



---

# Mogelijke mest behandelingen op bedrijfsniveau

PPS, betere stal, betere mest, betere oogst

Auteurs | Kimberly Wevers, Stefan Hol, David Meijvogel,  
Rommie van der Weide & Luuk Gollenbeek

WPR-OT 952



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH



---

# Mogelijke mest behandelingen op bedrijfsniveau

PPS, betere stal, betere mest, betere oogst

Auteurs | Kimberly Wevers, Stefan Hol, David Meijvogel, Rommie van der Weide & Luuk Gollenbeek

Wageningen University & Research

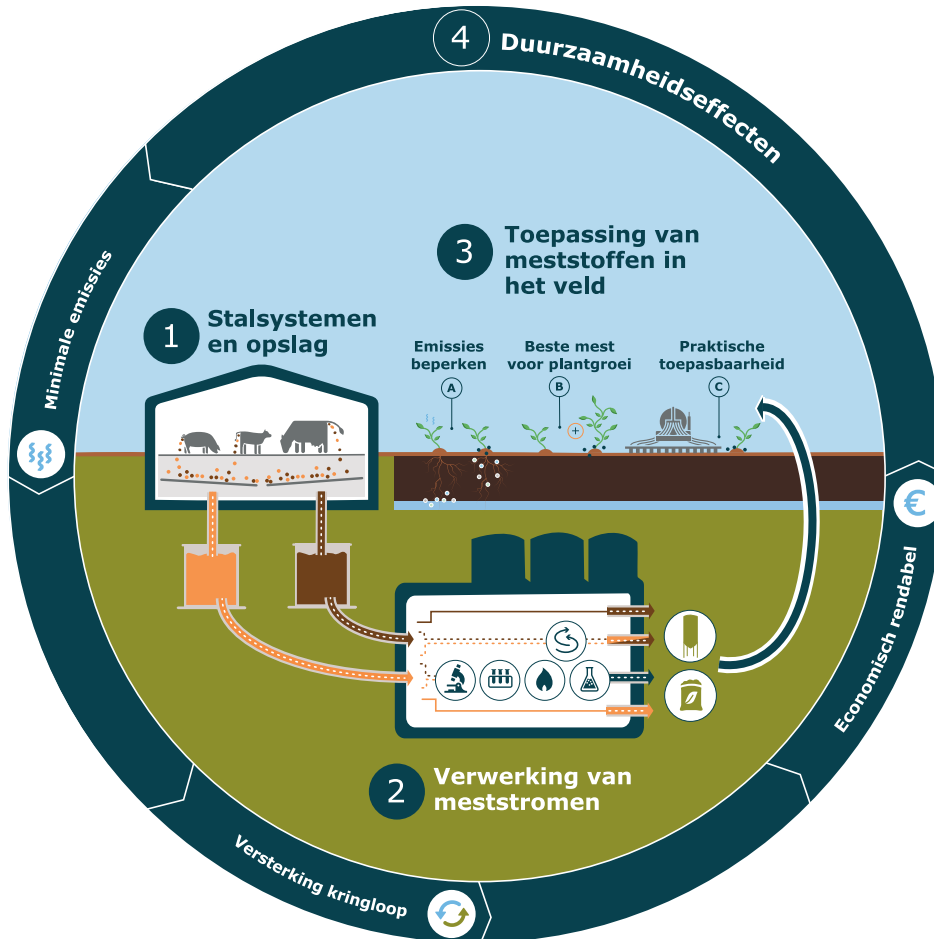
Dit onderzoek is uitgevoerd binnen de PPS betere stal, betere mest, betere oogst van de topsector Agri & Food (TKI-AF-LWV20.245).

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.

Wageningen, januari 2023



# bsmo



2Split: Pigs

FME POWERED BY DUTCH TECHNOLOGY

Cooperl

N2 — Applied

SBK Stichting Brancheorganisatie Kalvesector



Pigster Oirschot B.V.

Maatschap Thelosen-Van Haren



VEREIJKEN



Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit



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 gebruikt kunnen worden voor de mestbewerking op de boerderij, ook bij nieuwe stalconcepten, om de meststromen beter te verwaarden en welke knelpunten daarbij optreden. 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 en waar nader onderzoek naar kenmerken en parameters gewenst is.

### 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 accessed and the potential of the technique on the farm is researched. Formulated is which techniques, or which combination of techniques has a future in the valorization of manure products from new stable concepts, and where more research is necessary to obtain the features or parameters of the systems.

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

© 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](http://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

<b>Woord vooraf</b>	<b>9</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>11</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>12</b>
1.1 Aanleiding	12
1.2 Doel van de studie	12
1.3 Inhoud van het rapport	12
1.4 Werkwijze	13
<b>2 Overzicht verschillende technieken</b>	<b>14</b>
<b>3 Chemische behandelingen</b>	<b>21</b>
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	23
3.3.3 Kwaliteit van mest na behandeling	23
3.3.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	24
3.3.5 Schaal van de techniek	24
3.4 Toevoegmiddelen	24
3.4.1 Type mest	24
3.4.2 Omschrijving	24
3.4.3 Kwaliteit van de mest	25
3.4.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	25
3.4.5 Schaal van de techniek	25
<b>4 Biologische behandelingen</b>	<b>26</b>
4.1 Mestvergisting	26
4.1.1 Type mest	26
4.1.2 Omschrijving	26
4.1.3 Kwaliteit van mest na behandeling	26
4.1.4 Verwachte emissies en broeikasgassen	27
4.1.5 Schaal van de techniek	27
4.2 Biologische zuivering	27
4.2.1 Type mest	27
4.2.2 Omschrijving	27

---

4.2.3	Kwaliteit van mest na behandeling	27
4.2.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	28
4.2.5	Schaal van de techniek	28
4.3	Bokashi productie	28
4.3.1	Type mest	28
4.3.2	Omschrijving	28
4.3.3	Kwaliteit van mest na behandeling	29
4.3.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	29
4.3.5	Schaal van de techniek	29
4.4	Composteren	29
4.4.1	Type mest	29
4.4.2	Omschrijving	29
4.4.3	Kwaliteit van mest na behandeling	30
4.4.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	30
4.4.5	Schaal van de techniek	31
4.5	Vermicomposteren	31
4.5.1	Type mest	31
4.5.2	Omschrijving	32
4.5.3	Kwaliteit van de mest	32
4.5.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	32
4.5.5	Schaal van de techniek	32
4.6	Black soldier fly larven kweek	32
4.6.1	Type mest	32
4.6.2	Omschrijving	32
4.6.3	Kwaliteit van de mest	32
4.6.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	33
4.6.5	Schaal van de techniek	33
4.7	Aquatische biomassa groei op dunne fractie	33
4.7.1	Type mest	33
4.7.2	Omschrijving	33
4.7.3	Kwaliteit van de mest	34
4.7.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	34
4.7.5	Schaal van de techniek	34
<b>5</b>	<b>Fysische behandelingen</b>	<b>35</b>
5.1	Indampen (dunne mestfracties)	35
5.1.1	Type mest	35
5.1.2	Omschrijving	35
5.1.3	Kwaliteit van de mest	35
5.1.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	35
5.1.5	Schaal van de techniek	35
5.2	Drogen dikke fracties	36
5.2.1	Type mest	36
5.2.2	Omschrijving	36
5.2.3	Kwaliteit van de mest	36
5.2.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	36
5.2.5	Schaal van de techniek	36
5.3	Verbranden en vergassen	37
5.3.1	Type mest	37
5.3.2	Omschrijving	37
5.3.3	Kwaliteit van mest na behandeling	37
5.3.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	37
5.3.5	Schaal van de techniek	37

5.4	N2 Plasma behandeling van het vloeibare organische substraat	37
5.4.1	Type mest	37
5.4.2	Omschrijving	37
5.4.3	Kwaliteit van mest na behandeling	38
5.4.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	38
5.4.5	Schaal van de techniek	39
5.5	Mechanische scheiding (uitgezonderd filters)	39
5.5.1	Type mest	39
5.5.2	Omschrijving	39
5.5.3	Kwaliteit van de mest	39
5.5.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	39
5.5.5	Schaal van de techniek	39
5.6	Flotatie/ DAF	39
5.6.1	Type mest	39
5.6.2	Omschrijving	39
5.6.3	Kwaliteit van de mest	40
5.6.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	40
5.6.5	Schaal van de techniek	40
5.7	Omgekeerde osmose	41
5.7.1	Type mest	41
5.7.2	Omschrijving	41
5.7.3	Kwaliteit van mest na behandeling	41
5.7.4	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	41
5.7.5	Schaal van de techniek	41
<b>6</b>	<b>Luchtbehandelingen</b>	<b>42</b>
6.1	Oxidatie methaan	42
6.1.1	Toepassing	42
6.1.2	Omschrijving	42
6.1.3	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	42
6.1.4	Schaal van de techniek	43
6.2	Luchtfilter	43
6.2.1	Toepassing	43
6.2.2	Omschrijving	43
6.2.3	Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen	44
6.2.4	Schaal van de techniek	45
6.3	Luchtwasser	45
6.3.1	Toepassing	45
6.3.2	Omschrijving	45
6.3.3	Schaal van de techniek	45
<b>7</b>	<b>Combinaties van technieken</b>	<b>46</b>
7.1	Stalsysteem en mestverwerking	47
7.2	RENURE	47
<b>8</b>	<b>Conclusie</b>	<b>50</b>
<b>9</b>	<b>Referenties/ bronnen</b>	<b>51</b>
<b>10</b>	<b>Appendix</b>	<b>53</b>



---

---

# Woord vooraf

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

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

De PPS betere stal, betere mest, betere oogst richt zich op onderzoek naar meststromen uit nieuwe stalconcepten, hoe deze bijdragen aan de reductie van ammoniak, methaan en lachgas en tegelijkertijd 'nieuwe' mestproducten opleveren. In de PPS wordt onderzocht hoe deze 'nieuwe' mestproducten zo goed mogelijk aansluiten bij de toepassing in het veld en gewas en als bron van groene energie. 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 wat uiteindelijk leidt 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, SEMILLA Sanitation, Hanskamp AgroTech BV, Susstable B.V., 2Split: Pigs, Vogelsang B.V., Kamplan B.V., Swaans Beton, Pigster Oirschot B.V., N2 Applied, Lely Industries NV.

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.

Meer informatie: [www.wur.nl/bsmo](http://www.wur.nl/bsmo)

Luuk Gollenbeek: [luuk.gollenbeek@wur.nl](mailto:luuk.gollenbeek@wur.nl) +31317486731

Rommie van der Weide: [rommievanderweide@wur.nl](mailto:rommievanderweide@wur.nl) +31320291631



---

# Samenvatting

Dit rapport is een inventarisatie van mogelijke mestbewerkingstechnieken op 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, N<sub>2</sub>plasmabehandelingen, 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, bij ontbreken van gegevens wordt er praktijkonderzoek uitgevoerd.

