



Overzicht en beoordeling van technologie voor verwaarden van mest

rapportage WP 2 NL Next Level Mestverwaarden

Nico Verdoes, Rik Maasdam, Roland Melse, Jos van Gastel, Luuk Gollenbeek,
Paul Bussmann, Jan Schellekens en Jan Roefs

Rapport 1290



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Overzicht en beoordeling van technologie voor verwaarden van mest

rapportage WP 2 NL Next Level Mestverwaarden

Nico Verdoes¹, Rik Maasdam¹, Roland Melse¹, Jos van Gastel², Luuk Gollenbeek¹, Paul Bussmann³, Jan Schellekens⁴, Jan Roefs⁵

1 Wageningen Livestock Research

2 Promillicon

3 Wageningen Food & Biobased Research

4 Agrifirm NWE, Exlan Advies

5 Nederlands Centrum voor Mestverwaarding

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van de PPS NL Next Level Mestverwaarden, gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Agrifirm, Darling Ingredients, FrieslandCampina, De Heus Voeders, ForFarmers en Van Drie Group

Wageningen Livestock Research

Wageningen, januari 2021

Openbaar

Rapport 1290

Verdoes, N., R. Maasdam, R.W. Melse, J.P.B.F. van Gastel, L.R. Gollenbeek, P. Bussmann, J.J.M. Schellekens en J. Roefs, 2021. *Overzicht en beoordeling van vernieuwde technologie voor verwaarden van mest*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1290.

Samenvatting NL

In deze rapportage is geïnventariseerd welke bestaande en nieuwe technologie perspectief biedt voor toepassing in productieprocessen voor het verwaarden van mest en welke knelpunten optreden bij de implementatie van deze technologie. Technieken zijn beschreven, beoordeeld en ingedeeld in de volgende categorieën: reguliere technieken, technieken met hoogwaardige producten buiten de mestmarkt, optimalisaties van bekende mestverwerking en doorbraaktechnieken. De technieken in de categorieën optimalisaties en doorbraaktechnieken zijn door experts beoordeeld. Geformuleerd is welke technieken nader onderzoek verdienen. De voorliggende inventarisatie levert een breed scala aan technieken op waarvan de implementatie sterk afhangt van de beleids- en marktomstandigheden, en van het doel waarvoor men ze wil inzetten.

Summary UK

In this report an inventory has been conducted which current and new technology has perspective for application in production processes for the valorisation of manure and which bottlenecks occur in the implementation of the technology. Subsequently, all techniques were described, assessed and divided into regular techniques, techniques with high-quality products outside the agricultural market, optimisations of already used manure processing and breakthrough techniques. The optimizations and breakthrough techniques have been subjected to an expert judgement. It has been formulated which techniques deserve further research. The inventory showed a wide range of techniques, but implementation strongly depends on policy and market conditions and on the purpose for which they have to be used.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/539373> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2021

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

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

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

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

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1290.

Inhoud

	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Kader van deze studie	9
	1.2 Doel van de studie	10
	1.3 Inhoud van het rapport	10
	1.4 Technology Readiness Level	10
2	Knelpunten implementatie en ontwikkeling	12
	2.1 Knelpunten bij implementatie van verwerking van mest	12
	2.2 Ontwikkelpunten bij implementatie PMC's	13
3	Indeling van technieken	14
	3.1 Inventarisatie technologieën	14
	3.2 Gebruikte technieken in de PMC's	14
	3.3 Technieken niet passend in de PMC's	14
	3.4 Hoogwaardige producten breder dan bemesting	15
4	Optimalisatie- en doorbraaktechnieken voor de PMC's	16
	4.1 Gewenst voor de PMC's	16
	4.2 Optimalisatie- en doorbraaktechnieken	18
	4.3 Beoordeling optimalisatie- of doorbraaktechnieken	19
	4.4 Uitwerking van de doorbraaktechnieken	21
	4.4.1 Ortho-fosfaten winning: fosfaat neerslaan met ijzercomplexen	21
	4.4.2 Mineraal N-product >15-20% N: Forward osmose	22
	4.4.3 Mineraal N-product >15-20% N en mineraal K product: Ammoniakextractie uit dierlijke mest	22
	4.4.4 Mineraal N-product: Ammoniak recovery technologie (ART)	22
	4.4.5 Biogas productie: Autogenerative High Pressure Digestion (AHPD)	22
	4.4.6 Ontwatering van mest: Electro osmotic dewatering	22
5	Discussie en conclusies	24
	5.1 Momentopname	24
	5.2 Beoordeling	24
	5.3 Andere sectoren	24
	5.4 Hoogwaardige producten	24
	5.5 Conclusies	24
6	Vervolgonderzoek	26
	6.1 Plaats van technieken in het project	26
	6.2 Invloed van beleid	26
	6.3 Criteria voor uitwerking technieken	26
	Literatuur	28
	Bijlage 1 Indeling van technieken	29

Bijlage 2	Technieken in processchema's van huidige PMC's	30
Bijlage 3	Technieken die niet in huidige PMC processchema's passen	31
Bijlage 4	Technieken met producten buiten de landbouwkundige toepassing	32
Bijlage 5	Format van beschrijvingen technieken	33
Bijlage 6	Beschrijvingen van optimalisatie technieken	34
Bijlage 7	Beschrijvingen van doorbraak technieken	46

Woord vooraf

De Nederlandse veehouderij produceert niet alleen hoogstaande producten zoals vlees en zuivel, maar ook de waardevolle grondstof mest. Dierlijke mest van goede kwaliteit is met name van groot belang voor het sluiten van kringlopen, in een klimaatvriendelijke, circulaire voedselproductie. Zes bedrijven in de agrarische sector (Agrifirm, Darling Ingredients International, ForFarmers, Royal Friesland Campina, Van Drie Group en De Heus) hebben, samen met Wageningen University & Research, het Nederlands Centrum Mestverwaarding (NCM) en het ministerie van LNV, de handschoen opgepakt om tot een transitie van mest en bemesting naar mestproduct te komen. Deze transitie is gericht op het verwaarden van mest tot marktrijpe organische en anorganische bemestingsproducten, voor afzet in de land- en tuinbouw, in Nederland en daarbuiten.

Het onderzoeksprogramma NL Next Level Mest Verwaarden is een Publiek Private Samenwerking (PPS), waarbij het ministerie van LNV en de 6 genoemde bedrijven financieren. Het programma kent 4 werkpakketten (WP):

1. WP1: Kwaliteitseisen specificeren voor marktwaardige, emissiearme bemestingsproducten;
2. WP2: Technologieën opschalen waarmee die producten kunnen worden geproduceerd;
3. WP3: Op boerderijniveau maatregelen nemen om gewenste grondstoffen voor mestverwaarding te leveren;
4. WP4: Komen tot een duurzame, transparante en betrouwbare 'mestketen'.

Het onderzoek dat nu gerapporteerd wordt, behoort tot werkpakket 2 en is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, Promillicon, Wageningen Food and Biobased Research, Agrifirm NWE, Exlan Advies en NCM. Deze studie is in 2019 geleid door Peter Schepers en Dries van den Elzen (beide voorheen Exlan Advies), waarvoor dank. De auteurs danken de financiers voor hun deskundige en waardevolle bijdrage in het onderzoek. Dat geldt ook voor alle mensen en personen die in het kader van deze studie zijn geconsulteerd.

namens het onderzoeksteam:

Nico Verdoes, projectleider

Samenvatting

In Van Dijk et al. (2020) zijn meerdere product-markt-combinaties (PMC's) geformuleerd voor bemestingsproducten bereid uit dierlijke mest. Op basis van de landbouwkundige behoefte aan nutriënten en organische stof in landbouwgebieden in Europa, zijn de samenstellingen van bemestingsproducten beschreven waarvoor een grote markt bestaat. Om de producten van de PMC's te kunnen produceren zijn verschillende mestvervaardigingstechnologieën nodig. Bij veel van deze technologieën is nog ruimte voor verbetering. Voor de bestaande mestverwerking zijn de knelpunten beoordeeld waaraan gewerkt moet worden om een geslaagde transitie naar next level mestverwaarden mogelijk te maken. Eerst is een algemene inventarisatie uitgevoerd naar welke knelpunten aanwezig zijn bij de implementatie van mestvervaardigingstechnologie. Vervolgens is voor elk eindproduct van de geformuleerde PMC routes aangegeven welke specifieke knelpunten moeten worden opgelost om deze eindproducten te produceren dan wel het proces goedkoper te maken.

Aan de hand van een inventarisatie van huidige technieken (op de markt beschikbaar en opkomend vanuit o.a. start-ups), informatie vanuit het NCM, en het Europese Horizon 2020 project Nutriman, is een groslijst van bestaande en vernieuwende technieken opgesteld. Van deze technieken is een beschrijving gemaakt (met technische kenmerken, voordelen, nadelen, knelpunten, kansen, etc.) en is de Technology Readiness Level (TRL) ingeschat volgens een vast format. Waar mogelijk is overleg geweest met de leverancier van de techniek.

Uit de groslijst van in totaal 66 technieken zijn de meest perspectiefvolle technieken ingedeeld in de categorieën 'optimalisatie technieken' (technieken die kunnen leiden tot efficiëntie verhoging bij de vastgestelde PMC's) en 'doorbraaktechnieken' (technieken die algemeen van invloed kunnen zijn op de manier van mestverwerking). Alle technieken zijn kwalitatief beoordeeld door de projectgroep voor toepassing binnen één van de procesroutes van de geformuleerde PMC's ten aanzien van: vertrouwen in de werking van de techniek in de mestverwerking, invloed op de kosten in de PMC en technische haalbaarheid voor de verwerking van 250.000 ton mest per jaar.

