bij ultrafiltratie wordt een hogere druk aangelegd (2-10 bar). Het permeaat zal nog opgeloste organische stof en ionen bevatten. Volledige verwijdering van de micro-organismen kan nog niet gegarandeerd worden. Ultrafiltratie wordt ook ingezet in Membraan Bio Reactoren (MBR-reactoren).

Omgekeerde osmose

Bij omgekeerde osmose wordt er een waterdoorlatend membraan gebruikt waarmee twee compartimenten worden gescheiden. Na een voorbehandeling door micro- en of ultrafiltratie wordt de dunne fractie van de mest door het membraan gestuurd, waarbij de zouten en grotere moleculen door het membraan worden tegenhouden (Lemmens et al., 2007). Door vervolgens druk (10- 100 bar) uit te oefenen op het compartiment op de dunne fractie, wordt het water als het ware uit de dunne fractie geperst. Het permeaat betreft nagenoeg schoon water.



Figuur 7 Principe van omgekeerde osmose. Druk zorgt ervoor dat het water door het membraan geperst wordt, de zouten en grotere moleculen blijven achter en er vormt zich een geconcentreerde oplossing.

Door omgekeerde osmose blijft er een concentraat (mineralencontraat) over. Ook voor omgekeerde osmose van urine is een voorbehandeling noodzakelijk om de grotere deeltjes en de vlokken uit de urine te filteren. Dit komt de omgekeerde osmose installatie ten goede. In urine is ureum aanwezig. Wanneer urine is verwerkt

door middel van omgekeerde osmose, kan er ureum in het permeaat terechtkomen waardoor het permeaat nog nabehandeld dient te worden voorafgaand aan lozing (Borneman & Nijmeijer, 2021).

5.3.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Het mineralenconcentraat bevat circa een factor 2-5 hogere concentraties aan N, K en andere zouten dan het ingaande product. De absolute hoeveelheden van deze stoffen blijven hetzelfde. Het mineralenconcentraat mag binnen de pilot mineralenconcentraat afgezet worden als kunstmestvervanger (RENURE). Het permeaat van reversed osmosis voldoet voor de meeste stoffen aan de lozingsnormen echter voor ammonium wordt soms nog een extra ionenwisselaar ingezet.

De producten uit micro- en ultrafiltratie moeten eerder gezien worden als tussenproducten.

5.3.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

De concentratie aan ammonium neemt toe in het concentraat, daardoor kan de emissie aan ammoniak verhogen bij verdere opslag en aanwenden.

5.3.5 Schaal van de techniek

De TRL voor toepassing van RO op boerderijschaal is 9 echter RO wordt bijna niet ingezet op boerderij schaal. Installaties voor het verwerken van verschillende debieten zijn mogelijk, zie daarvoor de volgende websites; <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/techniekfiches/omgekeerde-osmose>. Inzet van reversed osmosis is pas rendabel op grotere schaal.

5.4 Electro dialyse

5.4.1 Type mest

De dunne mestfracties als urine/gier en dunne fractie na mestscheiden kunnen hiervoor in potentie gebruikt worden. Met spuiwater wordt al op praktijkschaal getest.

5.4.2 Omschrijving

Electrodialyse is een combinatie van een aantal semi permeabele membranen waarover een elektrisch spanningsveld wordt gelegd. Electrodialyse wordt toegepast op waterige stromen om selectief ionen uit deze oplossing te halen, bijvoorbeeld voor ontzilting of afvalwaterreiniging. Het influent wordt ontdaan van ionen en deze ionen gaan door een membraan in een opvangvloeistof (concentraat). Hierbij worden de positieve en negatieve ionen uit het influent gehaald, waarbij de gekozen membranen afgestemd kunnen worden op de specifieke ionen die doorgelaten moeten worden. Het is mogelijk om met de juiste membranen en spanning om vooral NH_4^+ , K^+ en Na^+ te concentreren in de opvangvloeistof. De techniek is al wel toepasbaar voor een relatief schone oplossing als spuiwater voor het verder concentreren. Er wordt getest op mestfracties echter deze techniek is nog niet praktijkrijp voor inzet op mest.

5.4.3 Kwaliteit van mest na behandeling

In potentie kan met deze techniek uit dunne mestfracties een effluent gemaakt worden bestaande uit organische stof, enkele mineralen en relatief lage concentraties aan ammoniak en kalium en er ontstaat een concentraat met de afgescheiden positieve en negatieve ionen waarbij de concentraties aan ammoniak en kalium relatief hoog zijn.

5.4.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Bij inzet van de techniek worden geen directe emissies verwacht (gesloten systeem). Het is nog onduidelijk of de pH van het geproduceerde concentraat voldoende laag is om ammoniak emissies bij aanwenden laag te houden.

5.4.5 Schaal van de techniek

De TRL wordt ingeschaald op 4-5, de techniek is in het laboratorium getest maar is nog niet op pilotschaal op mestfracties ingezet.

5.5 Indampen van vloeibare mestfracties

5.5.1 Type mest

Indampen is geschikt voor drijfmest en digestaat en de dunne fracties maar ook urine/gier.

5.5.2 Omschrijving

Bij indampen wordt de mestfractie verwarmd tot het kookpunt (met behulp van hitte en drukverschillen of infraroodstraling), zodat het water en andere vluchtige verbindingen verdampen en de mest een hoger drogestof gehalte krijgt. In theorie kan er ingedampt worden tot er een bijna vaste fractie over is. In de praktijk wordt dit niet gedaan om de drijfmest verpompbaar te houden en de energiekosten niet te hoog te maken. Vaak wordt een indamper gecombineerd met een voorgeschakelde stripper of biologische zuivering zodat de ammoniak al is verwijderd uit de mest. Indamping levert dan een losbaar condensaat en een concentraat op (Timmerman & Rulkens, 2009).

Een voorbeeld van een indampstechniek is mechanische dampcompressie. De dunne fractie wordt door een kilometerslang buizenstelsel gepompt waarbij de mest een vrije val maakt. De buizen worden verhit met behulp van stoom, wat leidt tot een indirecte verwarming van de mest. De combinatie van vrije val en hitte zorgt voor een verdamping van water uit de mest. Om het proces te versnellen en daarmee minder warmte te hoeven gebruiken wordt het vaak onder vacuüm uitgevoerd. De nutriënten in de dampen die vrijkomen kunnen teruggewonnen worden door middel van een scrubber.

5.5.3 Kwaliteit van de mest

Er wordt een concentraat gemaakt waarin door het verdampen van water hoge concentraties aan nutriënten aanwezig zijn. Dergelijke concentraten kunnen ingezet worden als K en P meststoffen. Vluchtige stoffen als ammoniak (en ook vetzuren) kunnen emitteren en ofwel in het condensaat terechtkomen ofwel voorafgaand aan het indampen verwijderd worden middels strippen en scrubben. Er blijft dus tevens spuiwater of condensaat met ammonium over.

Het ingedikte product is vaster en daarom minder gemakkelijk te verpompen. De ziektekiemen en onkruidzaden worden gedood door de gebruikte temperaturen van meer dan 70 °C.

5.5.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

De ammoniak zal tijdens of voorafgaand aan het indampen verwijderd worden en in het condensaat of in spuiwater terechtkomen. Het concentraat is ammoniumarm waardoor ammoniak emissies bij opslag en aanwending minimaal zijn. Het spuiwater/condensaat zal aangezuurd moeten worden om de oplosbaarheid van ammoniak te vergroten en bij opslag en aanwending zal er sprake zijn van lage ammoniak emissies.

5.5.5 Schaal van de techniek

De TRL van deze technieken is 9. Indampen is ook mogelijk op bedrijfsniveau, in 1995 werd het al gedaan op boerderijschaal met varkensmest (N. Verdoes, 1995). Momenteel wordt indampen niet tot nauwelijks toegepast op boerderijschaal vanwege de hoge kosten. Er zijn enkele centrale mestverwerkers waarbij mineralen concentraten wel door middel van indampen verder worden geconcentreerd. Bijvoorbeeld GEA biedt indamp technieken aan: <https://www.gea.com/nl/products/evaporators-crystallizers/evaporator-configuration/mvr-heated-evaporation-plants.jsp>

5.6 Drogen van vaste mestfracties

5.6.1 Type mest

Het drogen door middel van verdamping is geschikt voor dikke fracties uit drijfmest. Het wordt in de praktijk veelal toegepast op pluimveemest die al droger is ten opzichte van dikke fracties drijfmest van varkens en rundvee. Het vochtgehalte kan ook met een composteringsstap omlaag gebracht worden waarna met nog een aanvullende droogstap het vochtgehalte zover omlaag gebracht worden dat korrelen mogelijk is.

5.6.2 Omschrijving

Verdampen is een methode geschikt voor de dikke fracties. Warme droge lucht (convectiedrogers) of warmte/energie zelf (conductiedrogers, stralingsdrogers) wordt in contact gebracht met mest. Hierdoor verdampt het water uit de mest en droogt de mest. De lucht wordt vervuild door het in contact brengen met mest. Als de vervuilde lucht gewassen wordt kan de emissie van vervuilende stoffen worden gereduceerd. Voorbeelden van verdampingsinstallaties zijn trommeldroger, banddroger/droogtunnels en beddroger. Belangrijk is dat een bron van droge lucht en of warmte aanwezig is. Mogelijke warmtebronnen zijn; warmte onder daken en uit de stal, warmte uit warmtekrachtkoppeling vergister of een pelletkachel. Met de inzet van warmtepompen kan de warmte efficiënt gegenereerd worden. Het is dan ook mogelijk om warmte terug te winnen uit de uitgaande lucht.