---

# 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 beoogd 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. Dit betreft de eerste inventarisatie die gebruikt zal worden om tezamen met de werkpakketten Stal, Veld en Duurzaamheid te werken aan 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 worden.

Deze rapportage is een eerste inventarisatie, indien mestbewerkingstechnieken opgenomen worden in de optimale keten van Stal, Mest, Oogst dan zal in het vervolg van het project gedetailleerdere informatie worden verzameld en zullen eventueel experimenten uitgevoerd worden.

## 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 boerderij niveau, 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. Als laatste worden kennislacunes vastgesteld en wordt er benoemd waar er eventueel kennis mist en waar meer kennis over opgedaan moet worden.

## 1.4 Werkwijze

Er is een deskstudie uitgevoerd waarin 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 Nitruman (<https://nutriman.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/>) genomen.

---

## 2 Overzicht verschillende technieken

In Tabel 1 zijn de verschillende mestbehandelingstechnieken samengevat weergegeven. In de tabel worden ook de Technology Readiness Levels gegeven, in de appendix is een uitleg over de TRL-systematiek gegeven. 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. 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 nog RENURE is nog niet erkend), eventueel met verrijking

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

Over het algemeen is het gunstig voor emissie vermindering (zowel ammoniak als methaan) om de mestverwerking met verse mest te laten plaatsvinden. Maar 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** Een schematisch overzicht met de technieken, de TRL, op welke meststroom de techniek toegepast kan worden, wat de techniek doet met organische stof en het stikstofgehalte en eventueel overige parameters. Het organisch stofgehalte, het stikstofgehalte en de overige parameters gaan over de hoofdstroom die uit de techniek overblijft, zoals benoemd in de begeleidende tekst in de overige hoofdstukken.

Methodie	Techniek	TRL	Toepasbaar op welk type mest of digestaat stroom?	Mestproducten	Organische stofgehalte (OS)	Stikstofgehalte	Opmerking
Chemische behandelingen	Strippen en Scrubben	9	Dunne fractie van drijfmest of digestaat	Ammoniak arme mest N-rijke oplossing	N-rijke oplossing bevat nauwelijks organische stof.	N-rijke oplossing hoog minerale stikstofgehalte	Onkruidzaden en ziektekiemen worden niet gedood.
	Verdunnen (minder emissies)	9	Drijfmest/digestaat	Verdunde mest	Verlaging OS-gehalte vim verdunning.	Stikstof concentratie lager door het verdunnen	Onkruidzaden en ziektekiemen worden niet gedood.
	Aanzuren van drijfmest	9	Drijfmest/digestaat dunne fractie, urine/gier	Aangezuurde mest	Organisch materiaal blijft aanwezig.	Vermindering stikstofemissies. Bij gebruik salpeterzuur verdubbeld ruwweg de stikstofconcentratie.	Onkruidzaden en ziektekiemen mogelijk verminderd vim aanzuren.
	Toevoegmiddelen als: zeoliet, biochar, magnetiet, kalk, magnesium	Variërend van 4 t/m 9	Drijfmest/digestaat of de dikke fractie/feces	Diverse	Afhankelijk van toevoegmiddel.	Afhankelijk van toevoegmiddel.	Afhankelijk van toevoegmiddel.
Biologische behandelingen	Vergisting	9	Alle vormen van mest	Digestaten	Vooral 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	Slib en een ammoniumarme vloeistofstroom	Organische stof blijft over in het slib	Ammonium is voor een groot deel omgezet in stikstofgas	Pathogenen en onkruidzaden worden deels gedood
Bokashi	8	Drijfmest of dikke fractie/feces. Drijfmest in combinatie met andere organische reststroom	Bokashi	Hoog gehalte aan organische stof	Stikstof vooral aanwezig in organische vorm	Onkruidzaden en ziekteverwekkers overleven deels
Composteren	9	Voornamelijk de dikke mestfracties	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	Rul mestproduct, eventueel spuiwater uit luchtwasser	Organisch materiaal wordt deels afgebroken, door verdamping hoger droge stofgehalte	Er treedt emissie van ammoniak op	Ziektekiemen en onkruidzaden kunnen deels aanwezig blijven
Black Soldier Fly larven kweek	7	Digestaat en de dikke fractie (feces) fractie van mest	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	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.
Fysische behandelingen	Indampen (dunne mestfracties)	9	Dunne fracties	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 (dikke fracties)	9	Dikke fracties	Gedroogde mest, rul product, pellets, eventueel spuiwater uit luchtwasser	Hoger droge stofgehalte en daarmee ook hoger OS-gehalte	Stikstof wordt geconcentreerd, maar ook stikstof emissie	Ziektekiemen en onkruidzaden worden onschadelijk gemaakt (afhankelijk van gebruikte T)
	Verbranden en vergassen	9 of 6	Kippenmest of droge dikke mestfracties	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	N-verrijkte mest	Organisch materiaal blijft aanwezig. Reductie methaanvorming	Verdubbeling van het N gehalte (minerale) door toevoeging van	Plasma behandeling heeft een saniterende/hygiëniserende

						nitraat. Ook reductie N emissies.	werking, waarbij pathogenen (bv <i>E. coli</i> en <i>Salmonella</i> ) worden geëlimineerd. Daarnaast ruikt de mest niet meer als mest en wordt stankoverlast verminderd
	Mechanische scheiding (uitgezonderd filters)	9	Drijfmest en digestaat	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	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 (met voorfiltering)	9	Gezuiverde dunne mestfractie	Concentraat, water (loosbaar)	Concentratie neemt toe (circa factor 5).	Concentratie neemt toe (circa factor 5).	Ziektekiemen en onkruidzaden kunnen overleven en komen terecht in concentraat.
Lucht behandeling	Oxidatie methaan	7	Lucht uit stal of mestopslag	Gezuiverde lucht	Methaan wordt afgebroken.	Een deel van de ammoniakemissie wordt gereduceerd.	-

	Luchtfilters koolstof en biologisch	9	Lucht uit stal of mestopslag	Gezuiverde lucht	Koolfilter zorgt voor een reductie van 95% organische stoffen. Een bio filter faciliteert de omzetting van organische stof in biomassa en CO <sub>2</sub> .	Een deel van de ammoniakemissie wordt gereduceerd.	Geur wordt geneutraliseerd
	Luchtwater Chemisch, biologisch of combi	9	Lucht uit stal of mestopslag	Gezuiverde lucht	Luchtwassers vooral gericht op ammoniak. Deel organische stof wordt afgevangen.	Reductie ammoniakemissies.	-

# 3 Chemische behandelingen

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

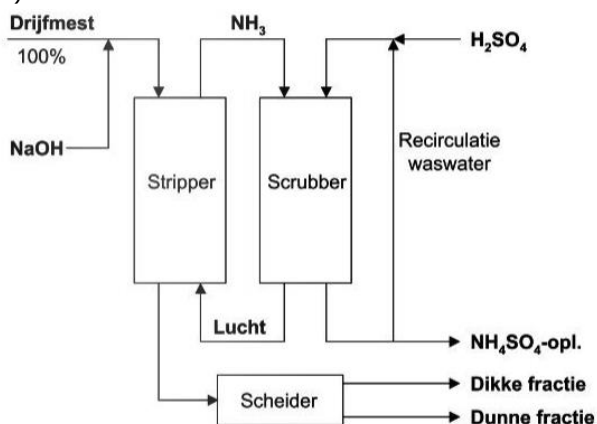
## 3.1 Strippen en Scrubben

### 3.1.1 Type mest

Strippen is mogelijk 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, dit betreft een vergelijkbare techniek als gebruikt in luchtwassers voor stallucht.

### 3.1.2 Omschrijving

Strippen houdt in dat verontreinigingen uit een processtroom kunnen worden verwijderd met behulp van een gas. Scrubben legt deze stroom weer vast door middel van wassing met een zuur. In een stripkolom 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 stripkolom, dat zijn de temperatuur en de pH van de mest. 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 ( $\text{NH}_3$ ) 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  $\text{NH}_3$  naar  $\text{NH}_4^+$ ). 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  $\text{H}_2\text{SO}_4$  toevoegt) of ammoniumnitraat (wanneer je  $\text{HNO}_3$  toevoegt). Het toevoegen van een organisch zuur als citroenzuur is ook mogelijk. Zie **Figuur 1** voor een overzicht van een stripper in combinatie met een scrubber. Onder praktijk condities is het mogelijk een mineraal N product te maken met een concentratie van maximaal 5-8% stikstof (Next NL, p. 16).



**Figuur 1** Digestaat of drijfmest wordt in de strip kolom gepompt. Lucht wordt tegen deze stroom in gepompt, waarbij ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) in gasfase komt. Vervolgens wordt de lucht met ammoniak door twee scrubbers gepompt. Hier wordt de ammoniak (gestript uit de lucht door middel van een loog) vastgelegd in een zuur. Wat resulteert is een pH neutraal ammonium sulfaat en de gestripte mest met een laag stikstofgehalte, deze bemesters kunnen goed ingezet worden (Melse et al., 2004).

---

### 3.1.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Bij gebruik van deze techniek blijven twee stromen over: een vloeibare stroom met minerale N (N-mineraal oplossing) en een gestripte mest fractie waaruit een groot deel van de minerale N is verwijderd. In de N-mineraal oplossing zal hooguit nog een spoor organisch materiaal zitten en het is een product dat zeer waarschijnlijk straks met de RENURE-status 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, eventuele biogas opbrengst en ziekten en onkruiden veranderen niet of nauwelijks en ook 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 is op bedrijfsniveau en op centrale mestverwerkingsplant mogelijk. Enkele voorbeelden van leveranciers zijn: JOZ, Bioelectric, 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 uitrijden op klei en veengronden te verlagen. Verdunnen kan uitgevoerd worden met water maar ook met behandelde ammonium arme dunne fractie. Verdunnen voor aanwenden met de sleepvoet wordt vooral toegepast in de melkveehouderij op klei en veen gronden. En 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

Verdunnen van de mest kan plaatsvinden op de vloer (WP1), in de mestput (WP1-2) of bij het uitrijden van de mest (WP 2-3) (werkpakketten BSMO: WP1 stal, WP2 mestbewerking en WP3 gewas). Er zijn systemen waarmee de vloer schoongespoeld kan worden (bijvoorbeeld mestrobot met sproeier, mestschuif met sproeiers of vaste sproeiers in opstaande rand bij voerhek of ligboxen (Lely, JOZ en van de Weerd) waarna de mest verdund in de mestput terecht komt (roostervloer) of wordt afgestort (dichte vloer). Door een schoner vloeroppervlak en verdunning verlaagt de ammoniakemissie van zowel vloer als kelder. Het verdunnen van de drijfmest in de mestput is ook mogelijk met bijvoorbeeld een ammoniak arme vloeistof (JOZ, Jovas) of door middel van water. Hiermee wordt de kelderemissie verlaagt maar niet de vloeremissie. Vooral bij vleesvarkens en vleeskalveren worden bij het verdunnen van de mest in de mestkelder goede reducties (>50% van de stalemissies) verwacht. 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 ammoniak emissie reductie te komen. Het verdunnen van de mest voor het uitgereden wordt over het land zorgt voor een vermindering van de ammoniak emissies bij klei- en veengronden. Belangrijk is hierbij de verhouding, want te veel verdunnen kan leiden tot stikstof uitspoeling. 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). En de lagere concentratie van mineraal stikstof in de mest zorgt ervoor dat er minder snel ammoniak ontstaat en vervluchtigd.