De PMC's zijn gebaseerd op bewezen technieken, echter niet alle producten kunnen hiermee van gewenste kwaliteit of tegen gewenste kosten worden geproduceerd. Optimalisaties van toegepaste technologieën zijn mogelijk, maar de effecten daarvan op een betere werking en een lagere kostprijs zijn marginaal (Gollenbeek et al., 2020).

Uit de beoordelingen komen 3 perspectiefvolle doorbraaktechnieken naar voren die rijp zijn voor vervolgonderzoek:

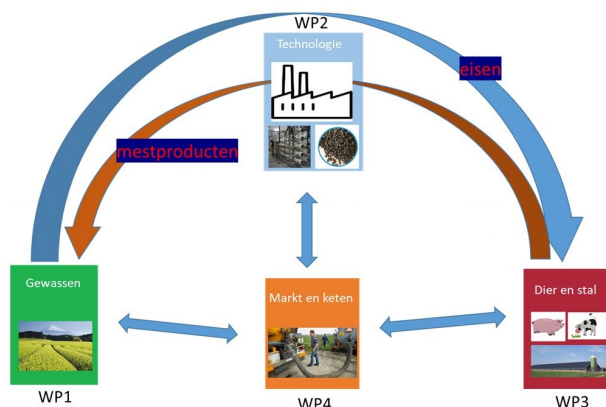
- i. ijzercomplex formatie om fosfaat (P_2O_5) te extraheren met terugwinning en hergebruik van ijzer ionen (omdat er geen zuur noodzakelijk is om P te laten neerslaan en de Fe kan worden teruggewonnen),
- ii. ammoniakextractie met behulp van elektrolyse (omdat ammoniak op een energiezuinige manier en zonder hulpstoffen kan worden verwijderd) en
- iii. forward osmose (omdat verdere concentratie van het concentraat mogelijk is dan bij omgekeerde osmose met lagere energiekosten).

Deze doorbraaktechnieken (met over het algemeen nog een lage TRL) verdienen nader onderzoek zodat een betere inschatting kan worden gemaakt van de toegevoegde waarde aan het verwaarden van mest.

1 Inleiding

1.1 Kader van deze studie

Deze studie is verricht in het kader van het onderzoeksprogramma NL Next Level Mestverwaarden (2019-2022). De geformuleerde werkpakketten daarin zijn schematisch weergegeven in figuur 1.1.



Figuur 1.1 Schematische weergave van werkpakketten in programma Next Level Mest Verwaarden

Om dierlijke mest tot waarde te brengen worden in het programma de volgende vragen behandeld:

- WP1 Gewassen: welke product-markt-combinaties (PMC's) hebben – landbouwkundig gezien - toekomst in binnen- en buitenland?
- WP2 Technologie: welke technologie en technologische ontwikkelingen zijn nodig om die producten te maken?
- WP3 Dier en stal: welke behandeling van mest op de boerderij is nodig om een goede grondstof te zijn voor hoogwaardige producten?
- WP4 Markt en keten: welke interventies zijn nodig in de huidige markt en mestketen om een stabiele mest verwaardingsketen te ontwikkelen?

In WP2 zijn in de periode medio 2019 tot medio 2020 de volgende deelstudies verricht:

1. Van de geformuleerde PMC's (Van Dijk et al., 2020) zijn de massabalansen uitgewerkt. Ook zijn de productiekosten berekend en is een kwalitatieve beoordeling gemaakt van de PMC's ten aanzien van duurzaamheid (Gollenbeek et al., 2020). Dit betreft dus zowel de organische-stofrijke producten (met tenminste 60% droge stof), als de vloeibare mineraal concentraten voor bemesting op maat.
2. De Technische Universiteit in Eindhoven (TU/e) heeft onderzoek gedaan naar de optimalisatie van omgekeerde-osmose-technologie (vervuiling, engineering en processing) om mineralenconcentraten te bereiden (Nijmeijer en Borneman, 2021). Dit betreft de N en K-mineralenconcentraten die bij de huidige pilots in de praktijk worden geproduceerd. Het doel hierbij is om zowel de capaciteit, de kosten als ook de kwaliteit van de geproduceerde concentraten te verbeteren. Hiermee kunnen bestaande mestverwerkingsbedrijven hun voordeel doen in het aantrekkelijker maken van mestverwerking.
3. Een inventarisatie van mestverwerkingstechnologie en de knelpunten. Gevolgd door een onderzoek naar doorbraaktechnieken, eventueel in te zetten in de PMC's om die te verbeteren of te innoveren.

Dit rapport beschrijft de 3e deelstudie.

1.2 Doel van de studie

Het doel van deze studie is om een overzicht te krijgen van bestaande en vernieuwende technologie (en de knelpunten/kansen) bij verwerkers en om op basis daarvan met een assessment te komen tot een selectie van veelbelovende technieken (geïnterpreteerd bij mestverwerkingsinitiatieven en start-ups), die een doorbraak zouden kunnen betekenen in vooraf geformuleerde PMC's ter bereiding van waardevolle mestproducten.

1.3 Inhoud van het rapport

In dit rapport is opgenomen:

- Een overzicht van geïdentificeerde knelpunten (zowel technisch als niet technisch) van de meest gangbare bestaande operationele mestverwerkingstechnieken, gevolgd door een samenvatting van de knelpunten die van toepassing zijn op de PMC's uit Van Dijk et al., (2020).
- Een overzicht van bestaande en opkomende technologieën voor het verwaarden van mest. Dit overzicht kent de volgende categorieën:
 - o Gebruikte technieken voor de PMC's: Dit zijn technieken met een hoge Technology Readiness Level (TRL, zie 1.4), die al worden toegepast in de huidige verwerking van mest.
 - o Niet passende technieken: Dit zijn technieken die niet toegepast kunnen worden in de PMC's; per techniek is aangegeven wat de reden hiervoor is.
 - o Technieken voor hoogwaardige producten: Dit zijn technieken voor producten die worden toegepast buiten de landbouw.
 - o Optimalisatie technieken: Dit zijn technieken die nu nog niet op grote schaal worden toegepast in de mestverwerking maar wel passen in de opgestelde PMC's en dan huidige technieken kunnen vervangen.
 - o Doorbraaktechnieken: dit zijn nieuwere technieken, over het algemeen een lagere TRL, die in de PMC's producten kunnen produceren van hogere kwaliteit (meerwaarde) of voor een goedkopere prijs (vermindering proceskosten).
- De optimalisatie technieken en doorbraaktechnieken zijn beoordeeld op grond van het vertrouwen in technische haalbaarheid en een inschatting van kosten en opschaalbaarheid naar 250.000 ton per jaar mestverwerking.

1.4 Technology Readiness Level

Bij de ontwikkeling van een technologie worden verschillende stadia doorlopen, die uit te drukken zijn in de Technology Readiness Level (TRL). Bij de beoordeling van mestverwerkingstechnieken is van belang om te weten of een techniek klaar is voor implementatie of dat nog extra onderzoek is vereist. De Europese Commissie heeft de Readiness Levels (TRL, EU, 2019) als volgt gedefinieerd:

1. Basic principles observed

Dit is het onderzoek naar het innovatieve idee en de basisprincipes van de innovatie; het fundamenteel onderzoek en deskresearch.

2. Technology concept formulated

De basisprincipes zijn bekend en in deze fase worden het technologisch concept en de praktische toepassingen onderzocht. De fase wordt gekenmerkt door experimenteel en/of analytisch onderzoek.

3. Experimental proof of concept

Experimenteel wordt de toepasbaarheid van het concept onderzocht (experimenteel proof of concept). Hypothesen worden getoetst en gevalideerd over verschillende componenten van het concept.

4. Technology validated in lab

Het Proof-of-concept van de innovatie wordt op labschaal getest. Het design, de ontwikkeling en het testen van technologische componenten vinden plaats in een labomgeving. Technische basiscomponenten worden met elkaar getest om de werking te garanderen. Een prototype dat in deze fase wordt ontwikkeld, kost relatief weinig geld en tijd om te ontwikkelen en is daarmee nog ver verwijderd van een definitief product of proces.

5. Technology validated in relevant environment

De technologie is getest en gevalideerd in een relevante omgeving. Dit is de eerste stap in de demonstratie van de technologie. Een prototype dat in deze fase wordt ontwikkeld, kost relatief veel tijd en geld en is niet ver verwijderd van het uiteindelijke product of systeem.

6. Technology demonstrated in relevant environment

De werking van de technologie wordt in een relevante omgeving gedemonstreerd. De prestaties van het prototype zijn nog niet geoptimaliseerd voor de operationele omgeving. Met behulp van deze demonstratie wordt het technisch werkingsprincipe aangetoond.

7. System prototype demonstration in operational environment

De technologie is geïntegreerd in de uiteindelijke operationele omgeving. De demonstratie van het concept in een praktijkomgeving levert nieuwe inzichten op voor de definitieve markttoepassing van de innovatie.