Droogtechnieken

Het drogingsprincipe bij convectiedrogers is dat warme (droge) lucht in direct contact wordt gebracht met het te drogen materiaal. Voordeel van convectiedroger is het intensieve contact van de drooglucht met het te drogen materiaal hiervoor dient het materiaal wel voldoende korrelig te zijn. Conductie drogers zijn gebaseerd op het principe van indirecte warmteoverdracht naar het te drogen materiaal. Door het materiaal te verwarmen is een lager volume aan drooggassen nodig dan bij convectiedrogers. Het te drogen materiaal hoeft ook minder korrelig te zijn. Bij stralingsdrogers zorgt bijvoorbeeld infrarode straling voor de opwarming van het te drogen product. Nattere producten zijn op deze manier te drogen. Een met convectiedrogen vergelijkbaar volume drooggassen ontstaat. In de voedingsindustrie wordt ook vriesdrogen ingezet. Dit zou potentieel gebruikt kunnen worden om de dikke fractie te drogen. De dikke fractie wordt dan eerst bevroren om vervolgens naar een lagedruk kamer te gaan. Door de lage druk sublimiert het water. Sublimeren is de faseovergang van vast naar gas zonder smelten als tussenstap. Deze techniek wordt echter nog niet ingezet voor mest.

5.6.3 Kwaliteit van de mest

Er wordt een droge meststof geproduceerd, waarbij het drogestof gehalte van het uiteindelijke product afgestemd kan worden op het doel (export, pelleteren, verbranden) en de aanvoer van drooglucht en droogwarmte. Wanneer de mest minimaal 60 minuten op een temperatuur van 70 °C wordt gehouden bij het verdampen is de gedroogde mest voldoende gehygiëniseerd om te exporteren (conform EU-verordening 1069/2009).

5.6.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Omdat de mest geconcentreerder wordt, kunnen de ammoniakemissies na aanwenden toenemen, er wordt echter ook een deel van de ammoniak verwijderd uit de mest tijdens het droogproces. Ammoniakemissies tijdens het droogproces dienen door middel van een luchtwasser afgevangen te worden. De broeikasgasemissies (CH₄ en N₂O) vanuit de gedroogde mestfractie zullen lager zijn bij verdere opslag dan bij de oorspronkelijke mestfractie.

5.6.5 Schaal van de techniek

De TRL van deze technieken is 9. Er zijn al verschillende bedrijven die deze mestdroog technieken gebruiken. Bijvoorbeeld het drogen van mest met ventilatielucht wordt momenteel vooral toegepast bij pluimveemest. Er zijn meerdere leveranciers die technieken (al dan niet modulair) aanbieden voor het drogen van (dikke fractie) mest op bedrijfsschaal. Behandeling van de drooggassen is noodzakelijk en drijfmest zal gescheiden moeten

worden in een dikke en dunne fractie. Ook een eerste droging met een composteringstap kan onderdeel zijn van deze mestverwerking.

5.7 Korrelen

5.7.1 Type mest

Voor het korrelen/pelleteren van mest is een gedroogde fractie nodig met een hoog drogestof gehalte (> 50%). Geschikt hiervoor zijn droge mestproducten afkomstig van pluimvee of bijvoorbeeld dikke fracties uit mest die gecomposteerd en/of gedroogd zijn. De samenstelling van de mestkorrel hangt af van het ingaande materiaal.

5.7.2 Omschrijving

Door middel van een pers wordt de mest met hoog drogestof gehalte tot een korrel geperst. Dit gebeurt vooral bij centrale mestverwerkers maar is ook mogelijk op boerderijschaal. Door het persen wordt het droge stofgehalte verder verhoogd en gehalten van 95% droge stof zijn mogelijk. Soms wordt bij het proces een middel toegevoegd om een betere kleef te creëren.

De mestkorrels worden geproduceerd:

- Als koemest en kippenmest korrels voor de nationale markt dit is een krappe afzetmarkt (particulieren) maar deze markt kan ook lokaal bediend worden door een boerenbedrijf
- Voor export binnen Europa, deze mestkorrels bestaan vooral uit dikke fractie varkensmest en pluimveemest
- Voor de mondiale markt worden deze speciaal op maat gemaakt, vaak bestaan deze korrels uit pluimveemest en andere organische materialen om de juiste NPK-verhoudingen te krijgen bijvoorbeeld inzet voor golfbanen

5.7.3 Kwaliteit van de mest

Korrelen met een laag gehalte aan water zijn stabiel en goed op te slaan en te transporteren, maar ook bij toediening is de mestkorrel makkelijk te strooien en stuift minder dan gedroogde mest. De samenstelling van de mestkorrels hangt af van de input.

5.7.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Tijdens het drogen en of composteren van de mest of dikke mestfractie zal het grootste deel van de ammoniak en broeikasgas emissies optreden. Bij het pelleteren wordt ook de temperatuur verhoogd. Het is niet bekend of deze temperatuursverhoging leidt tot ammoniak emissies maar gezien de droog- en of composteerstappen alvorens het pelleteren wordt verwacht dat dit relatief weinig bijdraagt in de totale ammoniak emissies. De pellets zijn, mits voldoende droog, stabiel en goed op te slaan zonder vorming van methaan.

5.7.5 Schaal van de techniek

Het pelleteren van gedroogde/gecomposteerde mest wordt bij centrale mestverwerkers ingezet, er zijn ook systemen voor pelleteren van mest op boederijschaal deze zijn vooral gericht op de verwerking van pluimveemest maar kunnen ook op de gedroogde dikke fractie ingezet worden. De TRL is 9.

5.8 Verbranden en vergassen

5.8.1 Type mest

De drogere mestsoorten als kippenmest en dikke fracties uit drijfmest komen in aanmerking voor verbranden en vergassen. Wel zal in de meeste gevallen een voordroging moeten plaatsvinden. Momenteel wordt circa 30% van de kippenmest verbrand (BMC Moerdijk) (Leenstra *et al.*, 2019).

5.8.2 Omschrijving

Mest met een drogestofgehalte van >60% kan in potentie verbrand of vergast worden. De mest kan volledig verbrand worden maar er kan ook gekozen worden voor een onvolledigere verbranding (lagere temperatuur en minder zuurstof toevoer), zoals vergassing, pyrolyse of torrefaction. Afhankelijk van het gebruikte proces zullen ook de producten verschillen: van volledige verbranding in as, tot houtskoolachtige producten bij torrefaction (Gollenbeek *et al.*, 2018). Hoe onvollediger de verbranding hoe meer koolstof achterblijft in de asfractie. Met de verbrandingswarmte, ontstane gassen en olie kan tevens energie in de vorm van warmte of elektriciteit geproduceerd worden.

Kippenmest wordt op grote schaal centraal verbrand en dit kan ook op boerderijschaal. Voor andere mestsoorten bestaan er systemen die dit kunnen maar deze worden niet tot nauwelijks ingezet op boerderijschaal in Nederland.

5.8.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Het volume van de ingaande mest wordt sterk gereduceerd. Er blijft een fosfor kalium as over en bij onvolledige verbranding zit in dit as in meer of mindere mate houtskool/biochar. Dit as kan gebruikt worden als grondstof voor kunstmest. Voor as geldt een end of waste status, voor een biochar uit mest is een dergelijke end of waste status nog niet van toepassing.

De concentraties aan zware metalen zullen in de assen of biochars toenemen.

Deze verwerkingsmethode is geschikt voor de drogere mestproducten en bied geen oplossing voor de waterige fracties.

5.8.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

De verbrandingsgassen dienen gezuiverd te worden (mogelijke teervorming). Bij het aanwenden van de as of biochar zullen de emissies qua ammoniak en broeikasgassen minimaal zijn.

5.8.5 Schaal van de techniek

De TRL voor verbranding van kippenmest is 9 op boerderijschaal. Voor verbranding of vergassing van varkens of rundveemest op boerderijschaal is de TRL 6.

5.9 N₂ Plasma behandeling van het vloeibare organische substraat

5.9.1 Type mest

Voor deze toepassing is een vloeibare stroom nodig. Drijfmest of digestaat zijn geschikt, efficiënter is het verrijken van dunne fractie van digestaat of drijfmest en urine of mineralenconcentraten.

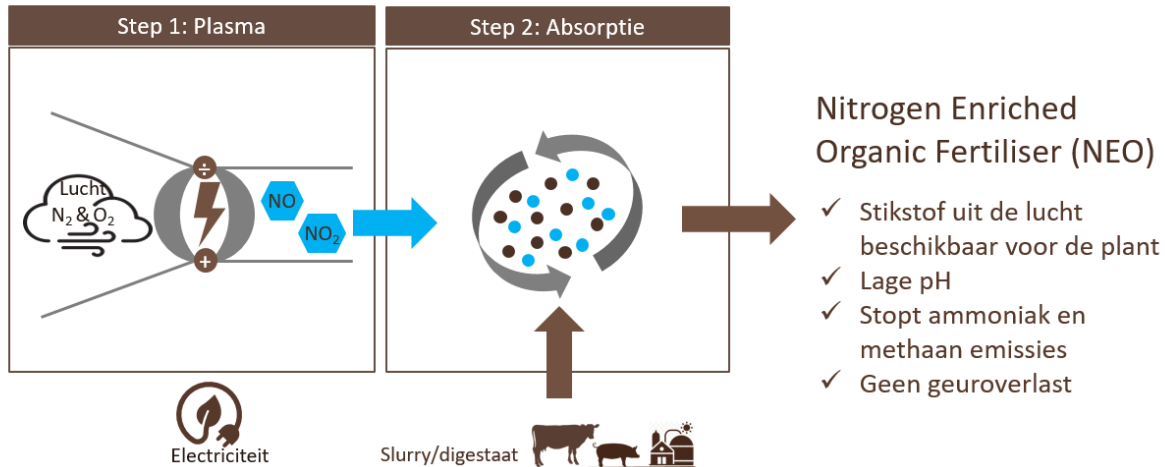
5.9.2 Omschrijving

Plasmabehandeling van de vloeibare organische stroom is een nieuwe techniek om drijfmest, digestaat of urine te verrijken met stikstof en om te zetten in een duurzame efficiënte meststof. Het proces heeft een aanzurende werking waardoor ammonium niet wordt omgezet in ammoniak en daardoor de ammoniakemissie

sterk wordt gereduceerd. Tegelijkertijd wordt de stikstof concentratie verhoogd. In mest is stikstof in twee vormen aanwezig organisch stikstof en mineraal stikstof waarbij het minerale deel voornamelijk uit ammonium bestaat.