---

### 3.2.3 Kwaliteit van de mest

Uitrijden van de mest in de verhouding 2:1 met water op grasland zorgt voor een hogere eiwitconcentratie in het gras. De samenstelling van de oorspronkelijk mest wordt niet veranderd of omgezet, alleen de concentratie veranderen 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.

### 3.2.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Door het verdunnen wordt de concentratie stikstof in de mest verlaagd (naar verhouding) en daardoor vervluchtigd minder ammoniak in de stal. Bij uitrijden zal de verdunde mest beter de grond inlopen wat ook de ammoniakemissie reduceert. Het effect op methaan emissies is onbekend, mogelijk zijn de lachgasemissies na aanwenden van verdunde mest hoger dan met onverdunde mest.

### 3.2.5 Schaal van de techniek

Het verdunnen van de mest bij aanwenden wordt in de praktijk gedaan (melkvee) en ook het verdunnen van de mest in de stal (melkvee, varkens en vleeskalveren) wordt op enkele bedrijven gedaan: TRL 9, echter voor het verdunnen van de mest in de stal zijn nog geen definitieve emissiefactoren vastgesteld. Verdunnen zal op bedrijfsschaal toegepast kunnen worden. Grootschalig verdunnen van mest is niet efficiënt vanwege een verhoging van het volume en daarmee de transportkosten.

## 3.3 Aanzuren van mest

### 3.3.1 Type mest

Het aanzuren van de mest kan toegepast worden op drijfmest 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 en daarmee wordt de vorming van ammoniak deels voorkomen. Ammoniakgas vervluchtigt minder snel uit de mestopslag. Drijfmest heeft normaal een pH van 7-8, wanneer de mest wordt aangezuurd en de pH onder de 5,5 wordt gebracht zal het evenwicht tussen  $\text{NH}_4$  (opgelost) en  $\text{NH}_3$  (gas) richting  $\text{NH}_4$  (opgelost) gaan. Het aanzuren kan gebeuren met zwavelzuur maar ook met salpeterzuur of organische zuren. Het aanzuren kan tijdens opslag gedaan worden wat leidt tot een reductie van ammoniak (en ook methaan) emissies uit de stal. In Denemarken wordt op grote schaal mest aangezuurd tijdens het uitrijden wat een emissiereductie van ammoniak op het veld tot gevolg heeft (Puente-Rodriguez et al., 2022). Het aanzuren van de drijfmest bij opslag zal circa 8-16 liter 96 % zwavelzuur kosten om een pH <5,5 te halen voor het aanzuren bij aanwenden is 2-4 liter 96 % zwavelzuur nodig. De hoeveelheden toe te voegen zuur zijn sterk afhankelijk van de mestsoort en de gewenste pH verlaging (digestaat behoeft een grotere zuurtoevoeging).

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 bij het ontzuren  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{S}$  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, wat een bemestende waarde heeft maar ook tot overbemesting kan leiden. Wanneer salpeterzuur als zuur wordt



---

gebruikt wordt stikstof toegevoegd aan de mest waardoor het gehalte aan mineraal stikstof grofweg kan verdubbelen. 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 methaan emissie 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 waardoor methaan emissies 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 9. Al sinds de vorige eeuw wordt aanzuren van mest op bedrijfsniveau gedaan. 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 nog niet.

## 3.4 Toevoegmiddelen

Er is een scala aan stoffen die toegevoegd kunnen worden aan de mest. Meestal zorgen dergelijke middelen voor de binding van ammonium en of fosfaat waardoor de kwaliteit van de mest verbeterd. In deze paragraaf is een aantal van deze toevoegstoffen kort beschreven.

### 3.4.1 Type mest

Mogelijk op drijfmest, dunne fracties of de dikke fractie.

### 3.4.2 Omschrijving

Aan meststromen kunnen verschillende additieven toegevoegd worden. In tabel 2 zijn algemene gegevens van de toevoegmiddelen zeoliet, biochar, magnesiumchloride, ijzerverbindingen zoals magnetiet, gebluste of ongebluste kalk weergegeven. Voor zeoliet en biochar geldt dat deze toevoegmiddelen grote oppervlakten hebben en nutriënten hieraan kunnen binden. Zeoliet en biochar zullen in de behandelde mestfractie blijven en zullen ook na toepassing in het veld in de bodem aanwezig blijven. Magnesiumchloride kan toegevoegd worden aan de mest om struviet te vormen en zodoende fosfaat en ammoniak te binden. Deze werkwijze is nog in onderzoek. Ook is het mogelijk om calciumfosfaat te maken uit de dikke fractie zoals Grootzevert (*Groot Zevert, The Netherlands - Systemic*, n.d.) doet door middel van aanzuren en aanloggen. Met dit proces wordt een fosfaatarm organische mestfractie gemaakt en een fosforrijk product.

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 eruit gehaald worden met behulp van magnetisme. Met zuur kan het fosfaat en ijzer weer losgekoppeld worden. Deze techniek komt uit de mijnbouw (Nico Verdoes et al., 2021).

Gebluste kalk kan toegevoegd worden om de mechanische scheiding van dikke en dunne fractie te verhogen en de efficiency van de fosfor scheiding. Ongebluste kalk kan ingezet worden om een feces fractie te bewerken tot een product met een hoger drogestof gehalte, deze techniek is veelvuldig toegepast op rioolwaterzuiveringsslib maar is nog niet op praktijkschaal in gebruik.

**Tabel 2** Toevoegmiddelen mest

Toevoegmiddel	Werkingsprincipe	Bedrijf	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 toegevoegd
Magnesiumchloride	Vorming van struviet ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6(H_2O)$ ) 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	

### 3.4.3 Kwaliteit van de mest

Door het toevoegen van zeolieten, biochars of magnesiumchloride worden ammoniakemissies verlaagd, hoeveel reductie is nog niet vastgesteld, wat zal leiden tot hogere stikstofgehalten vergeleken met niet behandelde mest. Het verwijderen van fosfaat door middel van magnetiet kan leiden tot twee meststromen één laag in fosfor (bodemverbeteraar) en één hoog in fosfor (fosforbemesting of export). Het toevoegen van gebluste kalk wordt toegepast bij grootschalige mestverwerking en leidt tot efficiëntere scheiding, wat leidt tot een dikke fractie met iets meer fosfor en droge stof en een dunne fractie met relatief weinig fosfor en organische stof. Toevoegen van ongebluste kalk leidt tot drogere mest en mogelijk wordt deze ook gehygiëniseerd tijdens het mengen met ongebluste kalk.

### 3.4.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

De emissie van ammoniak zal afnemen bij die addities waarbij stikstof wordt vastgelegd zoals bij het toevoegen van zeoliet, biochar en magnesiumchloride. Hoeveel hoog de reducties zijn is nog niet vastgesteld. 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 2 weergegeven.

---

## 4 Biologische behandelingen

Het cluster biologische behandelingen bevat technieken die gebaseerd zijn op omzettingen gedaan door (micro)organismen, zoals bacteriën, 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, echter er zijn wel grote verschillen in biogasopbrengsten en de ene stroom is praktisch beter in te passen dan de andere (bijvoorbeeld verpompbaarheid, deeltjesgrootte, drijfslagen). Vergisting van mest kan qua regelgeving op twee manieren gedaan worden namelijk, mono-mestvergisting waarbij alleen dierlijke mest wordt gebruikt, en co-vergisting waarbij ook ander organisch materiaal (maximaal 50%) aan de vergisting tank 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 35% en CO<sub>2</sub> 60%). Het biogas kan gebruikt worden om elektriciteit en warmte mee te produceren middels een WKK (warmtekrachtkoppeling) of als groengas (bijvoorbeeld voor gasnet of transportbrandstof). Om biogas op te waarderen naar groengas moet het eerst opgeschoond worden en de juiste methaan concentratie moet behaald worden.

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 vergister tussen de 15 en 40 dagen. De verblijfsduur is langer of korter afhankelijk van de snelheid van vertering van de ingrediënten van het te vergisten product. 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 wegtransport nodig is. Hierdoor kan de mest dagvers of nog verser ingevoerd worden in de vergister, terwijl bij een centrale mestvergister voldoende mest verzameld moet worden om een vrachtwagen te vullen. 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. Opslag van digestaat dient emissie arm en veilig te gebeuren.

#### 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 te gebruiken, 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 organisch stikstof omgezet in minerale stikstof, wat beter opneembaar is voor planten. Uit digestaat kunnen meststoffen gemaakt worden die voldoen als RENURE-meststof. Door het vergistingsproces worden de ziekteverwekkers en onkruidzaken deels onschadelijk gemaakt. Dit is te danken aan de anaerobe omstandigheden, het optreden van hydrolyse processen, exo-enzymen aanwezig in drijfmest en het redoxpotentieel. Er is geen verschil tussen co-vergisting en mono-vergisting hierin (Kool Maikel Timmerman et al., 2005).

#### 4.1.4 Verwachte emissies en broeikasgassen

Bij vergisting wordt methaangas en CO<sub>2</sub> geproduceerd en kan het methaangas als brandstof worden gebruikt. CO<sub>2</sub> 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 wordt dan zal methaan emissie 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). Ammoniak emissies tijdens het aanwenden van digestaat kunnen wel hoger zijn vanwege de hogere ammonium gehalten en de hogere pH van het digestaat.

#### 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 1600 huishoudens voorzien van warmte en energie met behulp van een biogasinstallatie. Zie voor meer informatie; <https://ennatuurlijk.nl/warmtenetten-van-ennatuurlijk/zeewolde>.

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

Gezien de opstartkosten en de kosten voor de installatie kan vergisting uit vanaf 180-350 koeien (Bodde, 2020; Cornelissen, 2018; Stokkermans, 2021) of 1200 vleesvarkens (Cornelissen, 2018). Wanneer verse mest gebruikt wordt is de gasopbrengst beduidend hoger en kan het economisch perspectief verbeteren (Gollenbeek et al., 2021).