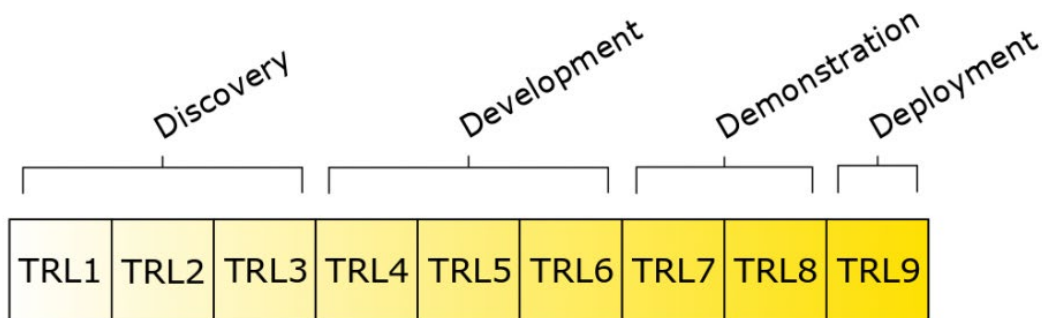
8. System complete and qualified

De technologie presteert naar behoren en de laatste productieproblemen zijn opgelost. In deze fase krijgt zijn definitieve vorm. De technologische werking is getest en het is bewezen dat het voldoet aan gestelde verwachtingen, kwalificaties en normen (certificering). Daarnaast zijn de financiële kaders voor (massa)productie en lancering bekend.

9. Actual system proven in operational environment

De technologie is technisch en commercieel gereed. De volgende stappen zijn productie en marktintroductie.

Deze indeling maakt ook duidelijk waar er ontwikkelingstrajecten met bedrijven/gebruikers gestart kunnen worden en waar er nog veel meer (onderzoek) nodig is om naar de markt te gaan. In figuur 2.1 is bovenstaande beschrijving inzichtelijk gemaakt.



Figuur 2.1 Overzicht van de TRL fases van technieken

2 Knelpunten implementatie en ontwikkeling

2.1 Knelpunten bij implementatie van verwerking van mest

In gesprekken met diverse initiatiefnemers van mestverwerking, adviseurs, wetenschappers, pioniers en consortiumpartners zijn knelpunten in concrete mestverwerkingsinitiatieven geanalyseerd, zowel op technisch als niet technisch vlak. Nieuwe technieken kunnen veel van de technische knelpunten wegnemen maar ook de algemene knelpunten moeten worden opgelost om een geslaagde transitie naar next level mestverwaarding te realiseren. De knelpunten zijn onderstaand puntsgewijs samengevat en staan vaak met elkaar in verband.

- Maatschappelijke acceptatie
 - Veiligheid, volksgezondheid.
 - Milieuaspecten, hinder/geuroverlast (license to produce).
 - Emoties overheersen in plaats van feiten.
 - Onbekendheid/onwetendheid materie.
- Vergunningen / planologie / wetgeving
 - Procedure lengte (duurt erg lang, vaak jaren).
 - Ontbreken van een uniform landelijk beleid.
 - Juridisch kader versus politieke besluitvorming.
 - Meststoffenwetgeving in relatie tot kunstmeststoffen.
 - Afhankelijkheid wetgeving/acceptatie mestproducten in afzetgebieden in buitenland (Europese regelgeving).
- Aanpak
 - Vooralsnog een benadering vanuit het aanbod en niet vanuit de vraag.
 - Tot voor kort ontbreken van een centraal aanspreekpunt/kenniscentrum voor verwerking en valorisatie van mest (nu heeft NCM deze rol).
 - Voor structurele oplossingen mestproblematiek is minimale schaalgrootte absolute must (substantiële omvang is noodzaak voor kosten reductie, marktontwikkeling, professionalisering, logistiek ed.).
 - De mestverwaardingsbranche heeft behoefte aan verdere professionalisering op het gebied van veiligheid, arbo, certificering en milieu (o.a. ISO 14.001).
- Technologie
 - Behoefte aan specifieke technologische kennis bij verwerkers.
 - Behoefte aan samenwerking tussen verwerkers en leveranciers.
 - Er kan beter gebruik worden gemaakt van technologiekennis die beschikbaar is in andere sectoren. Specifieke mestverwerkingstechnologie moet nog een ontwikkeling doormaken. Dit gebeurt nu meestal met 'trial and error' bij een verwerker.
 - Geen structurele aanpak, zoals wel gevonden wordt bij industriële en/of chemische bedrijven.
 - Nog onvoldoende perspectief en mogelijkheden om selectief mineralen te concentreren/isoleren. Technologie ontbreekt of is nog onvoldoende ontwikkeld.
- Afzet producten
 - Onvoldoende aandacht voor aanwezige contaminanten (antibiotica-resten, hormonen e.d.).
 - Onbekendheid met inzetbaarheid van halfproducten en producten uit mestverwerking voor toepassingen buiten de agrarische sector (bijv. ammoniakwater in rookgasreiniging, filtermaterialen, energiedrager).
 - Onvoldoende aansluiting bij de kunstmestindustrie, daar waar nu meer behoefte ontstaat voor diverse (stromen) uit de mestverwerking.

- Verschijningsvorm en aard van het mestproduct sluit nog onvoldoende aan bij de bestaande technologieën van aanwending in de afzetgebieden en is nog onvoldoende afgestemd op de teelten in de afzetgebieden.
- Invloed co-producten op samenstelling eindproducten. De toepassing van allerlei co-producten met diverse mineralen maar ook contaminanten kan invloed hebben op de gewenste samenstelling van de eindproducten.
- Toepassing van veel hulpstoffen kan de kwaliteit van processen en producten beïnvloeden (toevoeging van o.a. vlokmiddelen en polymeren).
- Economie
 - Focus ligt vooral op volumevermindering en kostenminimalisatie en minder op de meerwaarde van de eindproducten (mestverwaarding).
 - Afhankelijkheid van subsidies en het moeten voldoen aan mestregelgeving (afvoeren N en P overschot).
 - Tegenvallende operationele kosten, door bijv. extra hulpstoffen, extra energiekosten, niet optimaal functionerende technologie (niet optimaal ontwerpkeuze technologie).
 - Waarde van het verkregen biogas/bio-LNG kan bepalend worden voor de verwerking/Opex gerelateerd. Bepalen of vergisting al dan niet wordt toegepast, uit omgevingsoogpunt bijvoorbeeld doordat minder geuremissie van producten optreedt, uit technisch oogpunt doordat bijvoorbeeld een betere afscheiding van mineralen mogelijk wordt of bijvoorbeeld uit klimaat-technisch oogpunt doordat minder broeikasgas emissies optreden (methaanemissie reductie).

2.2 Ontwikkelpunten bij implementatie PMC's

Bij het inventariseren van knelpunten (zie 2.1), kwamen ook meer (technisch) inhoudelijke bottlenecks aan de orde als ook witte vlekken die van belang zijn bij het verwezenlijken van de geformuleerde product-markt-combinaties (Van Dijk et al., 2020). Meer in bijzonder:

- Dunne fracties
 - Behoeftte aan verdere ontwikkeling van een robuust en goedkoop ontwateringsprocedé.
 - Behoeftte aan verdere ontwikkeling van selectief verwijderen van mineralen, die later geleverd kunnen worden voor productie van meststoffen op maat of als halffabricaat aan de kunstmestindustrie.
 - Behoeftte aan kennis van aanwezigheid, gevolgen en mogelijkheden verwijdering van contaminanten: zware metalen, antibiotica resten, zouten, hormonen.
 - Meer inzicht in de mogelijkheden van hergebruik en lozing van waterige stromen.
 - Ontwikkelen van geschikte aanwendapparatuur, met name voor akkerbouw en tuinbouw.
 - Het verkrijgen van de RENURE-status (kunstmestvervangers).
- Verwerking van dikke fracties/as
 - Onvoldoende kennis van P-recovery. Extraheren van fosfaat uit organische fracties is nog onvoldoende getest in praktijk.
 - Het ontbreken van een algemene bodemverbeteraar met weinig mineralen die als basis kan dienen ter verhoging van de bodemvruchtbaarheid.
 - Bij de aanwending van de innovatieve mestproducten is soms andere technologie nodig, of mengapparatuur. Deze moet dan ook ontwikkeld worden.
- Organisatie
 - Creëren van een platform t.b.v. co-creatie en ecosysteemontwikkeling. Belangrijk is het stimuleren en organiseren van de samenwerking tussen partijen. Het samenbrengen van (versnipperde) kennis om technieken op een hogere Technology Readiness Level (TRL) te brengen en innovaties te versnellen.
 - Wanneer een technologie haalbaar blijkt te zijn, zijn in de implementatiefase normen (wetgeving) noodzakelijk voor de kwaliteit van het eindproduct / co-producten.

3 Indeling van technieken

Alhoewel het logisch lijkt dat rundveemest zo veel mogelijk door kringloopsluiting op het eigen (grondgebonden) rundveebedrijf of lokaal/regionaal zal worden aangewend (dit is ook de inzet bij Herziening van het mestbeleid, oktober 2020, LNV) en varkensmest van intensieve varkensbedrijven veelal zal worden verwerkt, worden de PMC's met bijbehorende keten ingericht op de marktvaart van de eindproducten; dat bepaalt welke mestsoort uiteindelijk zal worden verwerkt. Daarnaast zijn er echter ook andere redenen (aanbod mestmarkt, concentratiegebieden) om prioriteit te geven aan verwerking van varkensmest in gecentraliseerde units. Bij het beoordelen van technieken wordt daar de focus op gelegd.