Deze plasmatechniek bestaat uit twee stappen, de plasma- en de absorptiestap. In de eerste plasmastap wordt stikstof gefixeerd uit de lucht met een plasma (elektriciteit). Hier worden stikstof en zuurstof moleculen gesplitst in atomen, waarna stikstofoxide gevormd wordt (NO). In de 2^e stap wordt de stikstof rijke lucht geabsorbeerd door de drijfmest of digestaat. Zo wordt de organische stroom rijker in stikstof in de vorm van NO₃⁻ en wordt de mest aangezuurd. Hierdoor wordt het ammonium gestabiliseerd zodat deze niet als ammoniak verloren gaat tijdens opslag of aanwenden. Het saniterende effect van de plasmabehandeling zorgt samen met de aanzurende werking dat ook de methaanemissie stopt.

Nitrogen enrichment / stop emissions



Figuur 8 De plasma reactor. Door elektriciteit wordt stikstof uit de lucht omgezet en gebonden in de vorm van NO en NO₂. Vervolgens worden deze moleculen geabsorbeerd in het digestaat of de dunne fractie, waardoor de totale concentratie stikstof in de mest toeneemt. Deze techniek stopt de emissie van methaan en ammoniak en maakt de stikstof uit de lucht beschikbaar voor efficiënte plantopname. Bron; N2 Applied.

Zowel digestaat als drijfmest en eventueel urine kunnen behandeld worden met deze techniek. Belangrijk is dat drijfmest niet voorafgaand aan het vergisten behandeld wordt in verband met de negatieve uitwerking op de vergisting (lage pH en te hoog stikstofgehalte). Na vergisten is het toepassen van deze plasmatechniek wel doelmatig.

5.9.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Na de behandeling heeft de mest een hoger stikstofgehalte en een lagere pH. De stikstof die uit de lucht gehaald wordt en toegevoegd aan de mest in nitraatvorm, is direct bruikbaar door de plant. Het eindproduct heeft geen mestgeur meer, en de behandeling heeft ook een saniterende werking. Het is nog niet duidelijk wat de wettelijke status is van deze toegevoegde stikstof (dierlijke mest of kunstmest). In Denemarken mag deze technologie worden gebruikt als vervanger van aanzuren met zwavelzuur. Injecteren van de mest onder Deense regelgeving is bij aanzuring niet nodig. Plasmabehandeling van de drijfmest zorgt voor een efficiëntere plantopname (hogere NUE) en een vermindering van ammoniak en methaanemissies (Graves et al., 2019).

5.9.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

De aanzurende werking van de plasmabehandeling zorgt voor minder emissie van ammoniak en methaan uit de mest. Voor de hoogst mogelijke emissiereductie is het belangrijk dat de plasmabehandeling voor drijfmest direct met mest uit de stal gebeurt. Voor digestaat moet de plasmabehandeling direct na de vergistingsinstallatie plaatsvinden. Een LCA studie in samenwerking met Arla Foods (op basis van Deense melkveebedrijven), toont een potentieel van 27% verbetering van de carbon footprint van het melkveebedrijf (Nyvold & Ingels, 2019). Aandachtspunt zijn de emissies die ontstaan bij het productieproces. Door denitrificatie kan de nitraat geleidelijk weer afbreken. Het is onbekend of dit kan leiden tot de vorming van bijvoorbeeld lachgas (N₂O).

5.9.5 Schaal van de techniek

De TRL van de techniek is 8. Deze techniek is mogelijk op bedrijfsniveau. N2 Applied, een partner uit WP2, levert een eenvoudig te installeren N2 Unit in een 6-meter container. Deze is bewust bedoeld om te gebruiken op de boerderij en heeft alleen elektriciteit en lucht nodig. Hierdoor kan de boer zijn eigen mest verrijken. Zie <https://n2applied.com/> voor meer info over deze techniek.

5.10 Fysische mestadditieven

Onder mestadditieven vallen een heel scala aan stoffen en micro-organismen die toegevoegd kunnen worden aan de mest. In deze paragraaf zijn een aantal fysische mestadditieven beschreven en in paragrafen 3.6 en 4.7 zijn respectievelijk de chemische en biologische mestadditieven beschreven.

Belangrijke bronnen voor de beschrijvingen van mestadditieven waren Van Boxmeer en Ogink, 2023 en Bakker et al., 2020.

5.10.1 Type mest

Fysische mestadditieven worden meestal toegepast op drijfmest meestal worden deze additieven door de mest gemixt.

5.10.2 Omschrijving

De werking van de fysische toevoegmiddelen is vooral gebaseerd op het bindend vermogen. Dus stoffen met een groot reactief oppervlakte als zeolieten, kleimineralen en biochars. Deze toevoegmiddelen zullen in de behandelde mestfractie blijven en zullen bij aanwending op het land gebracht worden. In tabel 6 zijn algemene gegevens van deze drie toevoegmiddelen gegeven.

Vergelijkbare effecten worden beoogd met het toepassen van de minder bekende middelen als bruinkool, compost, huminezuren en polymeren.

Tabel 6 Toevoegmiddelen mest

Toevoegmiddel	Werkingsprincipe	Bedrijf/product	TRL	Opmerking
Zeoliet	Binding van ammoniak. Groot oppervlakte.	ZEOLite-products	8	
Biochar	Binding van ammoniak. Groot oppervlakte.	Chemicaliën/grondstoffen leverancier	6	Tevens effectieve organische stof voor bodem
Kleimineralen	Binding van ammoniak. Groot oppervlakte.	Active NS	8	

5.10.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Boeren melden dat de drijfmest homogener is. Ook wordt gemeld dat de stikstof gehalten hoger worden in de drijfmest in verband met het verminderen van de verliezen. Deze waarnemingen zouden middels onderzoek onderbouwd moeten worden.

5.10.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Effecten op emissies zijn nog niet formeel vastgesteld. Wel blijkt uit indicatieve metingen dat verwacht mag worden dat ten minste ammoniak emissies verminderd kunnen worden met deze fysische additieven.

5.10.5 Schaal van de techniek

De toevoegmiddelen zijn te bestellen en er is beperkt ervaring met het gebruik maar er is geen formele emissie factor voor dergelijke middelen dus TRL 6-8.

5.11 Mestmixen

5.11.1 Type mest

Met mixen van de drijfmest in de opslag gebeurt vooral bij melkveemest waar een korst of drijfslag ontstaat op de mest. Bij varkensmest ontstaat deze drijfslag niet en is juist sprake van een bezinklaag die normaliter nog verpompbaar is, mixen is dan geen must het afvoeren van een dikkere bezinklaag kan dan juist een makkelijke manier zijn om mest af te voeren met een hoger drogestof en nutriënten gehalte.

5.11.2 Omschrijving

Het doel van het mestmixen is het verkrijgen van een homogener mest die goed verpompbaar is. Voor het mestmixen zijn verschillende systemen beschikbaar, bijvoorbeeld mechanische mixers die met de aftakas van de trekker aangedreven kunnen worden maar er zijn ook elektrische mixers. Ook worden mobiele mixers aangeboden door loonwerkers. Een andere manier van mixen is door middel van luchtmixen (bellenmixen), een systeem wat op de mestputbodemp wordt aangelegd en waarbij grote luchtbellen ervoor zorgen dat de mest in beweging komt.

5.11.3 Kwaliteit van mest na behandeling

De mest is homogener en beter verpompbaar. Doordat de mest homogener is, is deze beter te bemonsteren en bij aanwenden is de kwaliteit van de verschillende vrachten vergelijkbaarder.

5.11.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Bij het mixen van mest komen (dodelijke) mestgassen (o.a. H₂S, CN, CH₄, CO₂ en NH₃) vrij met de bijgaande veiligheidsrisico's. Goede ventilatie, het liefst mixen bij een lege stal en ook regelmatig mixen reduceert de kans op ongelukken.

Uit metingen van Van Dooren et al. 2019 en 2014 en Calvet et al., 2017 blijkt dat de ammoniak emissies door het mechanisch danwel luchtmixen bij melkvee kunnen verbeteren maar ook kunnen verslechteren. Het effect op de emissies is waarschijnlijk afhankelijk van de omstandigheden. Wat het effect van mixen op de methaan emissies is niet bekend.

5.11.5 Schaal van de techniek

Het mestmixen wordt al jaren gedaan de TRL is 9. Als ammoniak emissie reducerende maatregel lijkt mestmixen geen geschikte maatregel. Het effect op methaan emissie moet nog onderzocht worden.

6 Luchtbehandelingen

Een onderdeel van de mestbewerking kan een luchtbehandeling zijn om de emissies te reduceren. In dit hoofdstuk zijn een drietal luchtbehandelingen beschreven namelijk: luchtwasser, luchtfilter en methaan oxidatie. Deze technieken gericht zijn op het reduceren van de emissies veroorzaakt door de mest en hebben niet direct een effect op de kwaliteit van de mest. Daarom is in dit hoofdstuk de paragraaf kwaliteit mest na mestbehandeling niet opgenomen.

6.1 Luchtwasser

6.1.1 Toepassing

In de varkens-, vleeskalver- en pluimveehouderij worden luchtwassers op een groot aantal stallen ingezet. De luchtwassers hebben formeel vastgestelde emissiefactoren bij toepassingen op stalsystemen van de verschillende diersoorten. Luchtwassers worden vooral ingezet om ammoniak, geur en fijnstof componenten uit de onttrokken lucht te wassen.

6.1.2 Omschrijving

Er worden drie soorten luchtwassers gebruikt: chemische luchtwassers, biologische luchtwassers en combi luchtwassers. Alle soorten hebben verschillende verwijderingsrendementen voor ammoniak, geur en fijnstof. Met de chemische luchtwasser wordt door middel van een zure wasvloeistof de ammoniak uit de lucht gezuiverd. De biologische luchtwasser werkt met micro-organismen die de ammoniak vastleggen in de wasvloeistof. Bij de combiwasser worden meerdere luchtwasstappen gecombineerd. Dit kan chemisch en biologisch zijn maar ook een waterwasser of luchtfilter zijn mogelijk.

6.1.3 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Voor de toepassing op stallen zijn de volgende reducties vastgesteld:

Chemische luchtwasser ammoniak 70-95 % reductie

Biologisch ammoniak 70-90 % reductie

Combiluchtwasser 65-70 % reductie

Voor toepassingen bij mestverwerking zal de dimensionering aangepast moeten worden aan de te verwachten concentraties en debieten die vrijkomen. Of voldoende emissie reductie wordt behaald zal moeten worden vastgesteld.