## 4.2 Biologische zuivering

### 4.2.1 Type mest

Het biologisch zuiveren zal vooral gedaan worden met de dunne fractie die ontstaat na mestscheiding. Vooral 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 een anaerobe en aerobe organismen gezuiverd waarna de vloeistof wordt gefilterd. De ammoniumarme vloeistof is voldoende zuiver om deze op de riolering te lozen en het slib kan als dierlijke mest aangewend worden of nog verder verwerkt. De minerale stikstof uit de dunne fractie wordt tijdens de zuivering omgezet in stikstofgas wat niet schadelijk is. 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 geloosd worden op het riool, en kan mogelijk ingezet worden als mest opvangvloeistof (verdunding en spoelen) in een emissiearm stalsysteem. De slib en dikke fractie kunnen

---

afgezet worden in de landbouw als organisch minerale bemester. Pathogenen en onkruidzaden kunnen deels gedood worden.

#### 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 SMG. Ook op boerderijschaal zijn in Nederland een aantal installaties actief. In Vlaanderen is deze manier van mestverwerken meer aanwezig, er is wel sprake van afschalen omdat dit systeem niet circulair wordt geacht.

### 4.3 Bokashi productie

#### 4.3.1 Type mest

Voor het maken van bokashi is op dit moment een mix van organische reststromen waarbij 20% uit drijfmest bestaat geschikt. Ook kan de dikke mestfractie of stapelbare stalmest gebruikt worden.

#### 4.3.2 Omschrijving

Bokashi is een fermentatie techniek die vergelijkbaar is met inkuilen, het betreft een fermentatieproces dat anaeroob verloopt en waarbij zuren geproduceerd worden waardoor het fermentatieproces stopt en de organische reststroom wordt 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 zijn (Abo-Sido et al., 2021). Bokashi is klaar na 8 tot 12 weken. Een belangrijk verschil met composteren is de temperatuur, die bij bokashi fermentatie niet hoger komt dan 40 °C tegenover 50-70 °C bij composteren. De pH zakt tijdens de fermentatie tot 3,5-4,0 om dit effect tegen te gaan wordt er voor de bereiding van bokashi kalkhoudend materiaal toegevoegd (Janmaat, 2017) om het proces langer te laten verlopen, uiteindelijk is een lage pH gunstig voor bewaring van het product.



**Figuur 2** Een bokashi fermentatie op de boerderij

---

### 4.3.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Het fermentatieproces wordt door een verlaging in pH gestopt en hierdoor conserveert de resterende organische stof en blijft deze 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 nog omgezet worden door het bodemleven, voor het de gewassen ten gunste komt (Janmaat, 2017).

Uit de proeven uitgevoerd door Hogeschool van Hall Larenstein (gemeten in 2018, 2019 en 2020) was de stikstof concentratie tussen de 5,9 en 6,5 kg/ton. De kalium concentratie 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 echter wel 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.

### 4.3.4 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.

### 4.3.5 Schaal van de techniek

De TRL van bokashi is 8. Bokashi is geschikt om op boerderijschaal te produceren. De Stichting Proefboerderijen Noordelijke Akkerbouw hebben enkele proeven met bokashi op boerderijschaal, de bokashi was 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/>.

Op dit moment is de wettelijke status van bokashi een grijs gebied. Met de toevoeging van dierlijke mest zou de status mogelijk dierlijke mest zijn, mogelijk zelfs afval. Voor het aanwenden van bokashi zonder dierlijke mest is een vergunning nodig, deze vergunning wordt op dit moment alleen nog toegekend aan pilots (Jonkheer, 2020).

## 4.4 Composteren

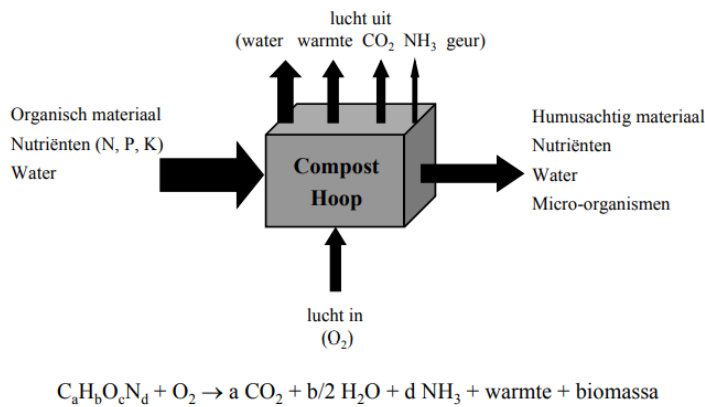
### 4.4.1 Type mest

Drijfmest is de meest gangbare mest en deze is te composteren door middel van het toevoegen van structuur of het ontwateren van de mest (dikke fractie of feces).

Stro, vlas, lemen, houtsnippers of andere materialen kunnen toegevoegd worden om een structuurrijke stroom te krijgen die composteerbaar is (Nest et al., 2015).

### 4.4.2 Omschrijving

Composteren is een gecontroleerd aerob proces dat bij een temperatuur van 50 à 70 °C uitgevoerd wordt, wat resulteert in het afbreken van organisch materiaal tot een humusrijk product. Dit humus product is vrij van mens en plant pathogenen, is stabiel, trekt geen insecten of virussen aan en is 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 CO<sub>2</sub> geproduceerd. Zie Figuur 3 voor een schematisch overzicht van composteren.



**Figuur 3** 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 composteer trommels geplaatst. In deze installaties kunnen temperatuur en het zuurstofgehalte gestuurd worden. De kwaliteit van de compost kan daardoor gegarandeerd worden. Ten opzichte van minder intensief composteren zijn de kosten hoog. Ten tweede is er de extensieve compostering, hierbij wordt de biomassa op een hoop geplaatst wat minder controle geeft over het proces. De temperatuur en het kooldioxidegehalte in de hoop kunnen worden gemeten. De composthoop wordt enkele keren per maand gekeerd, en beluchting gaat via natuurlijke trek (passieve beluchting). Op deze manier blijft de kwaliteit van het product constant en wordt de prijs aanzienlijk lager ten opzichte van intensieve compostering (van 't Riet & van Dam, 2003).

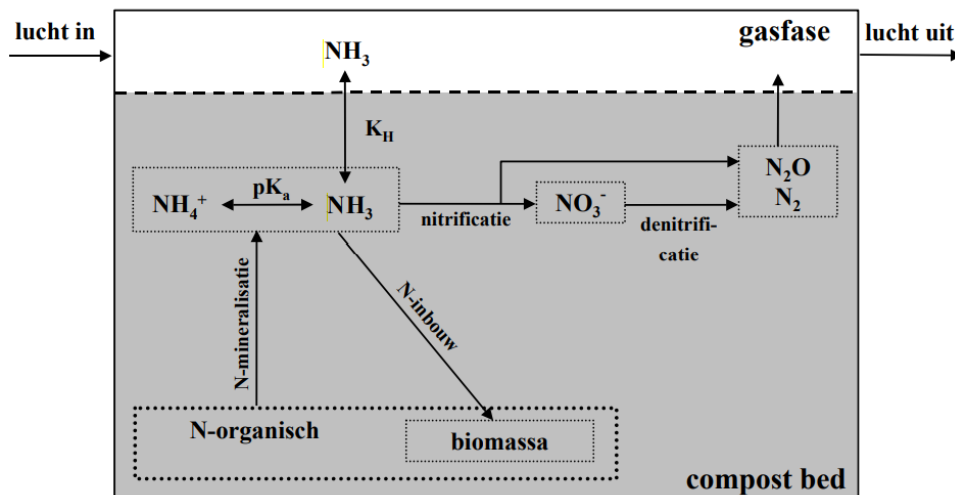
Er is een aantal karakteristieken belangrijk voor het composteringsproces, namelijk de hoeveelheid vocht in het startmateriaal, de verhouding koolstof vs. stikstof en de deeltjesgrootte van het uitgangsmateriaal. Een vochtgehalte tussen de 40-60% wordt als optimaal gezien met een C:N ratio van 25:1 en 30:1. 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.).

#### 4.4.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Tijdens de compostering wordt organische stof omgezet in vooral CO<sub>2</sub>, een deel van het aanwezige water zal verdampen vanwege de warmteontwikkeling. Ook zullen verliezen optreden aan stikstof (ammoniakemissie) maar ook uitspoeling van nutriënten als kalium. Doordat de biomassa wordt omgezet verdwijnt er een deel van de organische stof. Doordat er veel water verdampt in dit proces neemt de hoeveelheid droge stof naar verhouding toe. Nutriënten zoals kalium kunnen uitspoelen. Gecomposteerde dikke rundveemest bevat ongeveer 3,3 kg/ton stikstof en gecomposteerde varkensmest gemengd met stro bevat ongeveer 12,5 N kg/ton stikstof (Starmans et al., 2002). De ziektekiemen en onkruidzaden worden (grotendeels) gedood door de hoge temperatuur in de composthopen. Door gebruik te maken van erkende composteerinstallaties zal de mest formeel geschikt zijn voor export (oftewel voldoende gehygiëniseerd).

#### 4.4.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Tijdens composteren wordt organisch materiaal afgebroken waarbij CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> of N<sub>2</sub> gas vrijkomt. Indien composteringsprocessen niet goed verlopen is er risico op ontstaan van lachgas en methaan. De ontstane compost blijft wettelijk gezien dierlijke mest. De ammoniakemissies kunnen zo hoog zijn dat luchtwassing noodzakelijk is.



**Figuur 4** 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 waarbij stikstof vrijkomt in de vorm van ammoniak; 2) biomassa groei, een deel van het organisch materiaal dat aerob afgebroken wordt is gemineraliseerd en wordt omgezet 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. Deze omzetting vindt plaats onder anaerobe omstandigheden waarbij afbreekbaar organisch materiaal aanwezig is, wanneer dit niet zo is kan er een aanzienlijk deel lachgas geproduceerd worden (Starmans et al., 2002).

#### 4.4.5 Schaal van de techniek

De TRL van mest composteren op boerderijschaal is 9. Composteren is geschikt om op boerderijschaal toe te passen, en de techniek kan gekozen worden op basis van de intensiteit van de boerderij maar ook de kwaliteitseisen van het product: exportwaardig (>70 °C gedurende 1 uur) of niet. Wel zal composteren met of stapelbare mest gecombineerd moeten worden of met een andere vorm van mestbewerking zoals mechanisch scheiden zodat de dikke fractie gecomposteerd kan worden.

## 4.5 Vermicomposter

### 4.5.1 Type mest

Vermicompostering is een methode om organische (rest)stromen om te zetten in een compost. 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 deze verhoudingen te komen (Grand, 2020). Vooral de mestsoorten met een hoger drogestofgehalte zullen in aanmerking komen maar zullen altijd gemixt met andere substraten moeten worden. Echter, wormen kunnen slecht tegen hogere ammoniak concentraties en daarom wordt bij vermicompostering de mest vaak van tevoren gedeeltelijk gecomposteerd.



---

## 4.5.2 Omschrijving

Bij vermicomposteren worden er regenwormen gebruikt om het organische materiaal om te zetten in vermicompost. Dit gebeurt aeroob 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 wordt onderin verzameld. Compostwormen bewegen zich namelijk vooral in de bovenste laag. Als er veel weersschommelingen zijn moet vermicompostering overdekt uitgevoerd worden (Grand, 2020).