3.1 Inventarisatie technologieën

In de gesprekken met mestverwerkers en bij de inventarisatie van de knelpunten (zie 2.1) is als startpunt gebruik gemaakt van de hier gepresenteerde indeling van mogelijke technieken (zie ook bijlage 1). Vervolgens is uit verschillende bronnen een brede lijst aan verscheidene (potentiële) mestverwerkingstechnologieën samengesteld, met name:

- Informatie NCM (2019): In het kader van de door het NCM uit te voeren jaarlijkse inventarisatie mestverwerkingscapaciteit was informatie beschikbaar over initiatieven die zich bezig (gaan) houden met mestverwerking en de daarbij gebaseerde technieken;
- Informatie Europese Horizon 2020 project Nutriman (Nutriënt Management and Nutriënt Recovery Thematic Network, Program European Union Horizon 2020, www.nutriman.net): een uitgebreide Europese inventarisatie van technologie voor mestverwerking is uitgevoerd (RUR-15-2018). Het betreft technieken met een hoog TRL niveau (6-9), dus gereed voor introductie in de praktijk of reeds gebruikt in de praktijk.
- Aanvullende literatuur.

De verkregen informatie is vervolgens gebundeld in een groslijst. De bijbehorende karakteristieken en bronmateriaal van de technieken zijn samengevoegd en op basis van expertbeoordeling in 4 categorieën opgedeeld (3.2 t/m 3.4 en hoofdstuk 4). De TRL voor alle technieken zijn ingeschat door de projectgroep.

3.2 Gebruikte technieken in de PMC's

In Van Dijk et al. (2020) zijn zeven perspectievolle product-markt-combinaties gedefinieerd voor bemestingsproducten uit dierlijke mest. In de rapportage van Gollenbeek et al. (2020) zijn bij de verdere uitwerking de technieken gekozen die reeds beschikbaar zijn of waarvan kennis bestond (scheiden, vergisten, indampen, omgekeerde osmose, strippen, beluchten etc.) Dit zijn bestaande en bewezen (conventionele) technieken met een TRL van 6-9. Een lijst van deze technieken met bronvermelding staat in bijlage 2.

3.3 Technieken niet passend in de PMC's

Technieken die niet passen in de PMC's (bijvoorbeeld algenproductie, struvietproductie) zijn opgenomen in bijlage 3. De bijlage vermeldt tevens de redenen waarom. Deze technieken zijn veelal afkomstig uit de waterzuivering en zijn verder buiten beschouwing gelaten. Dat wil echter niet zeggen dat ze niet waardevol kunnen zijn in andere PMC routes.

3.4 Hoogwaardige producten breder dan bemesting

In de gesprekken met o.a. initiatiefnemers van mestverwerking, start-ups en deskundigen is melding gemaakt van enkele producten en technieken die mogelijk kansrijk zijn voor niet-landbouwkundige toepassingen of toepassingen buiten de traditionele NPK-bemestingsmarkt (zie bijlage 4). Het betreft ook combi's met andere reststromen in de voedselketen en innovatieve producten (waar mogelijk in samenwerking met andere onderzoeksprojecten).

Omdat de PMC's uit WP1 leidend zijn (dat wil zeggen: geschikt voor bemesting als landbouwkundige toepassing), krijgen deze niche-producten nu geen prioritaire aandacht. De waarde van deze PMC's wordt mogelijk in vervolgprojecten onderzocht waarbij te denken valt aan producten op basis van vaste organische stof/koolstof (biochar als bodemverbeteraar of vervanger actieve kool) en producten op vloeibare minerale basis (zoals ammoniakvloeistof).

Voor de producten zoals benoemd in deze paragraaf geldt dat er sprake is van een laag TRL niveau en dat er alternatieve grondstoffen zijn naast mest. Die alternatieve (technologisch bereide) grondstoffen, zijn vaak schoner en goedkoper. Wanneer bekend is welke samenstelling en eigenschappen een toegevoegde waarde hebben in de markt; inzichtelijk is welke mestgrondstoffen hiertoe het meest geëigend zijn; en wat de positie is t.o.v. concurrerende reststromen/producten op de markt; dan kan ook beoordeeld worden of door combinaties met deze stromen een nog betere propositie wordt bereikt.

4 Optimalisatie- en doorbraaktechnieken voor de PMC's

4.1 Gewenst voor de PMC's

In Gollenbeek et al. (2020) zijn de technische procesroutes uitgewerkt waarmee bemestingsproducten geproduceerd kunnen worden. Met massabalansen is onderzocht in hoeverre de technische procesroutes invulling geven aan de gewenste productspecificaties.

Vastgesteld is dat niet in alle gevallen de gewenste productsamenstelling kan worden bereikt. Daarnaast is het gebruik van hulpstoffen van invloed op de samenstelling van de eindproducten en daarmee op de toepassingsmogelijkheden van de meststof. In deze paragraaf wordt behandeld of en welke technische doorbraken c.q. ontwikkelingen nodig zijn om aan de gewenste productspecificaties te kunnen voldoen. Het betreft dus nieuwe potentiële doorbraaktechnieken of optimalisatie technieken die nog niet algemeen toegepast worden voor mestverwaarding.

1. **Mineraal N-product, 5% (vloeibaar)**

Het mineraal N-product met 5% stikstof kan worden geproduceerd door stikstof uit mest te strippen en vervolgens in een zure oplossing (zwavelzuur) af te vangen. Bij gebruik van zwavelzuur wordt ammoniumsulfaat gevormd, waarbij met de beschreven techniek onder praktijkcondities een concentratie van maximaal 7-8% N haalbaar is.

Gewenste technische ontwikkelingen: geen.

2. **Mineraal N-product, 15-20% (vloeibaar)**

Het mineraal N-product met 20% stikstof kan worden geproduceerd door stikstof uit mest te strippen en vervolgens in een zure oplossing af te vangen. Centrale opwerking tot de vaste kunstmeststof zwavelzure ammoniak met 21% N is mogelijk maar niet als het vloeibare mestproduct van de PMC's. Indien ammoniak wordt afgevangen in een salpeterzuuroplossing dan wordt ammoniumnitraat gevormd. Productie van de vloeibare meststof ammoniumnitraat met een concentratie van 15-20% N is wel haalbaar.

Gewenste technische ontwikkelingen: geen.

3. **Mineraal K-product, 5%-K₂O (vloeibaar)**

Het minerale K-product kan worden geproduceerd door de dunne fractie van mest waaruit stikstof en fosfaat zijn verwijderd in te dampen of te concentreren middels een combinatie van omgekeerde osmose en indampen. De meststof bevat alle in de dunne mest aanwezige zouten en opgeloste organische stoffen. De hoge zoutconcentraties in het mineraal K-product vormen een aandachtspunt voor het gebruik en een mogelijke beperking voor de markt. Voor de product-markt-combinatie is van belang dat het mineraal K-product minder dan 1 kg/ton P₂O₅ bevat. Dit betekent dat de dunne mestfractie waaruit het product wordt bereid minder dan 0,1 kg/ton mag bevatten. Het is technisch mogelijk om dergelijk lage fosfaatgehalten te realiseren met mechanische scheiding onder toevoeging van polymeren en coagulanten zoals bijvoorbeeld ijzerchloride of ijzersulfaat. De zoutresten van deze coagulanten komen (geconcentreerd) in het mineraal-K product terecht.

Gewenste technische ontwikkelingen:

- Selectieve scheiding van kalium uit een matrix van opgeloste zouten.
- Efficiënte afscheiding van (ortho-)fosfaat uit dunne mest zonder hulpstoffen, of met terugwinning van hulpstoffen.

4. Mineraal-P product (vast)

Het mineraal P-product wordt bereid door in mest aanwezige fosfaatverbindingen met zuur in oplossing te brengen en uit te spoelen. Het opgeloste fosfaat kan vervolgens worden neergeslagen onder toevoeging van bijvoorbeeld ijzer-, magnesium- of calciumionen. In de massabalansberekeningen is gekozen voor dosering van calciumhydroxide (kalkmelk), waarbij calciumfosfaat wordt gevormd. Het calciumfosfaat houdend slib kan mechanisch worden afgescheiden en gedroogd. Het mineraal-P product dat op deze wijze wordt verkregen is niet geheel vrij van organische stof en bevat hoge concentraties van de zoutrest van het gebruikte zuur.

Gewenste technische ontwikkelingen/optimalisatie:

- Selectieve afscheiding van ortho-fosfaat uit zure wasvloeistof.

5. P-houdend organische stof product (85% DS)

Het is technisch onmogelijk om de gewenste productspecificaties te realiseren (EOS = 500 kg/ton, N-werkzaam = 100 kg/ton, P_2O_5 = 50 kg/ton en K_2O = 150 kg/ton). Er moet een keuze worden gemaakt tussen ofwel een hoog effectief organische stof (EOS) gehalte-stofgehalte ofwel een hoog nutriëntengehalte. Indien volstaan kan worden met een lager EOS gehalte dan zijn verschillende technische procesroutes mogelijk om een P-houdend organische stof product te produceren.