6.1.4 Schaal van de techniek

Luchtwassers worden op grote schaal ingezet op boerderijen de TRL is 9. Ook bij mestverwerking kan de luchtwasser ingezet worden om de ammoniak, geur en fijnstof emissies naar de omgeving te verlagen.

6.2 Luchtfilter

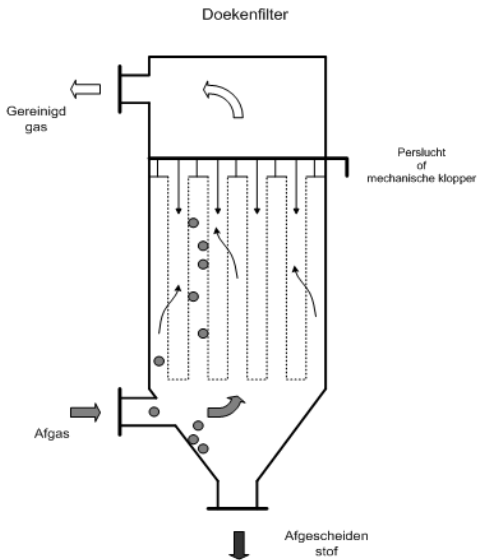
6.2.1 Toepassing

Luchtfilters worden vooral toegepast bij centrale mestverwerkers. Als niet voldaan kan worden aan de emissie eisen voor geur en of fijnstof en een luchtwasser onvoldoende de emissie van deze componenten reduceert dan wordt een luchtfilter interessant.

6.2.2 Omschrijving

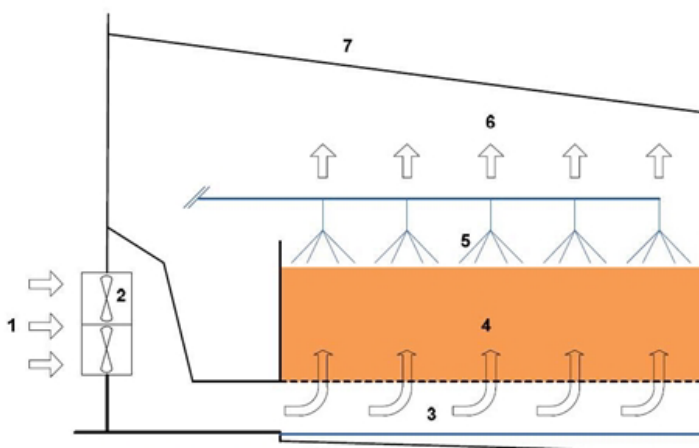
Er zijn een aantal luchtfilter technieken hieronder beschreven namelijk: Stoffilter en Doekenfilters (fijnstof reductie), Biofilters (geur, methaan, ammoniak en fijnstof reductie), Actieve koolfilter (geur reductie), zie figuren 9, 10 en 11.

Er zijn diverse filteruitvoeringen. Allen werken door lucht door een filtermateriaal te persen (Hoekstra & Brouwer, 2018). Filters kunnen van verschillende fijnmazigheid worden gemaakt. Hoe fijnmaziger een filter, hoe meer deze filtert. De filter zit dan sneller verstopt en de lucht ondervindt meer weerstand. Er zijn ook combinaties mogelijk door bijvoorbeeld meerdere luchtfilters achter elkaar te plaatsen. Waarbij de eerste het meest grof zijn en de laatste het meest fijnmazig. Hierdoor hoeven filters minder vaak vervangen te worden.



Figuur 9 Het principe van een doekenfilter.

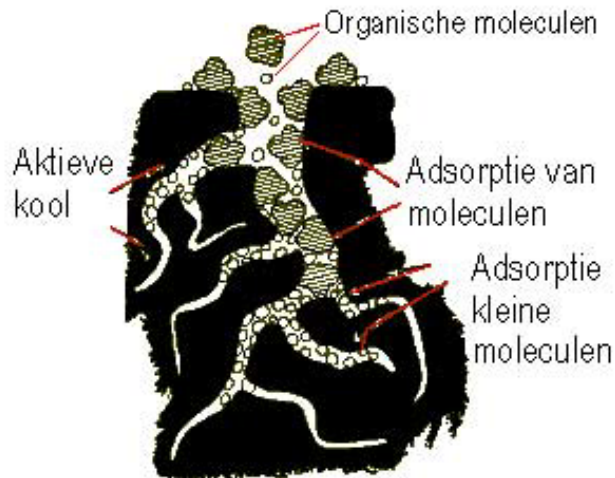
Verder zijn er ook varianten als bio filters of actieve koolfilters mogelijk. Bij een bio filter loopt een afgasstream door een pakkingsmateriaal (zoals compost, turf of boomschors). Waardoor ab- en adsorptieprocessenzuivering plaatsvindt. Bij een bio filter breken micro-organismen stoffen af. Bij een actief koolfilter wordt een gasstream door een poreuze vorm van koolstof met een groot adsorptieoppervlak geleid (Hoekstra & Brouwer, 2018). De vervuilingen hechten zich aan het koolstof.



Figuur 10 Het principe van een biofilter. Een schematische dwarsdoorsnede met de belangrijkste onderdelen; 1: ingaande vuile lucht, 2: ventilatoren, 3: drukkamer, 4: organisch pakkingsmateriaal, 5: bevochtiging pakkingsmateriaal van boven, 6: uitgaande (gereinigde) lucht, 7: afdak (Melse et al., 2014).

In de lucht afkomstig van mestopslag, zit een scala aan stoffen. Bij een doekenfilter blijven de grotere moleculen en deeltjes achter in de doeken. De rest van de lucht stroomt door.

Voor een koolfilter geldt dat deze meer filtert dan een doekenfilter. Een reductie van 95% vluchtige organische stoffen en een reductie van 95% H₂S is mogelijk (*Adsorptie Actief Kool/Actief Kool Filtratie/Koolfilter - Kenniscentrum InfoMil, n.d.*).



Figuur 11 Detailprincipe van een actief koolfilter.

Bij een bio filter worden diverse stoffen omgezet in CO₂, water en voedingsstoffen voor de micro-organismen. Uit onderzoek blijkt dat een reductie van 85% CH₄, reductie van 100% NH₃ en een reductie van 100% H₂S theoretisch mogelijk is met een biofilter (Melse, 2003). Daarnaast wordt de geur geneutraliseerd. De werking van het biofilter moet wel jaarrond gegarandeerd zijn wil men dergelijke hoge rendementen halen.

6.2.3 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Door het inzetten van de juiste filters kunnen emissies van fijnstof, geur, methaan, ammoniak en waterstofsulfide beperkt worden.

6.2.4 Schaal van de techniek

De TRL van deze technieken is 9. Het filteren van de lucht afkomstig van mestverwerking op bedrijfsniveau is mogelijk en zal afhangen van voorschriften uit de vergunning.

Er zijn verschillende groottes van filtersystemen en modulair opschalen is goed mogelijk. Daarmee kan een luchtfilter systeem op vrijwel elk bedrijf worden toegepast.

6.3 Oxidatie methaan

6.3.1 Toepassing

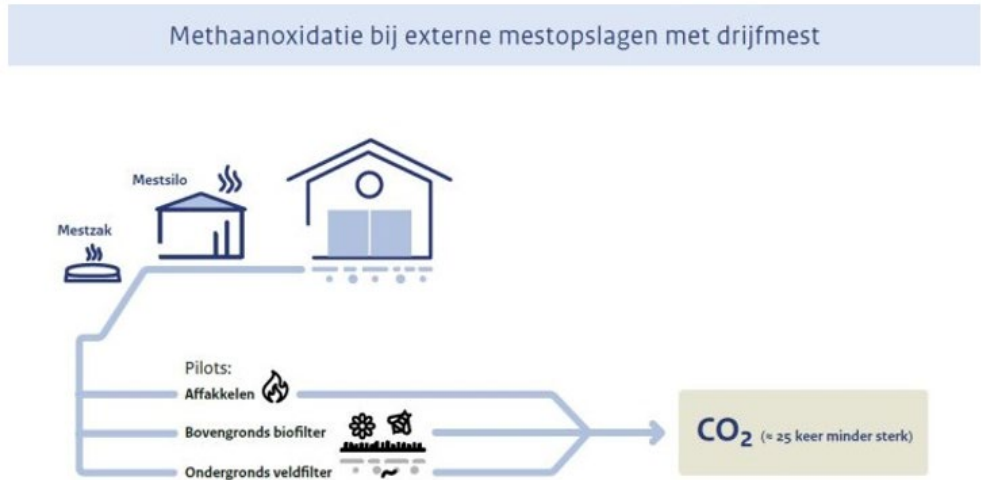
Deze oxidatie van methaan wordt toegepast op lucht afkomstig vanuit de opslag of stal.

6.3.2 Omschrijving

Mest die opgeslagen is produceert biogas, waarvan een groot deel methaangas is. Deze methaan kan omgezet worden in koolstofdioxide waardoor deze minder bijdraagt aan het broeikas effect (methaan draagt een factor 28 meer bij aan de opwarming van de atmosfeer). Door het methaan te oxideren met behulp van micro-organismen of met vuur tot CO₂ is de factor 28 tenietgedaan. Het oxideren met micro-organismen kan ondergronds of bovengronds gebeuren. Ondergronds wordt dit gedaan met een bodemfilter, bovengronds heet het een bio filter.

Thermische oxidatie oftewel affakkelen wordt ingezet voor biogas (circa 60% methaan) dat ontstaat tijdens opslag. Om de methaanemissies te beperken kan dit verbrand (afgefakkeld) worden. Hiermee wordt CO₂ en

waterdamp geproduceerd, wat de CH₄ uitstoot vermindert. (Veehouderij en klimaat, n.d.). Zie Figuur 12 voor een schematische weergave van thermische oxidatie op de boerderij.



Figuur 12 Het principe van thermische oxidatie op de boerderij. Figuur aangepast van (Methaanoxidatie Bij Externe Mestopslagen Met Drijfmest - WUR, n.d.).