Op dit moment is mest nog uitgesloten van substraten waarop wormen of insecten mogen groeien. Recent (september 2021) zijn BSF larven toegestaan als eiwitbron voor kippen en varkens (*Insects As Feed EU Legislation – Aquaculture, Poultry & Pig Species, 2021*).

## 4.5.3 Kwaliteit van de mest

In de regelgeving wordt wormencompost net als insectenfrass de dierlijke meststatus toegekend. 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 microbioom zeer divers, wat de plant ten goede komt (Grand, 2020). De wormencompost wordt gezien als een goede organische bemester en bodemverbeteraar.

## 4.5.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

De wormen (en aanwezige micro-organismen) zetten organisch materiaal om in CO<sub>2</sub>, 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.

## 4.5.5 Schaal van de techniek

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

# 4.6 Black soldier fly larven kweek

## 4.6.1 Type 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 maar er moet ook lucht in kunnen komen (Hasnol et al., 2020). Vaak worden substraten gemixt om de juiste samenstelling te krijgen.

## 4.6.2 Omschrijving

De larven worden vaak in bakken gekweekt en groeien bij relatief hoge temperaturen (circa 30 °C). De larven vreten zich een weg door het substraat en zetten het om in frass (insectenmest) en in hun 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.

## 4.6.3 Kwaliteit van de mest

BSF frass 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 insecten mest een positief effect had op deze aspecten (Elissen, Schilder, et al., 2019). Ook kan BSF frass vergist worden, in proeven gaf de frass bij co vergisting in combinatie met natuurgras en rundermest een verbetering in het vergistingsresultaat (Elissen, Hol, et al., 2019).

#### 4.6.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

De emissie van BSF-larven is onderzocht door Parodi et al., (2020), waar zij met behulp van massabalansen en metingen de stikstofgehalten en emissies onderzochten. Zij vonden 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, wat ook een gevolg kan zijn van de lage pH.

#### 4.6.5 Schaal van de techniek

Het kweken van BSF-larven op mest wordt regelmatig kleinschalige onderzocht (TRL 7). Bij het gebruiken van BSF-larven worden er 2 producten geproduceerd, waarbij de larven zelf de meest waardevolle stroom zijn. Omdat er nauwe regels verbonden zijn aan de toepassing van de larven afhankelijk van het substraat waarop ze gegroeid zijn, is het nu nog lastig om BSF-larven op grote schaal te gaan kweken met dierlijke mest op de boerderij en die te verwaarden. Er zijn echter wel proeven uitgevoerd om vaste varkensmest te gebruiken voor de groei van BSF. Middels een economisch model is geëvalueerd in hoeverre dit rendabel mogelijk is voor ca 900 ton vaste mest per jaar. Een betere kans op een positief rendement ontstaat wanneer er goede afzet voor levende larven gevonden kan worden en/of de starterlarven relatief goedkoop ingekocht kunnen worden (Groeneveld et al., 2021).

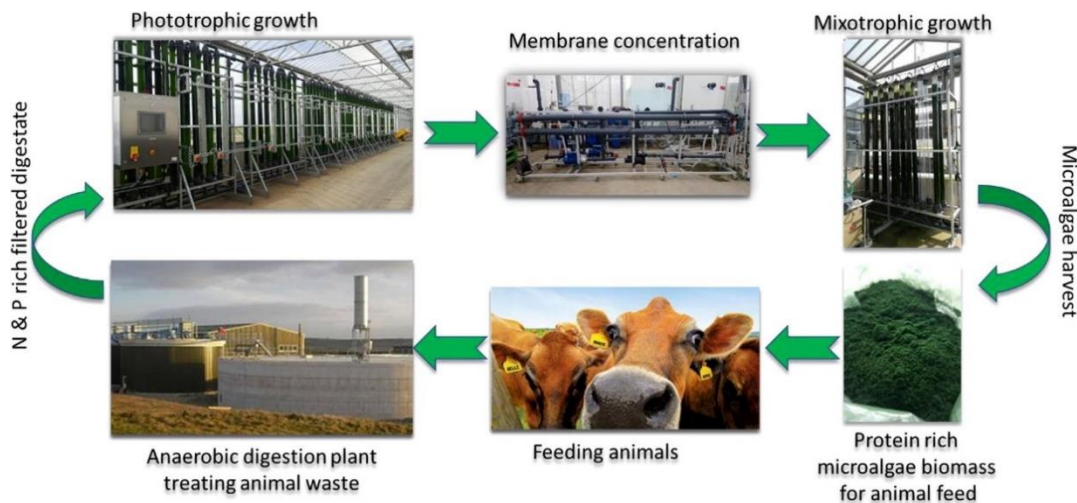
## 4.7 Aquatische biomassa groei op dunne fractie

### 4.7.1 Type mest

De dunne fractie of urine is geschikt voor deze omzetting.

### 4.7.2 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 groeien 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 CO<sub>2</sub> als organische koolstof worden tegelijk gebruikt en omgezet. Het digestaat was gefilterd en 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 5** Het circulaire schema voor de groei van algen op digestaat, waarbij de eiwitten uit de algen verkregen worden, die weer gevoerd kunnen worden aan het vee (Fuentes-Grünewald et al., 2021).

Zie **Figuur 5** 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 en deze dan in nuttige biomassa omzetten (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 de huidige wetgeving het verhandelen van veevoerders gekweekt op mest of digestaat nog niet toe (Broeze et al., 2022).

#### 4.7.3 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.

#### 4.7.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Algen en aquatische planten leggen juist CO<sub>2</sub> 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, wel is sprake van sterke verdunningen waardoor emissies lager zullen zijn dan bij het gebruik van de dunne fracties.

#### 4.7.5 Schaal van de techniek

De TRL van het groeien van aquatische biomassa ligt op 7. Er zijn wel pilots opgezet, maar de volgende stap moet nog gezet worden. Vanwege kosten die erbij komen om reactor op te zetten, de manuren die nodig zijn om de reactor draaiende te houden, en de lage concentratie mest in de reactor is deze techniek (nog) niet geschikt voor de toepassing op boerderijniveau. Wel zijn er een aantal kleinschalige initiatieven opgezet om aquatische biomassa te kweken, zie bijvoorbeeld de Gebr. Van der Geest die eendenkroos telen; [https://www.gebrvandergeest.nl/over\\_ons/publicaties/eendenkroos\\_vergroent\\_gebr\\_van\\_der\\_geest/](https://www.gebrvandergeest.nl/over_ons/publicaties/eendenkroos_vergroent_gebr_van_der_geest/)

---

## 5 Fysische behandelingen

In deze sectie worden processen beschreven die gebaseerd zijn op deeltjesgrootte en processen die vooral gebaseerd zijn op deeltjesgrootte of het toevoegen van energie als elektriciteit of warmte.

### 5.1 Indampen (dunne mestfracties)

#### 5.1.1 Type mest

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

#### 5.1.2 Omschrijving

Bij indampen wordt in tegenstelling tot verdampen de mest direct 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. De verdampte fractie kan gecondenseerd worden en is vaak zoutarm. In theorie kan er ingedampt worden tot er een bijna vaste fractie over is, in praktijk wordt dit niet gedaan om de drijfmest verpompaar te houden en de energiekosten niet te hoog te maken. Vaak wordt een indamper gecombineerd met een voorgeschakelde stripper of biologische zuivering. De ammoniak is dan al verwijderd uit de mest, indamping levert dan een loosbaar condensaat en een dikkere fractie (Timmerman & Rulkens, 2009).

Een indamp techniek 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/stripper.

#### 5.1.3 Kwaliteit van de mest

De mest wordt niet omgezet in dit proces, echter worden de nutriënten sterk geconcentreerd, door het verdampen van water. Dit leidt tot een product met hoge nutriëntengehalten, echter het ingedikte product is mogelijk minder gemakkelijk te verpompen. De ziektekiemen en onkruidzaden worden wel gedood door de gebruikte temperaturen van meer dan 70 °C.

#### 5.1.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Omdat de mest geconcentreerder wordt, kunnen de emissies toenemen ten opzichte van drijfmest, echter tijdens het indampen wordt een deel van ammoniakaal stikstof verwijderd. Ammoniakemissies tijdens indampen dienen door middel van een luchtwasser afgevangen te worden.

#### 5.1.5 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). Het verdampen met het vrije val principe lijkt mogelijk op bedrijfsniveau. Zie bijvoorbeeld:

<https://www.gea.com/nl/products/evaporators-crystallizers/evaporator-configuration/mvr-heated-evaporation-plants.jsp>

---

## 5.2 Drogen dikke fracties

### 5.2.1 Type mest

Verdampen is geschikt voor dikke fracties uit drijfmest, en wordt in de praktijk veelal toegepast op pluimveemest die al droger is ten opzichte van dikke fracties drijfmest van varkens en rundvee.

### 5.2.2 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 bronnen zijn, warmte onder daken en uit de stal, warmte uit warmtekrachtkoppeling verigster, pelletkachel. Met de inzet van warmtepompen kan de warmte efficiënt gegenereerd worden en een mogelijkheid is dan ook om warmte terug te winnen uit de uitgaande lucht.

Een andere techniek die gebruikt kan worden om de dikke fractie in te dampen is vriesdrogen. De dikke fractie wordt eerst bevroren om vervolgens naar een lagedruk kamer te gaan. Door de lage druk sublimeert het water. Sublimeren is de faseovergang van vast naar gas zonder smelten als tussenstap.

### 5.2.3 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.

### 5.2.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Omdat de mest geconcentreerder wordt, kunnen de ammoniakemissies na aanwenden toenemen ten opzichte van drijfmest, 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 (CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O) vanuit de gedroogde mestfractie zullen lager zijn bij verdere opslag dan bij de oorspronkelijke mestfractie.

### 5.2.5 Schaal van de techniek

De TRL van deze technieken is 9. Er zijn al verschillende bedrijven die verdamp technieken gebruiken. Het verdampen met ventilatielucht is goed mogelijk op bedrijfsniveau en wordt momenteel vooral toegepast bij pluimveemest. Convectiedrogen lijkt gemakkelijk mogelijk op bedrijfsniveau, gezien hier slechts een luchtbehandelingsinstallatie voor nodig is, ook zal de mest gescheiden moeten worden in een dikke en dunne fractie. Er zijn op internet geen toepassingen van vriesdrogen op mest is gevonden. Deze techniek zal waarschijnlijk een lagere TRL hebben.

---

## 5.3 Verbranden en vergassen

### 5.3.1 Type mest

De drogere mestsoorten als dikke fracties uit drijfmest en kippenmest 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).

### 5.3.2 Omschrijving

Mest met een drogestof gehalte 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) als vergassing, pyrolyse of torrefaction. Afhankelijk van het gebruikte proces zullen ook de producten verschillen: volledige verbranding as tot houtskoolachtige producten bij torrefaction (Gollenbeek *et al.*, 2018). Hoe onvollediger de verbranding hoe meer koolstof achterblijft in de as-fractie. Tevens kan energie in de vorm van warmte of elektriciteit geproduceerd worden.