Er zijn geen technische doorbraken nodig om het product te kunnen maken. Er kan wel gedacht worden aan procesoptimalisaties, zoals:

- Het energieverbruik voor droging van de mest vormt een belangrijk onderdeel van de productiekosten. Behoeft bestaat aan droogprocessen met een laag warmteverbruik per eenheid waterverdamping.
- Bij droging (verwarmen) van mest ontwijken vluchtige componenten naar de gasfase. Reductie van de geuremissie vormt een belangrijk onderdeel van de exploitatiekosten. Behoeft bestaat aan verbetering van de kostenefficiëntie bij de droogluchtbehandeling en/of optimalisatie van gesloten droogsystemen.

6. P-houdend organische stof product (gecomposteerd, 50% DS)

Het is technisch mogelijk om de gewenste productspecificaties te realiseren uit rundveemest door compostering van de dikke fractie en bijmenging van stikstof en kalium (EOS = 300 kg/ton, N-werkzaam = 20 kg/ton, P_2O_5 = 10 kg/ton en K_2O = 30 kg/ton). Gecomposteerde producten op basis van varkensmest bevatten niet de gewenste hoeveelheid effectieve organische stof.

Er zijn geen technische doorbraken nodig om het product uit rundveemest te maken. Er kan wel gedacht worden aan procesoptimalisaties:

- Bij droging (verwarmen) van mest ontwijken vluchtige componenten naar de luchtfase. Reductie van de geuremissie vormt een belangrijk onderdeel van de exploitatiekosten. Behoeft bestaat aan verbetering van de kostenefficiëntie bij de droogluchtbehandeling en/of optimalisatie van gesloten droogsystemen.

7. P-arm organische stof product

Het doel van het product is om te voorzien in de aanvoer van 1000 kg/ha EOS, waarbij de fosfaatgebruiksruimte zo minimaal mogelijk wordt ingevuld. Gestreefd wordt naar een EOS/ P_2O_5 verhouding in het product van 200. Het is mogelijk een dergelijk product te bereiden wanneer gekozen wordt voor dikke fractie rundveemest als grondstof, waarbij fosfaat met zuur is uitgewassen. Het gebruik van varkensmest resulteert in een veel lagere EOS/ P_2O_5 verhouding, waardoor de aanvoer van EOS gepaard gaat met invulling van een substantieel deel van de fosfaatgebruiksruimte.

Er is geen technische doorbraak nodig om het P-arm organische stof product te produceren uit rundveemest. Echter, er is op dit moment enkel op pilotschaal ervaring met de techniek. Voor grootschalige industriële toepassing is verdere optimalisatie van het proces op pilotschaal nodig om tot de juiste ontwerpgrondslagen te komen.

4.2 Optimalisatie- en doorbraaktechnieken

- Onderzocht is met welke technieken knelpunten kunnen worden opgeheven. Geselecteerd zijn technieken die tot op heden niet worden toegepast in de geformuleerde verwaardingsroutes voor mest en wel kunnen worden ingevoerd (gedefinieerd als optimalisatie technieken, zie figuur 3.1),

én:

- een verbetering kunnen bieden aan de huidig toegepaste verwaardingsroutes (kosten, efficiency, hogere duurzaamheid) en/of een aanvullende functie hebben (voordelen op neveneffecten, nevenproducten, hogere kwaliteit eindproducten); gedefinieerd als doorbraaktechnieken, zie figuur 4.1.

Zowel bij de optimalisatietechnieken als de doorbraaktechnieken zijn de technologieën onderverdeeld naar de oplossing die wordt geboden (zie paragraaf 4.1). Voor technologieën die focussen op de productie van biogas of het verhogen van de efficiëntie van de omzetting in biogas, is een aparte categorie gemaakt: vergisting en gerelateerd. Daarnaast is voor elke technologie aangegeven in welke PMC (route) uit Gollenbeek et al. (2020) de technologie mogelijk zou kunnen worden toegepast en in welke stadia van de TRL de technologie zich bevindt. De TRL van de technieken zijn ingeschat door de projectgroep. Van elke techniek is een uitgebreidere beschrijving gemaakt volgens het format in bijlage 5. Van de technieken uit figuur 3.1 staan de beschrijvingen in bijlage 6, van de technieken uit figuur 4.1 in bijlage 7.

Technologie	Ervaring met of specifiek gericht op mest?	Mech. Scheiding	Vergisting	Biogas upgrading	Biologische N verwijdering	Strippen/schillen NH3	Drogen en indampen	Afscheiden fosfaat	Plasma	Transmembraan-chemosorptie	Electronic osmotie	Forward Osmosis	Mech. damprecompressie	Cooling/freezing	Voor-/nabehandeling	Waar past techniek in huidige PMCs?	Toelichting	TRL level voor toepassing op mest
P-concentraat:																		
Fosfaat extraheren	nee							X								route 4	Ontwikkeld op champost. Mogelijk ook voor dikke fractie mest geschikt. Lijken bestaande technieken.	3
N-concentraat:																		
Vergisting en gerelateerd:																		
Cavitatie van mest	ja														X	route 1	Mogelijk als voorbehandeling voor vergisting (optimalisatie)	7
Thermische drukhydrolyse (TDH)	onduidelijk														X	route 1	Zou optimalisatie vergisting kunnen zijn.	6
Drogen van (dikke fractie van) mest of ontwateren:																		
Mechanische damprecompressie	ja												X			route 1 & 3		7
Diversen of combinatie van technologieën:																		
Totaal-systeem: productie van N-concentraat, P-concentraat, loosbaar water en dikke fractie	ja	X				X		X								route 3	Bedoeld als totaal-systeem (scheiden, fosfaat neerslaan, strippen) voor drijfmest en digestaat.	5
'Ontkalken' van dunne fractie drijfmest	ja														X	route 1 en 2	Optimalisatie van RO	2
Gebruik adsorptiemiddelen voor 'polishing'	nee														X	route 1 en 2	Als laatste stap bij reeds vergaand gezuiverde vloeibare fracties om water te produceren.	3 of 4

Figuur 3.1 Optimalisatie technieken

Technologie	Ervaring met of specifiek gericht op mest?	Mech. scheiding	Vergisting	Biogas-upgrading	Biologische N- verwijdering	Strippen/schubben NH3	Drogen en indampen	Afscheiden fosfaat	Plasma	chemosorptie	de-watering	Forward Osmosis	Forward Osmosis	damper/compressie	Coolling/freezing	Voor-nabehandeling	Waar past techniek in huidige PMCs?	Toelichting	TRL level voor toepassing op mest
P-concentraat:																			
Fosfaat neerslaan als ijzercomplexen	nee							X									route 4	Dat is echt nieuwe ontwikkeling. Vraag is wel of het op dikke fractie past.	3
N-concentraat:																			
Plasmatechniek voor N2 fixatie	ja								X								route 1 en 2	Mogelijk bij centrale verwerking een N concentraat verder concentreren i.p.v. blenden met kunstmest-N.	6
Transmembraan-chemosorptie voor ammoniak afscheiding	ja					X				X							route 3	Kan een Krijke fractie maken. Kan alternatief zijn voor strippen.	4
Forward Osmosis	nee											X					route 1 en 2	Zou alternatief voor RO kunnen zijn. Vooral minder energie nodig. Water onttrekken aan concentraten betekent verder concentreren.	5
MEZT, ammoniumextractie uit dierlijke mest	ja/nee															X	route 1 en 2	met bipolaire membranen wordt ammonium uit de dunne fractie verwijderd.	4
Ammonium Recovery Technologie (ART)	ja				X	X											route 1 t/m 7	Is een techniek om hoge concentraties ammoniak te binden via water. In elke route komt luchtwassing voor.	2
Vergisting en gerelateerd:																			
Autogenerative High Pressure Digestion (AHPD)	?		X	X				X									route 1	Heeft potentie als innovatieve vergister, met gunstige neveneffecten.	5
Drogen van (dikke fractie van) mest of ontwateren:																			
Electro Osmotic Dewatering	ja										X						route 1 t/m 3	Voor ontwateren en indikken van slib/drijmest	4 a 5
Membraandestillatie	ja	X				X											route 1 en 2		5
Drogen m.b.v. zeolieten	ja					X											route 4 t/m 6	Richt zich op ontwateren dikke fractie	6
Diversen of combinatie van technologieën:																			
Eutectische Vrieskristallisatie (EFC)	ja														X		route 1 t/m 7	Mogelijk voor de vele spuistromen uit de pmc's	5

Figuur 4.1 Innovatieve doorbraaktechnieken

4.3 Beoordeling optimalisatie- of doorbraaktechnieken

Alle technologieën uit figuur 3.1 en 4.1 die passen in een PMC route, zijn door de projectgroep (tevens auteurs van dit rapport) onafhankelijk van elkaar gescoord op de volgende criteria:

- Is er vertrouwen in de techniek?
- Wat zijn de ingeschatte kosten van de techniek?
- Voor welke schaalgrootte? Is er zicht om op te schalen naar fabrieksgrootte (250.000 ton/jaar)?

Er zijn scores gegeven op een schaal van -3 tot 3.