6.3.3 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

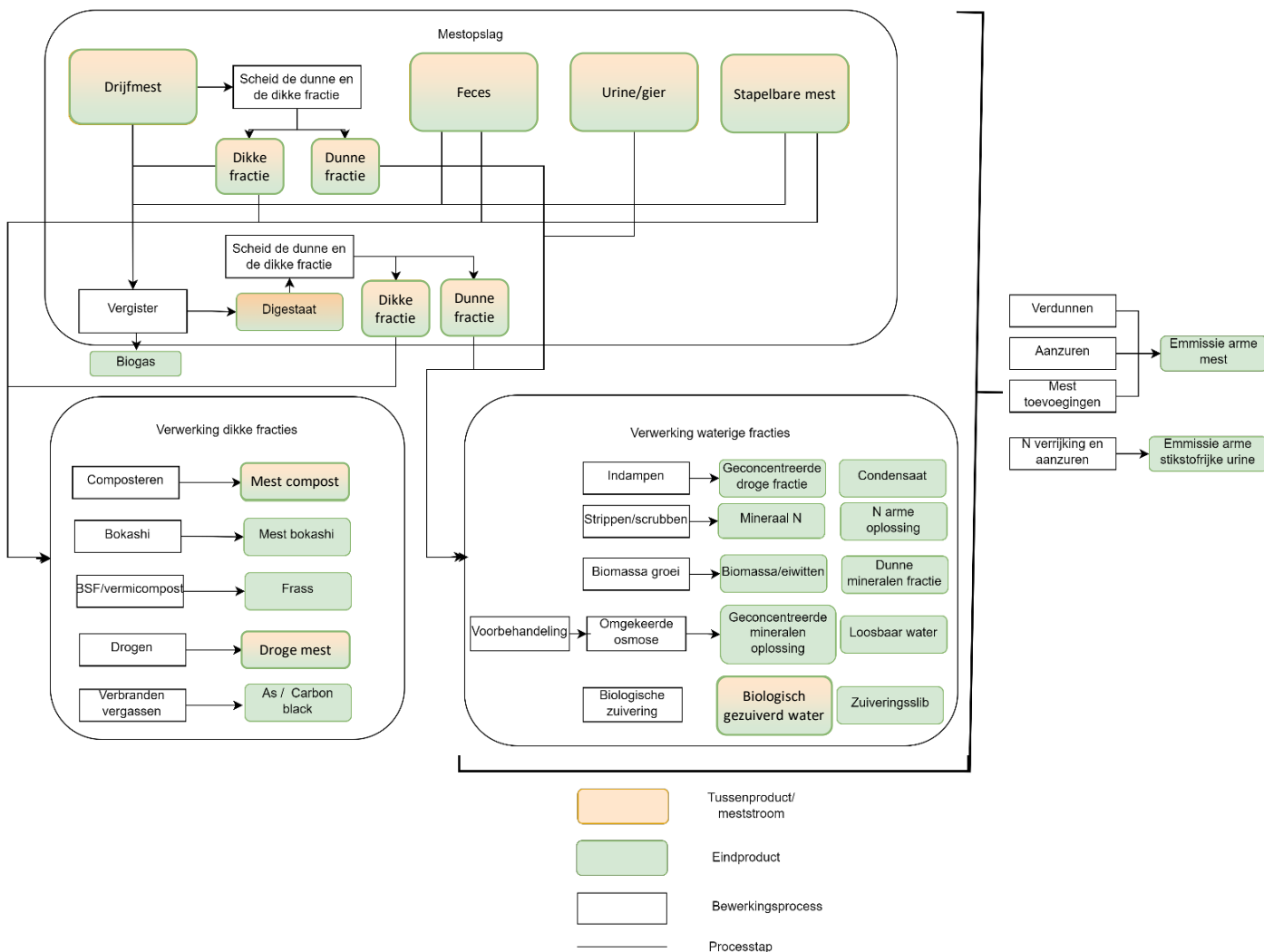
Het methaangas wordt afgefakkeld waardoor CO₂ vrijkomt. Dit is een minder ernstig broeikasgas dan methaangas. Biofilters hebben een reducerend effect op de ammoniakemissies. Het effect van thermisch oxideren op de ammoniakemissies is niet bekend.

6.3.4 Schaal van de techniek

De TRL van deze techniek is 7, afgelopen jaren zijn er pilots gestart op boerderijschaal. De potentie is er en zou simpel toegepast kunnen worden op boerderijschaal. Een andere optie is het vergisten van verse mest, eventueel in samenwerkingsverband. Milieumatig heeft dit de voorkeur omdat methaangas dan ook benut kan worden als hernieuwbare energiebron.

7 Combinaties van technieken

Vaak worden mestbewerkingstechnieken met elkaar gecombineerd om de gewenste bemestingsproducten te kunnen produceren. Een aantal van deze combinaties worden in dit hoofdstuk toegelicht. Er zijn uiteraard meer mogelijkheden dan in dit hoofdstuk benoemd worden (zie ook Hoekstra en Brouwer 2018, Yan et al., 2017). Ook zullen nieuwe stalsystemen leiden tot andere mestproducten en daarmee leiden tot nieuwe kansen voor mestverwaarden. Het scheiden van feces en urine in de stal kan een mechanische scheidingsstap overbodig maken. Bovendien verschillen de urine- en fecesproducten met de dunne en dikke fractie die verkregen wordt na mechanische scheiding. Urine en fecesproducten uit systemen die al scheiden in de stal zijn over het algemeen beter gescheiden dan als een mechanische scheiding achteraf plaatsvindt. Boxmeer et al., 2023 zagen dat bemonsterde gier/urine fracties vaak al voldeden aan de RENURE kenmerken. Terwijl voor een dunne fractie van een mechanisch gescheiden drijfmest nog verdere verwerking nodig is om tot RENURE-kwaliteit te komen. In figuur 13 zijn de mogelijkheden op hoofdlijnen schematisch weergegeven. Waarbij onderscheid is gemaakt tussen het bewerken van de dikke fracties en de dunne fracties. Het schema moet wel met enige voorzichtigheid bekeken worden. Niet alle mogelijke combinaties zijn meegenomen. Zo kunnen concentraten bijvoorbeeld weer bijgevoegd worden bij de droging van de dikke fractie, of kan zuiverings-slib weer gebruikt worden voor vergisting. Ook staan er iets minder logische combinaties in door de versimpeling. Als stelregel kan aangehouden worden dat hoe meer stappen achter elkaar geschakeld worden hoe groter de capaciteit van de mestverwerking moet zijn om rendabel te kunnen opereren.



Figuur 13 Een schematisch overzicht van stromen de mogelijke verwerkingstechnieken. Dit is een theoretisch figuur voor mogelijke stappen.

7.1 Stalsysteem en mestverwerking

Hieronder zijn een aantal voorbeelden gegeven van combinaties van stalsystemen en mestbewerking.

Kelderafzuiging

Een combinatie van technieken die momenteel in de praktijk draait is de LelySphere. De LelySphere scheidt feces en urine direct in de stal. Dit gebeurt door middel van separatiestrips op de roostervloer en een mestrobot. De strips hebben kleine gaatjes waardoor de urine de kelder in stroomt. Door deze directe scheiding wordt de omzetting van ureum naar ammoniak vertraagd. Dit zorgt (in combinatie met de afzuiging van de mestkelderlucht) tot minder ammoniak emissies. Met een mestrobot wordt de feces verzameld en in de mestopslag gestort. Deze mestopslag is zo luchtdicht mogelijk.

De urine loopt via de gaatjes de mestkelder die met een ventilatie unit op onderdruk gehouden wordt. Door deze onderdruk wordt de lucht in de kelder en boven de separatiestrips op de roostervloer afgezogen. Deze lucht wordt in een luchtwasser behandeld om ammoniak af te vangen met zwavel- of salpeterzuur. Salpeterzuur zorgt voor een hoger stikstofgehalte in het waswater, zwavelzuur voor meer zwavel. Deze vloeibare stikstofkunstmest is een van de drie producten van de LelySphere. De andere twee zijn; de fosfaat en organische stof rijke dikke mest en de urine met veel kalium. Met deze drie stromen is het mogelijk veel preciezer te bemesten dan bij het gebruik van drijfmest. Dit resulteert in minder stikstofuitstoot. Op de verkregen mestfracties kunnen verdere mestbewerkingen worden ingezet.

Biologische zuivering en mest verdunnen

Kamplan, beidt met het Total Circular Farm Concept (TCFC) een concept aan waarbij in de stallen gebruik wordt gemaakt van een spoelsysteem, waardoor de ammoniak emissies vanuit de mestput verlagen. Er wordt een laag geur- en ammoniumarm water in de put of spoelgoot gezet, waardoor feces en urine onder de oppervlakte verdwijnt en verdund wordt. Daarna wordt de verdunde mest weggespoeld uit de stal, waardoor de verblijftijd geminimaliseerd kan worden. Dit gaat de emissie aan de bron tegen. Vervolgens wordt de mest gescheiden in een dikke en dunne fractie door middel van een decanter. De dikke fractie is rijk aan fosfor en organische stof. De dunne fractie is rijk aan stikstof. De dikke fractie wordt afgezet. De dunne fractie komt terecht in de biologische mestverwerkingsinstallatie. In deze MBR (Membraan Bio Reactor) wordt het ammonium met behulp van de natuurlijke biologische processen, nitrificatie (ammonium wordt omgezet naar nitraat) en denitrificatie (nitraat wordt omgezet naar stikstofgas) omgezet in stikstofgas (N₂). Als laatste wordt het geurloos water uit het proces gehaald door middel van ultrafiltratie. Het resultaat is een geur- en ammoniumarme vloeistof waarmee de stallen gespoeld kunnen worden. Het overtollige geurloos water kan, mits vergund, geloosd worden op het riool, of in grote hoeveelheden worden aangewend op het land. Daarnaast ontstaat en (zuiverings)slib dat afgevoerd kan worden met de dikke fractie.