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

### 5.3.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Het volume van de 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.

### 5.3.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

De verbrandingsgassen dienen gezuiverd te worden (ook mogelijk teervorming), bij aanwenden van de as of biochar zullen de emissies qua ammoniak en broeikasgassen minimaal zijn.

### 5.3.5 Schaal van de techniek

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

## 5.4 N2 Plasma behandeling van het vloeibare organische substraat

### 5.4.1 Type mest

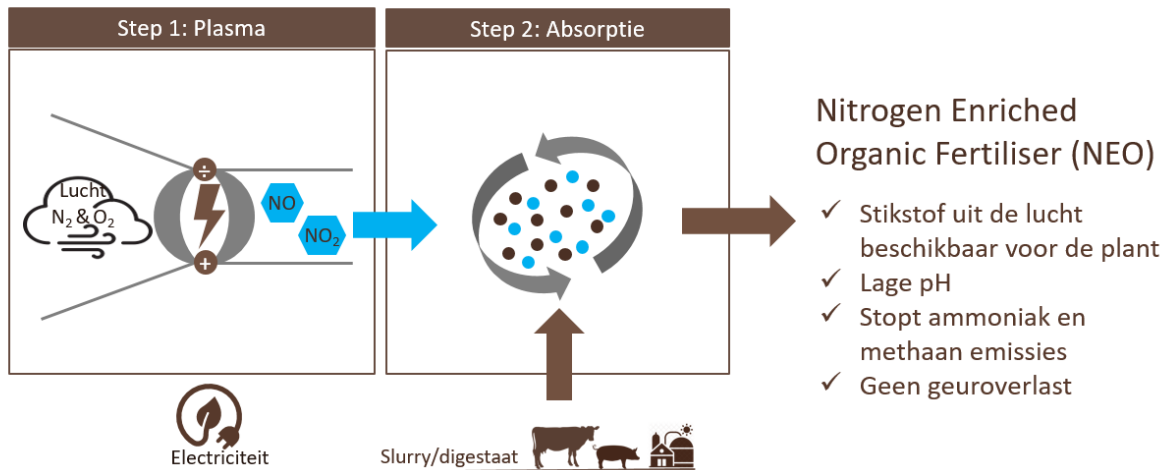
Voor deze toepassing is een vloeibare stroom nodig, dus drijfmest of digestaat zijn geschikt maar ook dunne fractie van digestaat of drijfmest en urine.

### 5.4.2 Omschrijving

Plasma behandeling 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. De ammonium stikstof in onbewerkte drijfmest en digestaat is onder andere door de hoge pH instabiel.

Deze plasmatechniek bestaat uit twee stappen, de plasma en de absorptie stap. In de eerste plasma stap wordt stikstof gefixeerd uit de lucht met een plasma (elektriciteit). Hier worden stikstof en zuurstof moleculen gesplitst in atomen, waarna stikstofdioxide gevormd wordt ( $\text{NO}$ ). In de 2<sup>e</sup> stap wordt de stikstof rijke lucht geabsorbeerd door de drijfmest of digestaat. Zo wordt de organische stroom rijker in stikstof 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 plasma behandeling zorgt samen met de aanzurende werking dat ook de methaanemissie stopt.

## Nitrogen enrichment / stop emissions



**Figuur 6** De plasma reactor. Door elektriciteit wordt stikstof uit de lucht omgezet en gebonden in de vorm van  $\text{NO}$  en  $\text{NO}_2$ . 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 negatieve uitwerking op de vergisting (lage pH en te hoog stikstofgehalte). Na vergisten is het toepassen van deze plasmatechniek wel doelmatig. Over het algemeen zijn de pH en TAN hoger in digestaat dan in drijfmest zodat de kans op emissies groter is.

### 5.4.3 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, zodat injecteren van de mest onder Deense regelgeving bij aanzuring niet nodig is. Plasma behandeling van de drijfmest zorgt dus voor een efficiëntere plantopname (hogere NUE) en een vermindering van ammoniak en methaan emissies (Graves et al., 2019).

### 5.4.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

De aanzurende werking van de plasma behandeling zorgt voor minder emissie van ammoniak en methaan. Voor de hoogst mogelijke emissiereductie is het belangrijk dat de plasma behandeling 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). Door denitrificatie kan de nitraat geleidelijk weer afbreken. Onbekend is nog of dit kan leiden tot de vorming van bijvoorbeeld lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Ook is onduidelijk of het toegevoegde nitraat leidt tot meer uitspoeling na aanwending.

---

#### 5.4.5 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 die bewust bedoeld is om te gebruiken op de boerderij en alleen elektriciteit en lucht nodig heeft, zodat de boer zijn eigen mest kan verrijken. Zie <https://n2applied.com/> voor meer info over deze techniek.

### 5.5 Mechanische scheiding (uitgezonderd filters)

#### 5.5.1 Type mest

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

#### 5.5.2 Omschrijving

Er zijn drie mechanische scheidingstechnieken die in de praktijk gebruikt worden namelijk: schroefpers, decanter en zeefbandpers. De schroefpers wordt vooral ingezet voor melkveemest waarbij de dikke fractie ook gebruikt kan worden als ligboxvulling. De decanter en zeefbandpers worden vaak ingezet bij varkens en vleeskalvermest. De scheidingsrendementen en de kosten verschillen wat een reden kan zijn om voor een bepaalde techniek te kiezen. Ook kunnen hulpstoffen als flocculanten de scheidingsrendementen vergroten. Deze drie technieken zijn als vaste installatie toe te passen maar worden ook als mobiele scheidingsmiddelen aangeboden. Hierdoor kan ook bij kleinere schaal gewerkt worden met deze scheidingsmiddelen.

#### 5.5.3 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.

#### 5.5.4 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 lachgasproductie.

#### 5.5.5 Schaal van de techniek

Deze technieken worden al jaren ingezet de TRL is 9.

### 5.6 Flotatie/ DAF

#### 5.6.1 Type mest

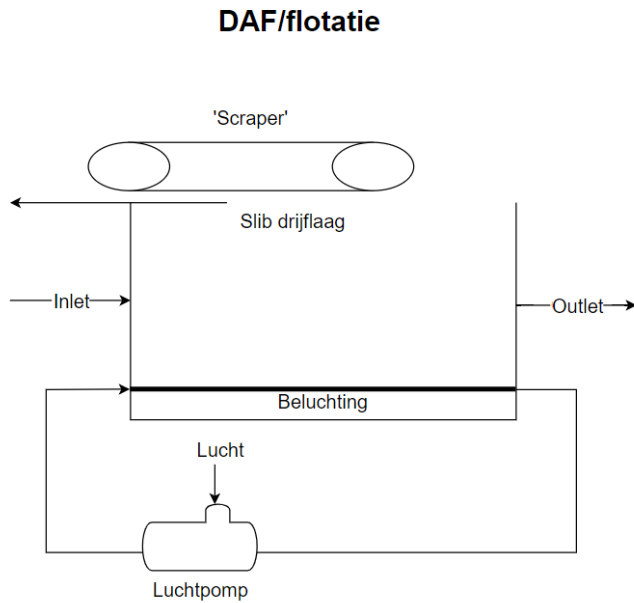
Het type mest die voor deze techniek geschikt is, zijn de dunne fracties van digestaat en drijfmest.

#### 5.6.2 Omschrijving

Met Dissolved Air Flotation (DAF) kan fosfaat teruggewonnen worden uit digestaat en drijfmest (na scheiding). Het is een techniek afkomstig uit de waterzuivering. In een bak wordt de vloeibare fractie gedaan samen met een geschikt vlokmiddel en deze bak wordt belucht. De kleine belletjes brengen het organisch materiaal naar boven in de kolom, hier ontstaat een slibachtige drijfslag. Bovenaan zit een zogeheten scraper, die de drijvende delen weg scheidt. Deze drijvende delen is een P rijke reststroom. De flotatie kan bevorderd worden door de



druk & debiet te veranderen (en daarmee luchtbel grootte) of andere flocculanten toe te voegen die ervoor zorgen dat deeltjes aan elkaar binden en een groter oppervlakte krijgen.



**Figuur 7** 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 drijflaag van de vloeistof schept. De 'outlet' is een minerale rijke en opgeschoonde dunne fractie.

### 5.6.3 Kwaliteit van de mest

De stroom die bovenaan opgevangen kan worden, de drijvende delen, bevatten veel fosfaat. De vloeibare fractie is rijk in nutriënten zoals kalium en stikstof. Onkruidzaden en ziektekiemen worden niet gedood met deze techniek. Wanneer deze techniek goed toegepast wordt, blijft een relatief schone waterige stroom over, die verder opgewerkt kan worden, als bemester gebruikt kan worden of geloosd kan worden afhankelijk van de plaatselijke situatie en wetgeving.

### 5.6.4 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

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

### 5.6.5 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, en wordt dus vooral bij de grotere mestverwerkingsinstallaties ingezet.

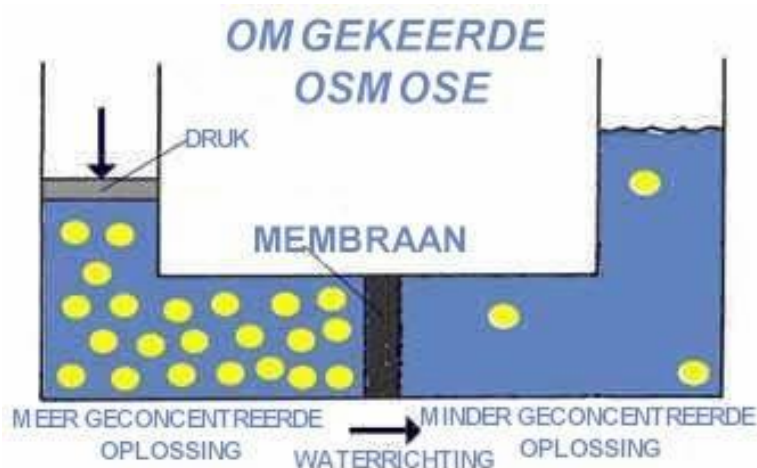
## 5.7 Omgekeerde osmose

### 5.7.1 Type mest

Omgekeerde osmose is geschikt voor dunne fracties van mest en digestaat en ook urine/gier mits deze zijn voorbehandeld (bijvoorbeeld flotatie en of filtratie).

### 5.7.2 Omschrijving

Bij omgekeerde osmose wordt er een waterdoorlatend membraan gebruikt waarmee twee compartimenten worden gescheiden. Na een voorbehandeling door ultrafiltratie en/of strippen 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 uit te oefenen op het compartiment op de dunne fractie wordt het water als het ware uit de dunne fractie geperst.