A. Vertrouwen in techniek

Hierbij is uitsluitend gelet op de techniek (en niet op de betrokken bedrijven):

- 3 er is totaal geen vertrouwen in de techniek
- 2 er is geen vertrouwen in de techniek
- 1 er is weinig vertrouwen in, techniek heeft voordeel van de twijfel
- 0 neutraal
- 1 er is enig vertrouwen in deze techniek
- 2 er is vertrouwen in de techniek
- 3 er is zeker veel vertrouwen in deze techniek

B. Kosten

Kosten(verhoging) zijn geschat lettend op investeringsniveau, exploitatiekosten en potentiële opbrengsten:

- 3 kosten zullen extreem hoog zijn, nooit winstgevend te maken;
- 2 kosten zijn hoog
- 1 kosten zijn verhoogd

- 0 neutraal
- 1 kosten hoeven niet hoger te zijn dan alternatieve techniek
- 2 kosten zijn lager
- 3 kosten zijn lager of opbrengsten hoger; dit leidt tot winstgevendheid

C. Schaalgrootte

De technieken worden bedreven op een schaalgrootte van 250.000 ton/jaar drijfmest en 50.000 ton/jaar dikke fractie zoals geformuleerd in Gollenbeek et al. (2020). Beoordeeld wordt of de technieken op die schaal technisch en economisch mogelijk zijn:

- 3 de techniek is zeker niet geschikt voor toepassing op deze schaal
- 2 techniek is slecht toepasbaar op deze schaal
- 1 techniek is minder toepasbaar op deze schaal
- 0 neutraal
- 1 techniek is geschikt voor toepassing op deze schaal
- 2 techniek is zeer geschikt voor toepassing op deze schaal
- 3 techniek is juist ontworpen voor toepassing op deze grote schaal

Bij de beoordeling van de technieken is hetzelfde onderscheid gemaakt tussen *optimalisatie technieken* (Figuur 5.1) en innovatieve *doorbraaktechnieken* (Figuur 6.1) als in paragraaf 4.2. De opmerkingen over de technologieën zijn bijgevoegd in bijlage 6 en 7.

Technologie	Vertrouwen in de techniek	Ingeschatte kosten	Is opschaling mogelijk?
P-concentraat:			
	<i>Gemiddelde score</i>	<i>Gemiddelde score</i>	<i>Gemiddelde score</i>
Fosfaat extraheren	1.83	0.33	1.17
Vergisting en gerelateerd:			
Cavitatie van mest	2.00	0.00	1.83
Thermische drukhydrolyse (TDH)	0.50	-1.17	1.50
Drogen van (dikke fractie van) mest of ontwateren:			
Mechanische damprecompressie	0.83	0.17	1.50
Diversen of combinatie van technologieën:			
Totaal-systeem: productie van N-concentraat, P-concentraat, loosbaar water en dikke fractie	2.00	-0.33	2.00
'Ontkalken' van dunne fractie drijfmest	1.67	0.67	2.00
Gebruik adsorptiemiddelen voor 'polishing'	1.50	-1.17	0.67

Figuur 5.1 – Scores bij optimalisatie technieken

De optimalisatie technologieën worden veelal positief beoordeeld indien deze de kwaliteit van producten en afvalstromen verbeteren (polishing afvalwater, ontkalken van dunne fractie, etc.), terwijl ze extra kosten aan het proces toevoegen. Afhankelijk van de verwaardingsroute en kwaliteitseisen aan de producten kunnen de technologieën ingepast worden in de mestverwaardingsroutes. Hier is

van belang dat er een kosten/baten analyse wordt gemaakt om te bepalen of de mogelijke verbetering van de kwaliteit van de producten het implementeren van de technologie waard is.

Technologie	Vertrouwen in de techniek	Ingeschatte kosten	Is opschaling mogelijk?
<i>P-concentraat:</i>	<i>Gemiddelde score</i>	<i>Gemiddelde score</i>	<i>Gemiddelde score</i>
Fosfaat neerslaan als ijzercomplexen	0.50	1.00	1.33
<i>N-concentraat:</i>			
Plasmatechniek voor N2 fixatie	0.17	-0.83	0.83
Transmembraan-chemosorptie voor ammoniak afscheiding	0.83	-1.17	1.17
Forward Osmosis	1.17	1.00	0.83
MEZT, ammoniakextractie uit dierlijke mest	1.17	0.67	1.67
Ammonium Recovery Technologie (ART)	1.00	0.00	1.17
<i>Vergisting en gerelateerd:</i>			
Autogenerative High Pressure Digestion (AHPD)	0.00	-0.75	1.25
<i>Drogen van (dikke fractie van) mest of ontwateren:</i>			
Electro Osmotic Dewatering	0.83	0.50	1.17
Membrandestillatie	0.00	-0.83	1.17
Drogen m.b.v. zeolieten	-1.17	0.33	0.00
<i>Diversen of combinatie van technologieën:</i>			
Eutectische Vrieskristallisatie (EFC)	-0.17	0.00	-0.17

Figuur 6.1 – Scores bij doorbraak technieken

4.4 Uitwerking van de doorbraaktechnieken

In deze paragraaf worden de meest positief beoordeelde technologieën (figuur 5.1 en 6.1) kort beschreven inclusief welke knelpunten deze mogelijk wegnemen.

4.4.1 Ortho-fosfaten winning: fosfaat neerslaan met ijzercomplexen

Een technologische doorbraak om specifiek ortho-fosfaat te verwijderen uit mestfracties zou het mogelijk maken om een mineraal P-product goedkoop te produceren (4.1). De doorbraaktechniek om fosfaat neer te slaan als ijzercomplex en deze terug te winnen en te hergebruiken wordt door de werkgroep positief beoordeeld. Het feit dat de techniek al wordt toegepast in de mijnbouw en er succesvolle pilots in de waterzuivering zijn, geven de techniek een hoge score op het vertrouwen in de werking. Het gevormde ijzercomplex in de mest fractie wordt verwijderd door gebruik te maken van de paramagnetische eigenschappen van ijzercomplexen zoals vivianiet. Het ijzer wordt in een later stadium met zuur weer gescheiden van het fosfaat. Deze techniek heeft voor waterzuiverings-slib al getoond fosfaat te kunnen verwijderen zonder extra droogstap. Dit is een verbetering ten opzichte van de huidige neerslagmethode in de PMC, waar het verwijderde fosfaat (als calciumfosfaat) moet worden gedroogd. De techniek zit nog in de ontdekkingsfase (TRL3) maar de werkgroep staat positief tegenover deze techniek.

4.4.2 Mineraal N-product >15-20% N: Forward osmose

Bij de vloeibare N-producten speelt met name de doorontwikkeling van technologie voor het verder (specifieke) concentreren van mineralen een rol (bijv. mineralenconcentraat met >15-20% N). Veel van deze technieken zitten nu nog in de development fase (TRL 4-6), maar bieden perspectief bij het produceren van producten van hogere kwaliteit.

Forward osmose is een membraanproces zoals omgekeerde osmose. Echter in plaats van de oplossing te concentreren door het water onder hoge druk door een membraan te stuwen wordt bij forward osmose gebruik gemaakt van het transport van water onder invloed van concentratieverschillen. De "trekvloeistof" (bijvoorbeeld een geconcentreerde zoutoplossing) dient een hogere osmotische waarde te hebben dan de te concentreren oplossing en daarmee worden hogere concentraties gehaald dan met omgekeerde osmose, waar het drukverschil de limiterende factor is. Het proces lijkt erg op andere membraanprocessen die al worden gebruikt en heeft daardoor een hoge vertrouwensscore. Daarnaast is het proces energiezuinig en heeft minder last van vervuiling waardoor ook de operationele kosten van het proces lager zullen uitvallen. Forward osmose kan gebruikt worden in alle processen van de PMC-routes waar nu omgekeerde osmose wordt gebruikt.

4.4.3 Mineraal N-product >15-20% N en mineraal K product: Ammoniakextractie uit dierlijke mest

Bij ammoniak extractie uit mest met Bi-Polaire Membraan Electro-Dialyse (BPMED) worden de kationen en anionen in een oplossing gescheiden met behulp van positieve en negatieve lading op de membranen. Het proces is indien gewenst selectief voor de ion-valentie of voor de grootte van de moleculen. Hiermee zou het mogelijk moeten zijn om ammonium of kalium te extraheren uit mest. Deze nieuwe techniek scoort goed op de kosten omdat er minder hulpmiddelen en warmte nodig zijn dan in de huidige ammoniakstrippers. Hoewel membraanvervuiling kan optreden, is er vertrouwen dat deze techniek kan worden toegepast in de mestvervaardingsroutes.

4.4.4 Mineraal N-product: Ammoniak recovery technologie (ART)

Ammoniak recovery technologie bindt gasvorming ammoniak aan CO₂ opgelost in water waarbij het zout ammonium(bi)carbonaat wordt gevormd. Met deze technologie kan van de ammoniak die vrijkomt tijdens de verwaarding van mest nog een product worden gevormd. Het principe is al aangetoond in de lucht van pluimveestallen en er is vertrouwen dat deze techniek ook kan worden toegepast bij mestverwerkingsinstallaties. Het betreft wel een technologie die aanvullend is aan de mestvervaardingsroutes. Dit betekent dat het moeilijk in te schatten is of de kosten van het proces opwegen tegen de baten van het product.

4.4.5 Biogas productie: Autogenerative High Pressure Digestion (AHPD)

Mestvergisting wordt als niet rendabel beoordeeld, echter als Nederland de gaskraan verder dichtdraait, dan wordt het winnen van biogas zowel maatschappelijk als economisch aantrekkelijk. Ook voor het reduceren van methaanemissies is vergisten een essentiële stap. Autogenerative High Pressure Digestion (AHPD) is een nieuwe vergistingstechniek waarbij organische componenten onder hoge druk worden omgezet in groengas. Het groengas uit dit systeem is direct van goede kwaliteit (97% CH₄) waardoor er geen nabehandelingsschappen nodig zijn om het biogas aan het aardgasnetwerk toe te voegen. De techniek is nog niet getest met mest waardoor hij neutraal beoordeeld is op het aspect 'vertrouwen in de techniek'. De techniek is daarnaast technologisch ingewikkeld wat waarschijnlijk tot gevolg zal hebben dat op kleinere schaal het gebruik van deze technologie niet rendabel zal zijn. Echter de eindbeoordeling is licht positief.