Verse mest vergisten

Een laatste praktijkvoorbeeld van mestbehandeling combinaties is het initiatief Jumpstart van Friesland Campina (alreeds beëindigd). In dit initiatief draagt de melkveehouder bij aan de Nationale energietransitie, door enerzijds de productie van biogas en anderzijds door de reductie van stikstofuitstoot. De verse mest uit de stal wordt direct afgevoerd naar een monomestvergister op het boerenbedrijf. Hier wordt de mest vergist tot biogas. Het biogas wordt naar de WKK gepompt, waar het wordt omgezet in elektriciteit en warmte. Het digestaat wordt in een dunne en dikke fractie gescheiden door middel van een schroefpers. De dunne fractie wordt gestript, zodat een minerale fractie overblijft. Er zijn verspreid over Nederland ongeveer 40 van deze installaties gerealiseerd. Er zit wel een schaalgrootte aan verbonden. Voor de productie van groene stroom zijn minimaal 175 koeien nodig. Voor groen gas ging het Jumpstart initiatief uit van minimaal 300 koeien.

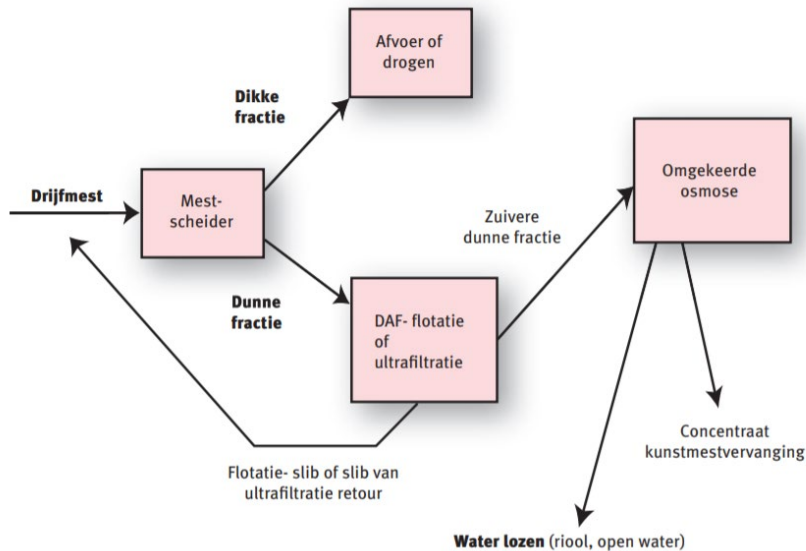
7.2 RENURE

Een drijfveer voor mestverwerking op de boerderij kan het maken van stikstofkunstmestvervangers zijn. Hierdoor is het mogelijk om meer mest op eigen land te kunnen plaatsen. Het is nog onduidelijk hoelang het gaat duren voordat RENURE-meststoffen daadwerkelijk erkend worden als kunstmestvervangers binnen de Europese Unie en binnen Nederland. Voor nu is bekend dat JRC adviseert om RENURE toe te laten als zijnde een stikstof bemester uit dierlijke mest die voldoet aan een ratio van totaal koolstof tot totaal stikstof ≤ 3 of

mineraal N tot organisch N $\geq 90\%$. In het concept voorstel² van de EU wordt RENURE gekoppeld aan een aantal technieken te weten strippen scrubben, reversed osmosis en het maken van struviet. In de toekomst zal blijken of de EU deze technieken inderdaad als voorwaarde opneemt voor het produceren van RENURE.

Mineralen concentraat

Momenteel is een mineralen concentraat toegestaan als Renure onder de pilot mineralen concentraat. Een combinatie van technieken wordt ingezet om een mineralenconcentraat te verkrijgen vanuit drijfmest. Voor deze omzetting wordt mechanische scheiding gecombineerd met DAF flotatie van de dunne fractie. Gevolgd door verder filtratie en uiteindelijk omgekeerde osmose, om een zo geconcentreerd mogelijke mineralenfractie te krijgen. Zie Figuur 14 voor een schematische weergave van het geschakelde proces.



Figuur 14 Een schematisch overzicht van een processchema wat een aantal gecombineerde mestbehandelingen bevat. Mechanische mestscheiding is gekoppeld aan DAF en omgekeerde osmose. Hiermee wordt een geconcentreerde minerale fractie en een zuivere waterfractie verkregen (Projectgroep Mineralenconcentraat Wageningen UR, 2009). <https://edepot.wur.nl/7140>.

De drijfmest wordt eerst mechanisch gescheiden tot een dikke en een dunne fractie. De dikke fractie kan eventueel verder worden opgewerkt, of gedroogd worden afgevoerd. De dunne fractie wordt eerst gezuiverd voordat het geschikt is voor omgekeerde osmose. Dit wordt gedaan door middel van dissolved air flotation (DAF). Zie paragraaf 5.2 voor meer informatie over deze behandeling. De slibdrijfslag wordt van de flotatie kolom afgeschept. Deze drijfslag is qua samenstelling vergelijkbaar met drijfmest en kan vervolgens weer aan de drijfmest toegevoegd worden. De zuivere dunne fractie bevat nu nauwelijks nog organische stof of fosfaat en bestaat voornamelijk uit opgeloste anorganische zouten zoals ammoniumstikstof, kali, chloride en sulfaten. Door omgekeerde osmose wordt er water onttrokken uit de zoutige oplossing, waardoor er een geconcentreerde mineralenstroom overblijft. Als dit mineralenconcentraat zuiver genoeg is, kan het in de toekomst als RENURE afgezet worden. De waterfractie die overblijft na de omgekeerde osmose kan geloosd worden in het oppervlaktewater of het riool mits de waterfractie zuiver genoeg en er een vergunning voor is verleend.

Urine en gier fracties

Uit de nieuwe stalsystemen komen fracties als zuivere urine en gier. Hoe beter urine en feces gescheiden zijn hoe groter de kans dat de urine/gier fractie kan voldoen aan de RENURE-criteria: een ratio van totaal organisch koolstof: totaal stikstof is ≤ 3 of de mineraal stikstof: totaal stikstof is $\geq 90\%$. Mogelijk zijn er om aan deze criteria te voldoen kleine bewerkingen (filteren) aan deze fracties nodig. Ook kan het aanzuren en verrijken van deze fracties met plasma geproduceerd salpeterzuur een optie zijn, echter op deze manier toegevoegde minerale stikstof telt niet mee in de verhouding N_{mineraal} : totaalstikstof. Echter deze urine en

² Nitrates – updated rules on the use of certain fertilising materials from livestock manure (RENURE)

gier fracties voldoen niet aan de door de EU in concept gestelde voorwaarden voor RENURE vanwege het ontbreken van de technieken strippen scrubben, reversed osmosis of struviet produceren.

8 Conclusie

Met deze studie is een inventarisatie uitgevoerd naar mogelijke mestbewerkingstechnieken op boerderijschaal anno 2024. Deze technieken kunnen worden ingezet om de koppeling te maken tussen mestproducten uit de stal en de toe te passen bemestingsproducten. Hierdoor kunnen ze beter aansluiten bij de behoeften van bodem en plant.

In dit rapport zijn mestbewerkingssystemen om hoogwaardige mestproducten te produceren besproken. Zowel chemische, biologische en fysische behandelingen, allen met de focus op boerderijschaalsystemen. Op alle mogelijke meststromen zijn meerdere technieken toepasbaar met bijbehorende voor- en nadelen. Deze inventarisatie vormt de basis om optimale mestroutes te dimensioneren, waarbij aangesloten moet worden bij de innovatieve stalsystemen en de eisen voor aanwenden van de mest. In samenwerking met de andere werkpakketten van deze PPS 'Betere stal, betere Mest, betere Oogst' zullen scenario's gecreëerd worden die verder uitgewerkt zullen worden. Er is nog weinig ervaring met het inzetten van mestbewerkingstechnieken op nieuwe meststromen die vrij kunnen komen bij brongerichte emissiearme stalsystemen. Voor deze scenario's zullen aanvullende gegevens verzameld worden voor zover die beschikbaar zijn.

Mestverwerking zal altijd vanuit een beoogd doel ingezet moeten worden. Gedacht kan worden aan de hoofddoelen en enkele op boerderijschaal interessante technologieën hierbij zijn:

- N-overschot van boerenbedrijf verlagen
 - Scheiden, strippen scrubben dunne fractie, produceren RENURE-meststof
 - Biologische zuivering (dunne fractie of dunnere mestsoorten)
- P overschot van het boerenbedrijf verlagen
 - Vooral gericht op export en het aanpassen van de verhoudingen van N P en organische stof: scheiden en drogen
- Emissies verlagen
 - Aanzuren, verrijken en verdunnen zijn vooral gericht op emissies bij opslag of aanwenden verlagen.
 - Strippen scrubben,
 - Tevens vergisten in combinatie met snelle afvoer van mest uit de stal om methaan emissies te verlagen.
- Bodemverbeteraar
 - Het maken van Bokashi, composteren/vermicomposteren of toevoegen van organische stof aan de mest.
- Energieproductie
 - Vergisten, verbranden, composteren
- Transportkosten verlagen
 - Volumevermindering door scheiden, drogen en pelleteren, verbranden vergassen,
- Ondersteunende bewerkingsstap
 - Vaak zijn meerdere verwerkingsstappen noodzakelijk om tot de gewenste eindproducten te komen

Voor het bewerken van mest op boerderijschaal zijn vele technieken mogelijk, echter hoe complexer de mestverwerkingsroutes hoe groter de omvang van de boerderij moet zijn om de technologieën rendabel toe te kunnen passen. De bedrijfsspecifieke omstandigheden zullen bepalen welke vorm van mestbewerking effectief is.

RENURE is een belangrijk spoor waarop ingezet wordt om het overschot aan N door het wegvallen van de derogatie te verwerken. Echter in het concept voorstel³ van de EU wordt RENURE gekoppeld aan een aantal technieken te weten strippen scrubben, reversed osmosis en het maken van struviet. Bij het schrijven (herziening) van dit rapport is nog niet duidelijk welke uiteindelijke voorwaarden voor RENURE gaan gelden.

³ Nitrates – updated rules on the use of certain fertilising materials from livestock manure (RENURE)

Mocht het voorstel niet wijzigen dan is het inzetten op strippen scrubben voor melkveehouders met een N-overschot een goede optie. Het maken van een mineralen concentraat zal alleen voor grote veehouderijen of centrale mestverwerkers rendabel ingezet kunnen worden.