**Figuur 8** 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 (mineralenconcentraat) 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 de urine is verwerkt door middel van omgekeerde osmose kan er ureum in het permeaat terecht komen. Het permeaat (water) mag dan dus niet zonder nabehandeling geloosd worden op het oppervlaktewater (Borneman & Nijmijer, 2021).

### 5.7.3 Kwaliteit van mest na behandeling

Het mineralen concentraat bevat circa een factor 5 hogere concentraties aan N, K en andere zouten dan het ingaande product. De absolute hoeveelheden van deze stoffen blijven hetzelfde. Het mineralen concentraat mag binnen de pilot mineralenconcentraat afgezet worden als kunstmestvervanger (RENURE). Het permeaat mag over het algemeen geloosd worden op het oppervlaktewater, vaak wel met aanvullende voorschriften.

### 5.7.4 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.

### 5.7.5 Schaal van de techniek

De TRL voor toepassing van RO op boerderijschaal is 9. Installaties van verschillende debieten zijn mogelijk, zie daarvoor de volgende websites; <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/techniefiches/omgekeerde-osmose> en <https://timtholen.nl/casussen/>.

## 6 Luchtbehandelingen

Een onderdeel van de mestbewerking kan een luchtbehandeling zijn om de emissies te reduceren. In dit hoofdstuk zijn een drietal luchtbehandelingen beschreven.

### 6.1 Oxidatie methaan

#### 6.1.1 Toepassing

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

#### 6.1.2 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 broeikaseffect. Dit kan door het methaan te oxideren met behulp van micro-organismen of met vuur. Het oxideren met micro-organismen kan zowel ondergronds als 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 methaan emissies te beperken kan dit verbrand (afgefakkeld) worden, hiermee wordt CO<sub>2</sub> en waterdamp geproduceerd. Dit vermindert de CH<sub>4</sub> uitstoot. (Veehouderij en klimaat, n.d.). Zie Figuur 9 voor een schematische weergave van thermische oxidatie op de boerderij.



**Figuur 9** Het principe van thermische oxidatie op de boerderij. Figuur aangepast van (Methaanoxidatie Bij Externe Mestopslagen Met Drijfmest - WUR, n.d.).

#### 6.1.3 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

Het methaangas wordt afgefakkeld waardoor CO<sub>2</sub> 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.

## 6.1.4 Schaal van de techniek

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

## 6.2 Luchtfilter

### 6.2.1 Toepassing

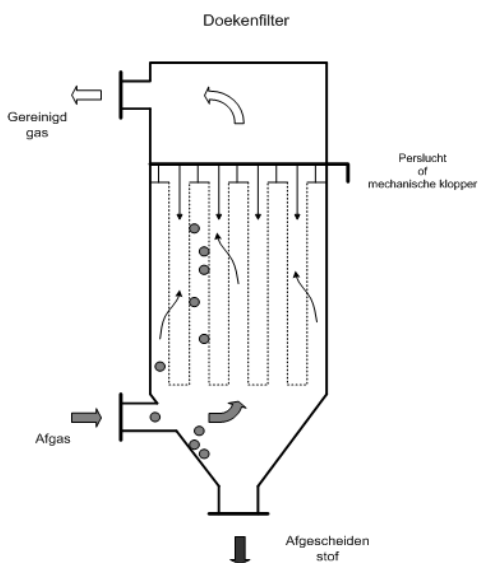
Deze behandeling is alleen van toepassing op lucht afkomstig uit mestopslag en stal. Het betreft aanvullende technieken die ingezet kunnen worden bij de mestverwerking.

### 6.2.2 Omschrijving

Er worden hier een aantal verschillende luchtfilters benoemd en omschreven, er bestaan nog meer luchtfilters die ook direct in de stallen gebruikt kunnen worden, bijvoorbeeld in varkensstallen. In werkpakket 1 wordt dieper ingegaan op emissiearme stalsystemen.

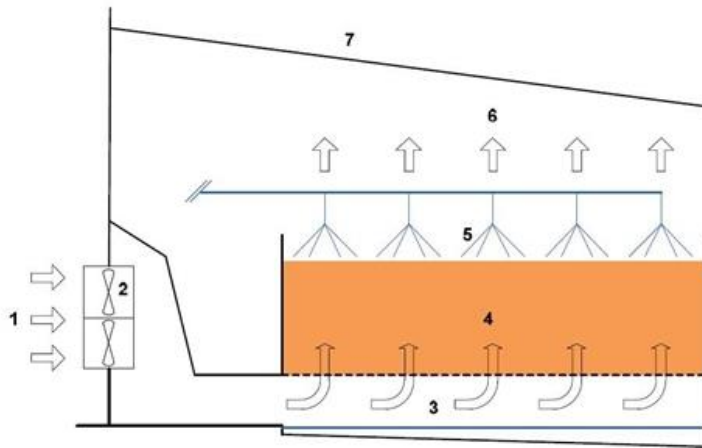
#### *Stoffilter, doekenfilter*

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, maar ook hoe sneller het filter verstopt zit. 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.

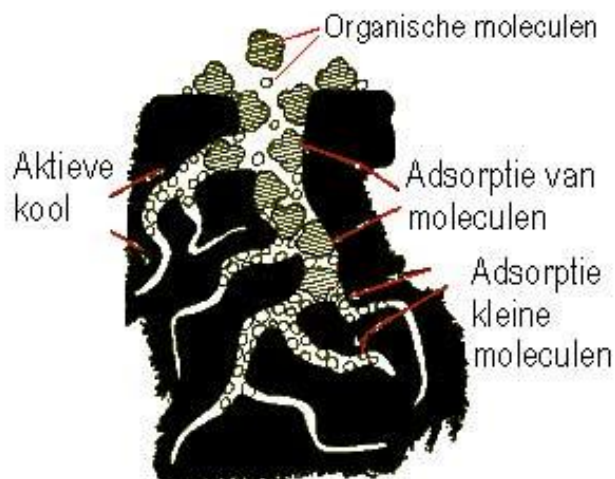


**Figuur 10** Het principe van een doekenfilter.

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



**Figuur 11** 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).



**Figuur 12** Detailprincipe van een actief koolfilter

In de lucht afkomstig van de mestopslag zit een scala aan stoffen. Bij een doekenfilter blijven de grotere moleculen en deeltjes achter in de doeken en 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% H<sub>2</sub>S is mogelijk (*Adsorptie Actief Kool/Actief Kool Filtratie/Koolfilter - Kenniscentrum InfoMil*, n.d.).

Bij een bio filter worden diverse stoffen omgezet in CO<sub>2</sub>, water en voedingsstoffen voor de micro-organismen. Uit onderzoek blijkt dat een reductie van 85% CH<sub>4</sub>, reductie van 100% NH<sub>3</sub> en een reductie van 100% H<sub>2</sub>S mogelijk is met een biofilter (Melse, 2003). Daarnaast is wordt ook de geur geneutraliseerd.

### 6.2.3 Verwachte emissies ammoniak en broeikasgassen

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

---

#### 6.2.4 Schaal van de techniek

De TRL van deze technieken is 9. Filteren is ook op bedrijfsniveau mogelijk.

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 Luchtwasser

#### 6.3.1 Toepassing

In de varkens-, vleeskalver- en pluimveehouderij worden luchtwassers op een groot aantal stallen ingezet. De luchtwassers hebben formeel vastgestelde emissie factoren.

#### 6.3.2 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.

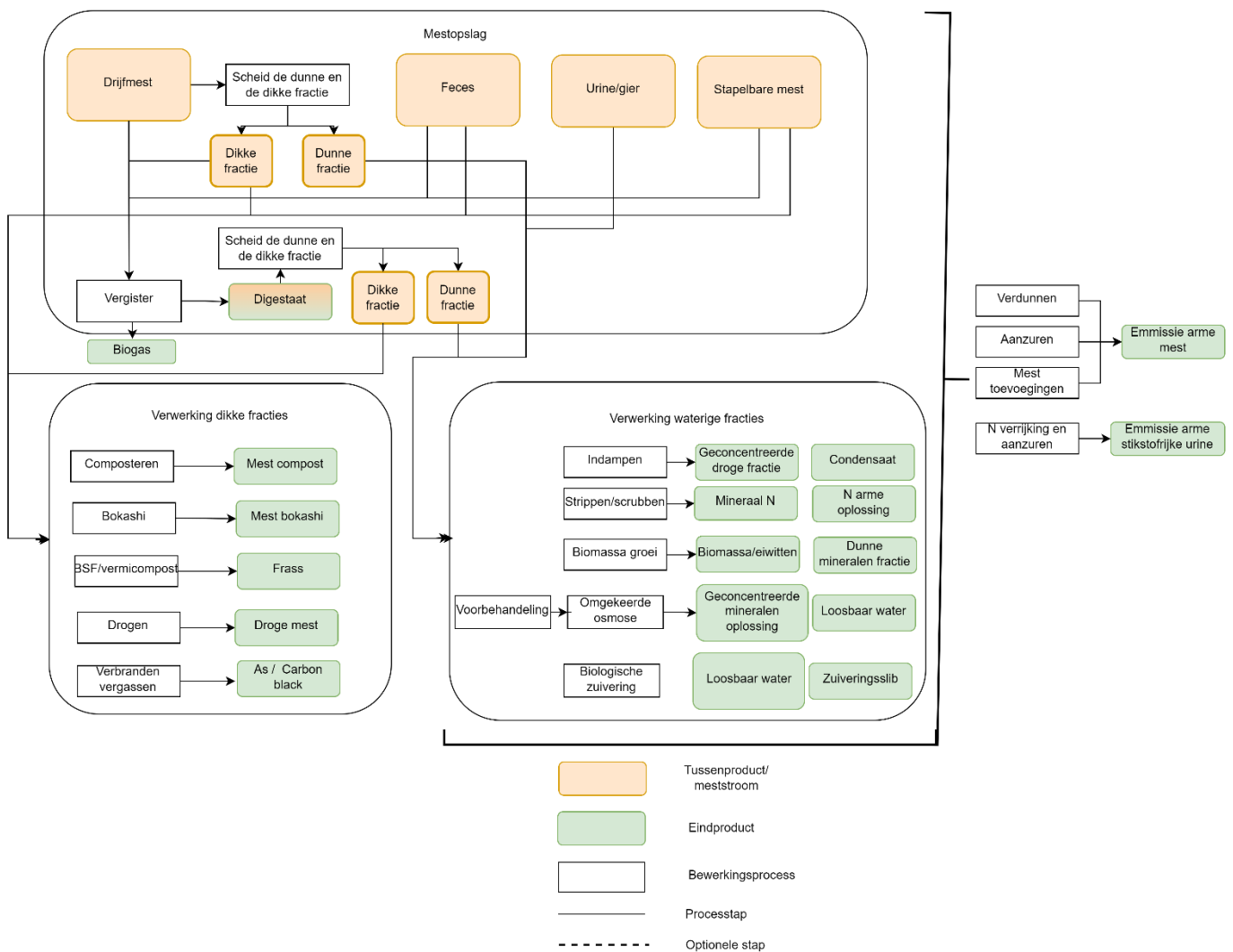
#### 6.3.3 Schaal van de techniek

Luchtwassers worden op grote schaal ingezet op boerderijen de TRL is 9.