4.4.6 Ontwatering van mest: Electro osmotic dewatering

Electro-osmose is transport van vloeistof door een poreus medium (filter) als gevolg van een elektrisch potentiaalverschil. Bij deze techniek wordt vloeistof afgescheiden van de mest met het gebruik van twee elektroden die verbonden zijn met een gelijkspanningsbron, de vloeistof wordt naar

de negatieve elektrode (kathode) getrokken waardoor het mogelijk is dit te scheiden van de mest. Hierdoor kan de mest worden ontwaterd zonder verdamping te gebruiken. Een bijkomend effect is dat de vaste deeltjes door de kathode worden afgestoten. Hierdoor wordt het filterdoek dat bij het ontwateren gebruikt wordt minder snel vervuild dan bij stuwende werking. De beoordelingen zijn hier lichtelijk positief, omdat er verwacht wordt dat er minder warmte nodig zal zijn dan bij verdamping en er hierdoor een kosten besparing zal zijn op huidige technieken. Er moet hier wel bij vermeld worden dat de techniek nog in de kinderschoenen staat (TRL 4) en er nog veel onderzocht moet worden voordat er meer over deze techniek bekend is.

5 Discussie en conclusies

5.1 Momentopname

Deze inventarisatie van mestverwerkingstechnologie is een momentopname anno 2020. De maakbedrijven zijn continue technologie aan het verbeteren en nieuwe technologieën worden continue ontwikkeld. Daarnaast zijn de markt en wet- en regelgeving aan verandering onderhevig waardoor de beoordeling op een later moment anders kan uitvallen.

5.2 Beoordeling

De beoordeling van technieken is kwalitatief. De beschrijvingen in dit rapport zijn zo veel mogelijk afgestemd met leveranciers. Dit rapport beoogt niet om systemen af te schrijven of aan te prijzen. Het is louter bedoeld als een zoektocht naar optimalisaties en doorbraken voor de geformuleerde PMC's. In andere mestverwerkingsketens kunnen technieken die in dit rapport als minder perspectiefvol zijn beoordeeld mogelijk goede diensten bewijzen. Technieken die goed in de geformuleerde bewerkingsroutes passen (en hier positief zijn beoordeeld) zijn mogelijk minder bruikbaar om andersoortige mestproducten te produceren.

5.3 Andere sectoren

Een deel van de beschikbare technologie wordt nog niet toegepast bij mestverwerking, omdat het investeringsniveau en de capex (kapitaalkosten) en opex (operationele kosten) te hoog zijn dan wel knelpunten kennen die zich niet voordoen in andere industrieën waar de techniek al wel wordt toegepast. Enkele redenen waarom deze in andere sectoren wel toegepast worden zijn: financieringsstructuur, schaalgrootte, verzekerde aanvoer van influent en zuiverheid van producten. Er is nog inspanning nodig om deze technieken te optimaliseren en engineeren voor toepassing in mestverwaarden. In de beoordelingen is gescoord vanuit het perspectief dat het nog onduidelijk was of de techniek ook kan worden ingezet in mestverwaarding. Een negatieve of positieve score op vertrouwen in de techniek is dus volledig gebaseerd op inschatting van de projectgroep en niet altijd gebaseerd op daadwerkelijk uitgevoerde experimenten met mest.

5.4 Hoogwaardige producten

Het produceren van hoogwaardige producten vereist inzet van complexere, duurdere technologieën. Uit de rapportage van Gollenbeek et al. (2020) blijkt dat de opbrengsten van bemestingsproducten voor de landbouwkundige markt (nog) niet voor een goede business case zorgen. De verwachting is dat dit in meerdere mate zal gelden voor producten die buiten de landbouw afgezet worden. Ook hier geldt dat dit sterk afhankelijk is van wet- en regelgeving en de ontwikkelingen in de mestmarkt. Aanbevolen wordt deze producten in een andere studie te beschouwen.

5.5 Conclusies

Om de mestproducten van de PMC's te maken, zijn praktijkrijpe technologieën beschikbaar. De producten worden in bulk geproduceerd met robuuste technologie. Optimalisaties van de toegepaste technologieën is zeker mogelijk. Bij de beoordeling van de optimalisatie technieken blijkt echter dat de extra opbrengsten mogelijk niet opwegen tegen de kosten.

De doorbraaktechnieken fosfaatextractie door middel van ijzerner slag, forward osmosis en ammoniakextractie uit dierlijke mest scoren in een beoordeling het hoogst en hier liggen mogelijk kansen. Deze technieken verdienen nader onderzoek in een verder uit te werken mestverwerkingsroute. Het is belangrijk om daarbij de meest recente ontwikkelingen in deze technieken mee te nemen, omdat ze nu nog een laag TRL kennen.

Doorbraaktechnieken die ook positief zijn beoordeeld, en dus mogelijk ook ingezet kunnen worden, zijn: ammoniak recovery technology, autogenerative high pressure digestion (bij grootschalige installaties) en electro osmotic dewatering. Ammoniak recovery technologie en autogenerative high pressure digestion zijn vooralsnog beide duurder technieken die meer onderzoek vereisen. Over electro osmotic dewatering is nog weinig bekend, wat resulteerde in een iets lagere maar nog steeds positieve beoordeling. Deze techniek heeft echter zeker potentie als alternatief voor huidige ontwatering technologieën. Extra onderzoek is vereist.

6 Vervolgonderzoek

6.1 Plaats van technieken in het project

Deze rapportage geeft een overzicht van beschikbare en nieuwe technologie voor centrale mestverwerking. In Gollenbeek et al. (2020) zijn de verwerkingsroutes beschreven om te komen tot de gewenste mestproducten. In dat rapport is ook een gevoeligheidsanalyse gemaakt m.b.t. het investeringsniveau van centrale mestverwerking en het effect op het poorttarief van vleesvarkensmest. Uit die studie blijkt dat dit effect marginaal is. Dat heeft de stuurgroep doen besluiten de aandacht te verleggen naar technieken die op varkenshouderij- en rundveehouderij bedrijven mogelijk zijn (WP3). Voor de varkenshouderij blijft ook centrale mestverwerking noodzakelijk, voor de rundveehouderij niet zozeer.

6.2 Invloed van beleid

De noodzaak om op bedrijfsniveau maatregelen te nemen is groot vanwege de klimaat en stikstofproblematiek. Het rapport van Remkes (juni 2020) en het Klimaatakkoord eisen dat de emissies van NH₃ en met name CH₄ substantieel gereduceerd worden. Daarom wordt er in het vervolg van het project meer nadruk gelegd op verwijdering van dagverse rundveemest uit stallen, op scheiding van urine en feces, gesloten opslag en transport alsook meer nadruk gelegd op de emissies in de gehele verwaardingsketen. Voor de varkenshouderij blijft de focus op centrale verwerking van alle geproduceerde mest voor verdere verwaarding maar ook voor een zo hoog mogelijke reductie van methaan uit mestopslagen in en buiten de stal. Gezien de toekomstige ontwikkeling naar meer duurzame energie, is duidelijk dat het vergisten van verse mest op de korte en lange termijn steeds belangrijker wordt.

In najaar 2020 zijn 3 deelprojecten in het kader van de PPS NL Next Level Mestverwaarden opgestart, die uitgaan van primaire scheiding op de agrarische bedrijven of verwijdering van verse mest, met aandacht voor de optredende emissies in de verwerkingsketen. Mogelijk worden daarbij andere mestverwerking technologieën ingezet dan beschreven in Gollenbeek et al. (2020). Deze ontwikkelingen maken dat de innovatieve technieken nu niet verder worden uitgewerkt. Dat wordt mogelijk opgepakt in de genoemde deelprojecten. Maar ook in andere onderzoeksprojecten kan de kennis uit dit rapport worden gebruikt. Wel worden hieronder nog opties voor nadere uitwerking van de technieken gegeven.

6.3 Criteria voor uitwerking technieken

De meest kansrijke doorbraaktechnieken kunnen nader geëvalueerd worden met leveranciers. De perspectiefvolle ontwikkelingsbedrijven worden dan bezocht in combinatie met zo mogelijk praktijkproeflocaties. Onderzocht wordt dan wat de eventuele knelpunten zijn om deze systemen praktijkrijp te maken. Op basis van de volgende criteria kan bepaald worden welke initiatieven het meest perspectiefvol zijn om nader uit te werken en te testen in een vervolgtraject.