9 Referenties/ bronnen

- Abo-Sido, N., JW, G., A, G., & V, K.-C. (2021). Microbial transformation of traditional fermented fertilizer bokashi alters chemical composition and improves plant growth. <https://doi.org/10.1101/2021.08.01.454634>
- Adsorptie actief kool/Actief kool filtratie/Koolfilter - Kenniscentrum InfoMil. (n.d.). Retrieved November 11, 2021, from <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/lucht/digitale-ner/luchtemissie/overzicht-factsheets/factsheets/adsorptie-actief/>
- Bakker R., S. Klijberg, M Verhoeven, R. Saaltink, 2020 Additieven voor dierlijke mest, HAS Hogeschool
- Bodde, R. (2020). Aantal vergisters Jumpstart verviervoudigt in 2020 - Boerderij. <https://www.boerderij.nl/aantal-vergisters-jumpstart-verviervoudigt-in-2020>
- Borneman, Z., & Nijmeijer, K. (2021). Potential for pig urine filtration in existing reverse osmosis membrane installations for manure treatment. <https://www.mestverwaarding.nl/kenniscentrum/2205/mogelijkheden-om-urine-van-varkens-via-omgekeerde-osmose-te-ontwateren>
- Van Boxmeer, E.G.G., N.W.M. Ogink, 2023. Mestadditieven voor ammoniakemissiereductie uit rundveemest. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1443.
- 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.
- Broeze, J., Meer, I. M. van der, Hugenholtz, J., Trindade, L. M., Stroosnijder, S. B., Barbosa, M. B., Wijffels, R. H., & Pyett, S. C. (2022). Analyse van potenties van extra eiwitproductie in Nederland via teelt, reststromen en andere bronnen. <https://doi.org/10.18174/561493>
- Calvet, S., J. Hunt, T.H. Misselbrook (2017) Low frequency aeration of pig slurry affects slurry characteristics and emissions of greenhouse gases and ammonia. *Biosystems engineering* 159, 121-132, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.04.011>
- Composting Livestock or Poultry Manure – Livestock and Poultry Environmental Learning Community. (n.d.). Retrieved November 11, 2021, from <https://lpec.org/composting-livestock-or-poultry-manure/>
- Cornelissen, R. (2018). Mestverwerking op boerderijschaal (MOBS).
- De Vries, J. W. (2014). From animals to crops : environmental consequences of current and future strategies for manure management.
- Dooren, H.J.C. van, Bokma, S., Zonderland J.L. 2014. Effect van het Aeromix systeem op ammoniakemissie in een melkveestal; Verkennend onderzoek op Dairy Campus, Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 850
- Dooren, H.J.C. van, S. Bokma, N.W.M. Ogink. 2019. Ammoniakemissie tijdens frequent mixen van drijfmest met lucht; Onderzoek op Dairy Campus. Wageningen Livestock Research, Rapport 1170.
- Elissen, H., Hol, S., & van der Weide, R. (2019). Methane production from insect, worm and mushroom waste streams and combinations. <https://doi.org/10.18174/515048>
- Elissen, H., Schilder, M., Postma, J., & Van Der Weide, R. (2019). Disease suppression in cress and sugar beet seedlings with frass of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). <https://doi.org/10.18174/515047>
- Forward Osmosis membranes and modules: development and applications - Topsector Energie. (2020). <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/forward-osmosis-membranes-and-modules-development-and-applications-27523>
- Fuentes-Grünwald, C., Ignacio Gayo-Peláez, J., Ndovela, V., Wood, E., Vijay Kapoore, R., & Anne Llewellyn, C. (2021). Towards a circular economy: A novel microalgal two-step growth approach to treat excess nutrients from digestate and to produce biomass for animal feed. *Bioresource Technology*, 320, 124349. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.124349>
- Gollenbeek, L.R.; Ehlert, P.; Buissonjé, F. Perspectives of Ecochar in Europe: Uses and Regulatory Requirements; Wageningen Livestock Research: Wageningen, The Netherlands, 2018.
- Gollenbeek, L.R., Gastel, J. van, Casu, F., & Verdoes, N. (2021). Emissies en kosten van verschillende scenario's voor verwaarding van varkensmest: NL Next Level Mestverwaarden. <https://doi.org/10.18174/550823>
- Gollenbeek L.R., 2022. Mest- en digestaatproducten voor teelt van alternatieve biomassa; . Wageningen Plant Research, Openbaar Rapport WPR OT 951.
- Grand, A. (2020). Compost: Vermicompost. [https://orgprints.org/id/eprint/40037/14/NL-COMPOST_VERMICOMPOST %288%29.pdf](https://orgprints.org/id/eprint/40037/14/NL-COMPOST_VERMICOMPOST%288%29.pdf)
- Graves, D. B., Bakken, L. B., Jensen, M. B., & Ingels, R. (2019). Plasma Activated Organic Fertilizer. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 39(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/S11090-018-9944-9/TABLES/2>
- Groeneveld, I., Elissen, H., Rozen, K. van, & Weide, R. van der. (2021). The profitability potential of black soldier fly (BSF) larvae raised on pig manure at farm level. <https://doi.org/10.18174/549892>
- Groot Zevent, The Netherlands - Systemic. (n.d.). Retrieved July 26, 2022, from <https://systemicproject.eu/plants/demonstration-plants/groot-zevent-the-netherlands/>

- Hoekstra, B., & Brouwer, A. (2018). Technische onderbouwing beleidsregels voor risicobeperking gezondheidseffecten via de lucht van mestbewerkingsinstallaties, 19 april 2018, R001-1261467BWH-V01-lvi-NL
- Huurman, S., Van Der Weide, R., & Van Dijk, W. (2013). Cultivation of aquatic plants on cow manure digestate A technical report. www.acres.nl
- Huygens D, Orveillon G, Lugato E, Tavazzi S, Comero S, Jones A, Gawlik B, Saveyn HGM, Technical proposals for the safe use of processed manure above the threshold established for Nitrate Vulnerable Zones by the Nitrates Directive (91/676/EEC), EUR 30363 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-21539-4, doi:10.2760/373351, JRC121636.
- Iepema, G., Elferink, E., & Jelsma, M. (2021). Resultaten onderzoek bokashi. Van Hall Larenstein.
- Insects As Feed EU Legislation – Aquaculture, Poultry & Pig Species. (2021). <https://ipiff.org/insects-eu-legislation/>
- Janmaat, L. (2017). Wat is beter: compost of bokashi? <https://www.louisbolk.institute/downloads/3269.pdf>
- Jonkheer, E. (2020). Bodemverbeteraar zonder status. Grondig. <https://edepot.wur.nl/525997>
- Kool A., Timmerman M., de Boer, H., van Dooren, Bas van Dun, H.-J., & Tijmensens, M. (2005). Kennisbundeling covergisting.
- Kroes K., S. Huurman en Ch. de Visser, ACRRES G. Hemke, Hemke Nutriconsult J. van Liere N. van den Top De ECOFERM Kringloopboerderij in de praktijk, ISBN: 978 – 90 – 5059 – 528 – 5
- Leenstra, F., Vellinga, T., Neijenhuis, F., de Buissonjé, F., & Gollenbeek, L. (2019). Mest: Een waardevolle grondstof. Wageningen UR Livestock Research.
- Lemmens, B., Ceulemans, J., Elslander, H., Vanassche, S., Brauns, E., & Vrancken, K. (2007). Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor mestverwerking. <http://www.emis.vito.be>
- Melse, R. W. (2003). Verwijdering van methaan uit ventilatielucht van een drijfmestopslag met een pilot-scale biofilter. www.imag.wageningen-ur.nl
- Melse, R. W., Hol, J. M. G., Nijeboer, G. M., & van Hattum, T. G. (2014). Measurements on a biofilter for treatment of exhaust air from a fattening pig house. www.wageningenUR.nl/livestockresearch.
- Melse, R. W., Verdoes, N., Willers, H. C., & de Buissonjé F.E. (2004). Quick scan van be- en verwerkingstechnieken voor dierlijke mest. <http://www.asg.wur.nl/po>
- Methaanoxidatie bij externe mestopslagen met drijfmest - WUR. (n.d.). Retrieved November 11, 2021, from <https://www.wur.nl/nl/project/Methaanoxidatie-bij-externe-mestopslagen-met-drijfmest.htm>
- Middelkoop, van, J., Philipsen, A., Velthof, G., de Haan, J., Schroder, J. 2017. Bemestingsadvies Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen. Wageningen UR Livestock Research, Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen.
- Nest, T. Vanden, Vandaele, E., Lebuf, V., Snauwaert, E., Auweele, W. Vanden, Willekens, K., Waes, C. Van, & Vandecasteele, B. (2015). De compostering van dikke fractie van digestaat. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- Newton, G. L., et al. "The black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a manure management/resource recovery tool." Symposium on the state of the science of Animal Manure and Waste Management. Vol. 1. Citeseer, 2005.
- Nyvold, M., & Ingels, R. (2019). Global warming LCA - N2 Applied. <https://n2applied.com/2020/06/01/global-warming-lca/>
- Olle, M. (2020). Review: Bokashi technology as a promising technology for crop production in Europe. <https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1810140>, 96(2), 145–152. <https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1810140>
- Oonincx, D. G. A. B., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(2), 131–139. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0023>
- Parodi, A., De Boer, I. J. M., Gerrits, W. J. J., Van Loon, J. J. A., Heetkamp, M. J. W., Van Schelt, J., Bolhuis, J. E., & Van Zanten, H. H. E. (2020). Bioconversion efficiencies, greenhouse gas and ammonia emissions during black soldier fly rearing – A mass balance approach. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122488. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.122488>
- Projectgroep Mineralenconcentraat Wageningen UR. (2009). Pilots voor verwerking mest tot kunstmest. <https://edepot.wur.nl/7140>
- Rijksdienst voor Ondernemen Nederland. (2021). Toelichting op fundamenteel onderzoek, industrieel onderzoek en experimentele ontwikkeling. https://www.rvo.nl/sites/default/files/2021/09/Toelichting-definities-FO-IO-EO-20210801_v06092021.pdf
- Scheuer, C., Boot, E., Carse, N., Clardy, A., Gallagher, J., Heck, S., Marron, S., Martinez-Alvarez, L., Masarykova, D., Mcmillan, P., Murphy, F., Steel, E., Ekdom, H. Van, & Vecchione, H. (2016). Bodemverbeteraars met focus op biochar. *Physical Education and Sport for Children and Youth with Special Needs Researches – Best Practices – Situation*, 343–354. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- Slabbekoorn, J. J., & Dekker, P. H. M. (2009). Effect van toepassing effectieve micro-organismen in de akkerbouw. https://www.researchgate.net/publication/239849639_Effect_van_toepassing_effectieve_micro-