# 7 Combinaties van technieken

Vaak worden mestbewerkingstechniek met elkaar gecombineerd om de gewenste producten te kunnen produceren. Een aantal van deze combinaties worden in dit hoofdstuk toegelicht. Er zijn uiteraard meer mogelijkheden dan in dit hoofdstuk benoemd worden (Yan et al., 2017) en zie ook figuur 17. Ook zullen nieuwe stalsystemen leiden tot andere mestproducten en daarmee ook leiden tot nieuwe kansen voor mestverwaarden. Het scheiden van feces en urine kan een mechanische scheidingsstap overbodig maken en ook de urine en feces producten verschillen met de dunne en dikke fractie die verkregen worden na mechanische scheiding.

In figuur 17 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 zuiveringsslib weer gebruikt worden voor vergisting. Ook staan er iets minder logische combinaties in door de versimpeling bijvoorbeeld: het composteren van dikke fractie van digestaat is lastiger aangezien een deel van de afbreekbare organische stof tijdens vergisting al is afgebroken.



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

---

## 7.1 Stalsysteem en mestverwerking

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

### *Kelderafzuiging*

Zo'n combinatie van technieken die momenteel in praktijk draait is de LelySphere. De LelySphere scheidt feces en urine direct in de stal, doormiddel van separatiestrips op de roostervloer. 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 voor minder N-uitstoot. Met een mestrobot wordt de feces in een kelder geschoven. De opening bevat een sifon waardoor de mestkelder van de lucht afgesloten is. Daarnaast wordt met een ventilatie unit een onderdruk in de kelder gecreëerd. Door deze onderdruk wordt de lucht in de kelder en boven de separatiestrips op de roostervloer afgezogen. Deze lucht gaat via een luchtwasser 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, met daarnaast minder stikstofuitstoot. Op de verkregen mestfracties kunnen verdere mestbewerkingen worden ingezet.

### *Biologische zuivering en mest verdunnen*

Een volledig biologische oplossing voor het mestprobleem kan worden gevonden bij Kamplan, met het Total Circular Farm Concept (TCFC). In de stallen wordt gebruik gemaakt van een spoelsysteem, wat de ammonificatie (het omzetten van opgelost ammonium in ammoniakgas) tegengaat. Er wordt een laag geurloos water in de put of spoelgoot gezet, waardoor mest 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. Hier wordt het ammonium omgezet in stikstofgas (N<sub>2</sub>) met behulp van de natuurlijke biologische processen, nitrificatie (ammonium wordt omgezet naar nitraat) en denitrificatie (nitraat wordt omgezet naar stikstofgas). Als laatste wordt het geurloos water uit het proces gescheiden door middel van een MBR (Membraan Bio Reactor). Het resultaat is een gehygiëniseerde vloeistof vrij van bacteriën, stikstof en geur, 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.

### *Verse mest vergisten*

Een laatste praktijkvoorbeeld van mest behandeling combinaties, is het initiatief Jumpstart van Friesland Campina. In dit initiatief draagt de melkveehouder bij aan de Nationale energie transitie door enerzijds de productie van biogas, en anderzijds door de reductie van stikstof uitstoot. De verse mest uit de stal wordt direct afgevoerd naar een monomestvergister op het boerenbedrijf, waar de mest vergist wordt tot biogas. Het biogas wordt direct naar de procescontainer gepompt, waar het wordt omgezet in elektriciteit. 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 groen stroom zijn minimaal 175 koeien nodig, voor groen gas gaat het Jumpstart initiatief uit van minimaal 300 koeien.

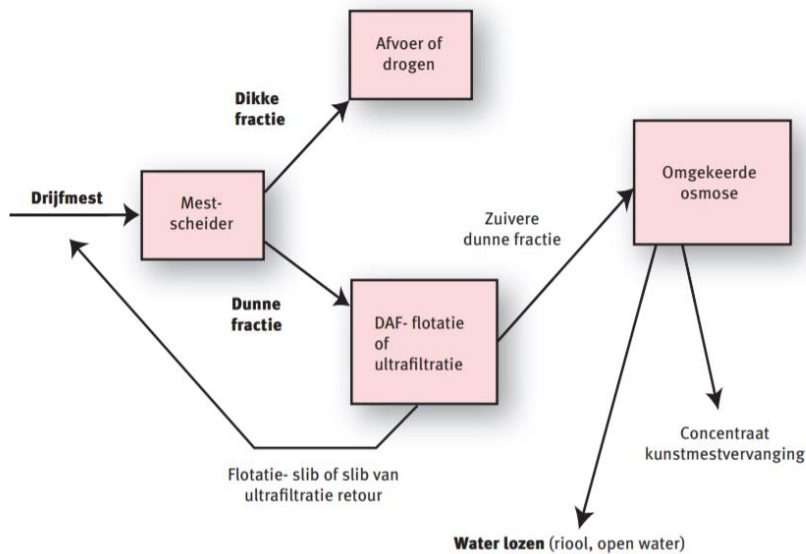
## 7.2 RENURE

Een drijfveer voor mestverwerking op de boerderij kan het maken van stikstof kunstmestvervangers 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.

### *Mineralen concentraat*



Een andere combinatie van technieken wordt gebruikt om een mineralenconcentraat te verkrijgen vanuit drijfmest. Voor deze omzetting wordt mechanische scheiding gecombineerd met DAF flotatie van de dunne fractie en gevolgd door omgekeerde osmose, om een zo geconcentreerd mogelijke mineralen fractie 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, om een geconcentreerder minerale fractie en een zuivere waterfractie te verkrijgen (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 voor het geschikt is voor omgekeerde osmose. Dit wordt gedaan door middel van dissolved air flotation (DAF). Zie paragraaf 5.6 voor meer informatie over deze behandeling. De slib drijfslag wordt van de flotatie kolom afgescheept. Deze drijfslag is qua samenstelling vergelijkbaar met drijfmest, en de slib drijfslag kan 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 mineralen stroom overblijft. Als dit mineralen concentraat 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 is.

#### 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  $\leq 3$  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.



---

## 8 Conclusie

Met deze studie is een eerste inventarisatie uitgevoerd naar mogelijke mestbewerkingstechnieken die in te zetten zijn om de koppeling tussen mestproducten uit de stal en de toe te passen bemestingsproducten beter aan te laten sluiten bij de behoeften van bodem en plant.

In dit rapport zijn mestbewerkingssystemen om hoogwaardige mestproducten te produceren besproken, zowel chemische, biologische en fysische behandelingen met de focus op boerderijschaalsystemen. Op alle mogelijke meststromen zijn meerdere technieken toepasbaar met bijbehorende voor- en nadelen. 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 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 en bij ontbreken van gegevens zal praktijkonderzoek uitgevoerd 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/>
- Biogas – Siseng Consulting. (n.d.). Retrieved November 8, 2021, from <http://sisengconsulting.com.ng/biogas/>
- Bodde, R. (2020). *Aantal vergisters Jumpstart verviervoudigt in 2020 - Boerderij*. <https://www.boerderij.nl/aantal-vergisters-jumpstart-verviervoudigt-in-2020>
- Borneman, Z., & Nijmijer, 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>
- 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>
- Composting Livestock or Poultry Manure – Livestock and Poultry Environmental Learning Community. (n.d.). Retrieved November 11, 2021, from <https://lpelc.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*.
- 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., 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>
- 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*.
- Huurman, S., Van Der Weide, R., & Van Dijk, W. (2013). *Cultivation of aquatic plants on cow manure digestate A technical report*. [www.acres.nl](http://www.acres.nl)
- 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*.
- Kool Maikel Timmerman, A., de Boer, H., van Dooren Bas van Dun, H.-J., & Tijmensen, M. (2005). *Kennisbundeling covergisting*.
- Leenstra, F., Vellinga, T., Neijenhuis, F., de Buissonjé, F., & Gollenbeek, L. (2019). *Mest: Een waardevolle grondstof*. Wageningen UR Livestock Research.
- s
- 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](http://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](http://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>
- 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>
- 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](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-organismen\\_in\\_de\\_akkerbouw](https://www.researchgate.net/publication/239849639_Effect_van_toepassing_effectieve_micro-organismen_in_de_akkerbouw)
- 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.nl](http://www.acres.nl)
- 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., Bussmann, 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>

# 10 Appendix

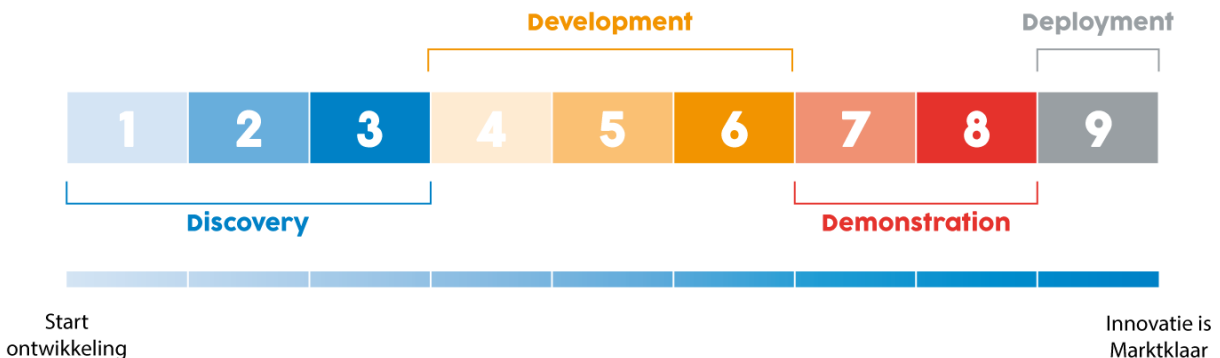
## A Overzicht van technieken met bijbehorende TRL en met verwijzingen naar meer informatie over technieken die niet in dit overzichtsrapport zijn opgenomen

Methode	Techniek	TRL	Bronnen voor meer info
Chemische behandelingen			
	Strippen en Scrubben	9	
	Verdunnen en aanzuren van drijfmest	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, <a href="https://data.rvo.nl/subsidies-regelingen/projecten/green-stock-energy">https://data.rvo.nl/subsidies-regelingen/projecten/green-stock-energy</a>
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	
	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</i> , 2020)

Luchtbehandelingen	Luchtfilter	9	
	Verdampen/indampen/ hygiëniseren	9	
	Mechanische damprecompressie	6	(Nico Verdoes et al., 2021)
	Thermische damprecompressie	6	(Nico Verdoes et al., 2021)
	Vrieskristallisatie	6	(Nico Verdoes et al., 2021)
	Methaan oxidatie	8	
	Korrelen	9	

## 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).



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](http://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.

---