- Starmans, D. A. J., Bruins, M. A., Melse, R. W., Veeken, A. H. M., & Willers, H. C. (2002). Mest: Compostering, nutriëntenverliezen en toepassing P398-I: Beleidsondersteunend onderzoek op het terrein van voedsel en groen.
- Stokkermans, P. (2021). Na aarzelende start komt Jumpstart op stoom - Nieuwe Oogst.
<https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2021/03/16/na-aarzelende-start-komt-jumpstart-op-stoom>
- Timmerman, M., Regelink, I. C., Verdoes, N., Kupers, G., & Blanken, K. (2018). Fosfaatvormen in melkveemest en potentieel voor terugwinning.
- Timmerman, M., & Rulkens, W. (2009). Korte inventarisatie naar het perspectief van het drogen van digestaat bij biogasinstallaties. <http://www.livestockresearch.wur.nl>
- van 't Riet, S. M., & van Dam, A. M. (2003). Duurzaam bodemleven : literatuurstudie voor composteren bij bloembollenbedrijven - WUR. <https://www.wur.nl/en/Publication-details.htm?publicationId=publication-way-333833313034>
- Van Der Weide, R. Y., Schipperus, R., & Van Dijk, W. (2014). Algae cultivation using digestate as nutrient source: opportunities and challenges. 22nd European Biomass Conference.
- van Dijk, W, Hoeksma, P., & van der Weide, R. (2014). Kleinschalige Bioraffinage.
- van Dijk, Wim, van der Weide, R., & Kroon, A. (2016). Groen proceswater: zuivering brouwerijprocesafvalwater met microalgen. www.acres.n
- van Zessen T. (2020). Mest verdunnen met water. Veeteelt.
- Veehouderij en klimaat. (n.d.). Pilotproject methaanoxidatie externe mestopslagen drijfmest. Retrieved November 11, 2021, from <https://edepot.wur.nl/495338>
- Verboon, M. C. (n.d.). Het aanzuren van mest in bedrijfsverband.
- Verdoes, N. (1995). Indampen van varkensmest op boerderijniveau. <https://edepot.wur.nl/48865>
- Verdoes, Nico, Maasdam, R., Melse, R., van Gastel, J., Gollenbeek, L., Busmann, P., Schellekens, J., & Roefs, J. (2021). Overzicht en beoordeling van technologie voor verwaarden van mest : Rapportage WP 2 NL Next Level Mestverwaarden. <https://doi.org/10.18174/539373>
- Yan, J., De Buissonjé, F. E., & Melse, R. W. (2017). Livestock Manure Treatment Technology of the Netherlands and Situation of China. <https://doi.org/10.18174/423982>
- Zhang, H. Wang, et al., 2012, Swine manure vermicomposting via housefly larvae (*Musca domestica*): The dynamics of biochemical and microbial features *Bioresour. Technol.*, 118 (2012), pp. 563-571, [10.1016/j.biortech.2012.05.048](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.048)

10 Appendix

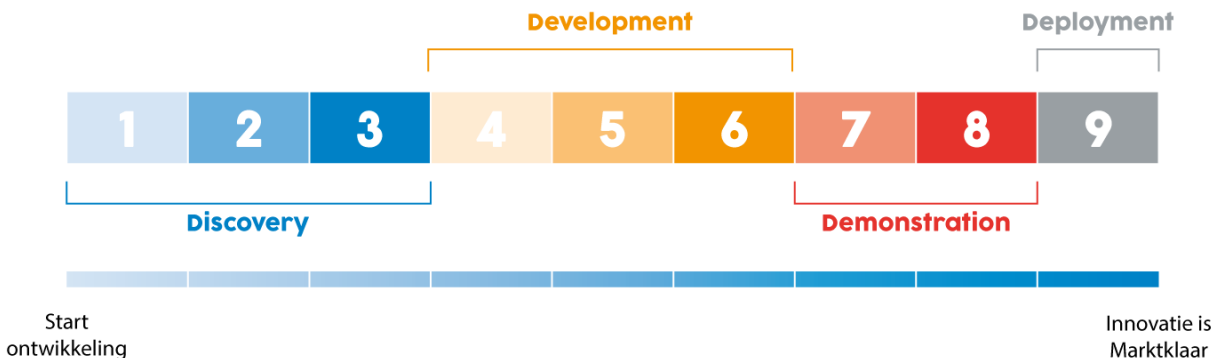
A Overzicht van technieken met bijbehorende TRL en met verwijzingen naar meer informatie over technieken die niet in dit overzichtsrapport zijn opgenomen

Methode	Techniek	TRL	Bronnen voor meer info
Chemische behandelingen			
	Strippen en Scrubben	9	
	Verdunnen en aanzuren van drijfmest	7-9	
	Calciumfosfaat winning	6	(Timmerman et al., 2018)
	Biochar toevoegen	6	(Scheuer et al., 2016)
	Zeoliet toevoegen	8	
	Kalkbehandeling	8	
	Struviet Batterij	4	Green stock energy, https://data.rvo.nl/subsidies-regelingen/projecten/green-stock-energy
Biologische behandelingen			
	Vergisten	9	
	Biologisch zuiveren	9	
	Composteren	9	
	Bokashi	8	
	Vermicomposteren	7	
	BSF-larven kweek	7	
	Toevoegen effectieve micro-organismen	5	(Slabbekoorn & Dekker, 2009)
	Aquatische biomassa kweek op de dunne fractie	7	
	Algenbacterievlokken	5	(Wim van Dijk et al., 2016)
Fysische behandeling			
	Drogen dikke fracties	9	
	Indampen dunne fracties	9	
	Korrelen	9	
	Verbranden en vergassen	9 of 6	
	Mechanische mestscheiding	9	Werkpakket 1
	N2 plasma behandeling	8	
	Flotatie (DAF)	9	
	MEZT (elektrodialyse)	4/5	TU Delft, startup
	Ultrafiltratie	9	
	Reverse osmose	9	

	Forward osmose	4-6	<i>(Forward Osmosis Membranes and Modules: Development and Applications - Topsector Energie, 2020)</i>
	Mestmixen	9	
	Bouwmaterialen	4-6	
	Mechanische damprecompressie	6	(Nico Verdoes et al., 2021)
	Thermische damprecompressie	6	(Nico Verdoes et al., 2021)
	Vrieskristallisatie	6	(Nico Verdoes et al., 2021)
Luchtbehandelingen	Luchtfilter	9	
	Verdampen/indampen/ hygiëniseren	9	
	Methaan oxidatie	8	

B Toelichting Technology Readiness Levels (TRL)

Technology Readiness Level (TRL) is een zeer gebruikelijke methode om aan te geven in welke fase de nieuw ontwikkelde techniek zit. Dit model bestaat uit 9 levels die weer uit vier overkoepelende fases bestaat. Zie Figuur 15 voor de verschillende overkoepelende fases. Een TRL van 1 betekent dat de techniek aan het begin van de ontwikkeling staat. Een TRL van 9 betekent dat de techniek klaar is om de markt op te gaan.



Figuur 15 De figuur geeft het verloop van de TRL's weer, waarbij TRL 1 de start van de ontwikkeling is, en TRL 9 betekent dat de innovatie markt klaar is. Daarnaast zijn de 9 levels onder te verdelen in vier overkoepelende fases, de Discovery, Development, Demonstratie en Deployment fase.

TRL 1: Fundamenteel onderzoek

Onderzoek naar het basisprincipe van de techniek/het product.

TRL 2: Toegepast onderzoek

Formulering van het technologisch concept en de praktische toepassing.

TRL 3: Proof of concept

Experimenteel bewijs van het concept, door middel van analyses en testen in het laboratorium.

TRL 4: De technologie wordt op lab schaal geverifieerd.

Design en ontwikkeling van de technologie/het product op lab schaal.

TRL 5: De technologie wordt in een relevante omgeving geverifieerd

De werking van de technologie/het product wordt getest in een relevante omgeving. Dit is de eerste stap richting een pilot.

TRL 6: De technologie wordt in een relevante omgeving gedemonstreerd

De technologie/het product wordt uitgebreid getest in ene relevante testomgeving. De testomgeving lijkt op een operationele omgeving, bijvoorbeeld een pilot plant.

TRL 7: Systeem prototype in een operationele omgeving

Demonstratie van het systeem in de vorm van een prototype in een gebruikersomgeving.

TRL 8: Het systeem is compleet en operationeel

Het concept is getest en het is bewezen dat de technologie/het product voldoet aan de gestelde verwachtingen, kwalificaties en normen (certificering).

TRL 9: Marktintroductie

Het concept is technisch en commercieel gereed, de technologie/het product is klaar om op de markt uitgebracht te worden.

De 'discovery' fase is de onderzoeksfase (waartoe TRL 1,2 en 3 behoren), hierin wordt de theorie getest in het laboratorium en wordt bevestigd dat de technologie op lab schaal werkt, een zogenaamde 'proof of concept'. Vervolgens begint de 'development' fase (waartoe TRL 4, 5 en 6 behoren), hierin wordt de techniek/het product verder ontwikkeld tot er daadwerkelijk een demonstratie mogelijk is, in de vorm van bijvoorbeeld een pilot. Vanuit deze fase krijgt de technologie/ het product steeds meer vorm in de 'demonstration' fase. In de laatste fase, de 'deployment' fase is de techniek/het product compleet, en kan het op de markt worden gebracht (Rijksdienst voor Ondernemen Nederland, 2021).

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 430

8200 AK LELYSTAD

T 0320 29 11 11

wur.nl/plant-research

Rapport WPR-OT 952



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

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



Wageningen University & Research

Open Teelten

Edelhertweg 1

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T (+31)320 29 11 11

www.wur.nl/openteelten

Rapport WPR-OT 952

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