Criteria assessment technologie:

1. Technology Readiness Level (TRL)
2. Inpasbaarheid/ Ruimtelijke Ordening
3. Aansluiting op WP1
4. Aansluiting op WP3
5. Investerings/ Business Case/ Terugverdientijd
6. Schaalgrootte/ opschaalbaarheid van de technologie
7. Complexiteit/ robuustheid technologie
8. Mate van flexibiliteit, bereik in specs in- en uitgaande stromen

-
9. Maatschappelijke acceptatie / emissies
 10. Vernieuwende markten bereikbaar
 11. Klimaateffect van technologie en bijbehorende keten
 12. Impact op de hele keten - een hele ketenperspectief

Criteria assessment initiatieven:

1. Onderneming (omvang, marktkennis, betrouwbaarheid, financieel)
2. Organisatie (professionaliteit, ondernemingsvorm)
3. Solide Business case (low-cost BC's)
4. Aan-/ afvoer organisatie
5. Locatie/infrastructuur i.r.t. opschaling (vergunningen, omgeving)
6. Technologie beoordeling (balansen, complexiteit/robuustheid)
7. Potentie meerwaarde creatie/ nieuwe markten (bijdrage aan kringlopen/ recycling/ halffabricaten voor industriële toepassing)

Hierbij is de inbreng van zowel wetenschappelijke kennis/ervaring als ook praktisch inzicht noodzakelijk om de kans van slagen zo groot mogelijk te laten zijn. Dit als opmaat tot het delen van kennis en ervaring om gezamenlijk betere systemen te ontwikkelen. Dit zal resulteren in het opstellen van innovatieplannen. Ook kan het werkingsprincipe voor de mestfracties op pilot schaal worden getest. Dit kunnen ook mobiele installaties zijn die op veehouderijbedrijven specifieke voorberekende stappen doen met als doel zoveel mogelijk dierlijke mest op eigen land te kunnen gebruik en/of af te zetten in de directe omgeving.

Literatuur

- Dijk, W. van, Postma, R., Gollenbeek, L. R., Mostert, P., Roefs, J., & Verdoes, N. (2020). Behoeftes mestbewerkingsproducten in Nederland en Europa: Inventarisatie perspectievolle product-markt-combinaties. Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Agrosysteemkunde, No. WPR-1011)
- Gollenbeek, L.R., J.P.B.F. van Gastel, J.J.M. Schellekens, P. Bussmann, J. Roefs, R.M. Melse, N. Verdoes, 2020. Verkenning mogelijke mestverwerkingsroutes en duurzaamheidsaspecten. Wageningen Livestock Research.
- Nederlands Centrum voor Mestverwaarding 2019. Landelijke rapportage en inventarisatie export en verwerking dierlijke mest 2019.
<https://www.mestverwaarding.nl/kenniscentrum/707/landelijke-inventarisatie-2019-export-en-verwerking-dierlijke-mest>
- Nijmeijer, D.C. en Z. Borneman, 2021. Optimalisatie mineralenconcentraten, Technische Universiteit Eindhoven, in druk
<https://nutrیمان.net/project>
- Remkes, J.W. (red.), 2020. Niet alles kan overal. Eindadvies over structurele aanpak. Adviescollege Stikstofproblematiek, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 8 juni 2020
- Rulkens, W.H., A. Klapwijk, H.C. Willers 1998. Recovery of valuable nitrogen compounds from agricultural liquid wastes: potential possibilities, bottlenecks and future technological challenges. Environmental Pollution, Volume 102, Issue 1, Supplement 1, 1998, Pages 727-735
- Technology readiness levels (TRL); Extract from Part 19 - Commission Decision C(2014)4995" (PDF). ec.europa.eu. 2014. Retrieved 11 November 2019.

De literatuurbronnen uit bijlage 6 en 7 worden hier niet weer vermeld.

Bijlage 1 Indeling van technieken

Technologie matrices mestverwerking WP2 NL Next Level					
Voorbehandeling	Type mest		Technologie	Producten	
	Drijfmest	Varkens Rundvee Pluimvee (bijmenging)	(co)vergisten div uitvoerings- en procesvormen	Energie	groen gas (netwerk) elektriciteit Warmte Bio LNG (vloeibaar)
				Digestaat	verdere verwerking als drijfmest meststof, aanwending in binnen- en/of buitenland (na hygienisatie)
	Drijfmest	Varkens Rundvee Digestaat	Scheiden Mechanische scheidings (voor de grove voorscheiding) decanteer centrifuges persen (schroefvijzel, zeefband) Filtersystemen: trommelfilters papier- /doekfilters zeven Flotatie	dikke fracties (25-35 % ds) dunne fracties (2-8% ds) slibachtige dikke fracties dunne fracties met laag ds (ca. < 2%)	
Hoofdbehandeling	Type mest		Technologie	Producten	
	Dikke fracties	Varkens Rundvee Digestaat	Drogen /korrelen typen drogers: convectiedrogers conductiedrogers stralingsdrogers stoomdrogers Composteren gesloten (tunnel) compostering open compostering Vergassing /pyrolyse Vezelwinning (dikke fractie rundveemest) P-recovery	gedroogd/ gepelletiseerd (organische korrel) Compost Energie condensaat/waswater As Biochar o.a. afbreekbare potten, kleding, papier Compost met laag P gehalte Afgescheiden P	
		Incl. pluimveemest	Verbranding nabehandeling as reduceren P2O5 naar P (P recovery) extractie	As As laag P elementair P minerale zouten	
	Dunne fracties	Varkens Rundvee Digestaat	(selectief) concentreren/ontwateren membraantechnologie vrieskristallisatie (eutectisch vriesdrogen) Strippen/indampen zuren/organische zuren Biologische behandeling beluchten algen/kroos productie	mineralen concentraat- in toekomst selectieve zoutconcentraten mineralenconcentraat, zuiver water ammoniumzout (sulfaat, nitraat, organisch zuurrest, bicarbonaat) loosbaar water /slib algen/kroos	feed:alternatieve eiwitten/food (niche producten, hoogwaardige eiwitten?) energie
			Extractie	oa humuszuren	
			Precipitatie	minerale zouten	

Bijlage 2 Technieken in processchema's van huidige PMC's

Bedrijf / initiatief:	Ervaring met of specifiek gericht op mest?	Opmerkingen over techniek:	Mech. Scheiding	Microlfiltratie	Bioogas opslag	Vergisting	Compostering	Biologische N verwijdering	Strippen/scrubben NH3	Biofilter	Ongelaste osmose	Drogen en indampen	Pyrolyse of vergassing	Afscheiden forfaat	Korrel/ pellets	Voor-/nabehandeling	Bron	TRL level
TerraOrganic	ja	richt zich op digestaat; bij strippen ook temp. verhoging	X						X			X					https://www.terrawater.de/terra-organic-beschreibung/ https://www.youtube.com/watch?v=7xIVsmGlpzQ	8
Vapora	ja	bij strippen ook temp. verhoging	X						X			X					https://www.vapora.de/de/quelle-und-gaerrestaufbereitung https://www.vapora.de/de/modulebersicht https://www.landwirtschaftskammer.de/duesse/znr/pdfs/2013/2013-10-31-gaerreste-12.pdf https://www.terragie.de/innosep https://www.youtube.com/watch?v=Cv0r1c7wPE https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_193	7
Innosep / Terragie	ja		X														https://www.terragie.de/innosep https://www.youtube.com/watch?v=Cv0r1c7wPE https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_193	8
3R zero emission pyrolysis and phosphorus recovery technology	nee	richt zich op beenderafval											X				https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_193	8
Clean phosphorus recovery from sewage sludge ashes by the Ash2Phos technology	nee	neerslaan Ca3(PO4)2, richt zich op as uit slibverbranding													X		https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_317	8
Nijhuis Genius/Geniaal systeem	ja	vergisten, scheiden (decanter/DAF), strippen, RO	X	X					X		X						https://www.nijhuisindustries.com/resources/uploads/bestanden/solutions/Special-Issue-Advance-Trends-in-Biogas-and-Biorefineries-GENIAAL.pdf https://www.nijhuisindustries.com/resources/uploads/bestanden/Documents/GENIUS_DIGITAL.pdf https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_265	9
Nitrogen recovery - Recovery of ammonium-N from digestate of manure into mineral fertilizer with high content of N	ja	richt zich op dunne fractie mest of digestaat							X								https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_282	9
POUL-AR Poultry manure de-ammonification as pre-treatment for anaerobic digestion	ja	richt zich op droge pluimveemest							X								https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_282	7
Detricon stripping /scrubbing	ja	gaat uit van dunne fractie mest of digestaat etc.							X								https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_296	9
Circular Values / Farmcubes NH3 stripper	ja	strippen							X								https://circularvalues.eu/stikstof-raffinage-mobiel/ https://circularvalues.eu/stikstof-raffinage-stationair/	8
Askove / NH3 stripper	ja	gaat uit van dunne fractie na scheiding; bij strippen ook temp. verhoging							X								https://www.divadvis.nl/nieuws/rundveemest-lokaal-verwerken/1025	8
Mix-fertilizer: Valorization of the digestate from pigmanure as new fertilizers with an organic/mineral base and gradual release	ja	richt zich op maken N-rijke organische meststof uit digestaat							X								https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_257	8
Colsen-AMFER / NH3 stripper	ja	gaat uit van dunne fractie na scheiding; bij strippen ook temp. verhoging							X								https://www.colsen.nl/diensten/n-tengwinning https://www.environmental-expert.com/products/amfer-removal-of-ammonia-from-digestate-wastewater-199945 https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_259	9
Aluvoil Zero waste cycle by the complete valorization of residues from refining of used vegetable oils	ja/nee	mengsel afval plantaardige olie en mest		X	X												https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_263	7
Anaerobic digestion and post-treatments	onduidelijk	vergisting + reeks nageschakelde technieken	X	X		X				X	X						https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_273	9
Digestion and post-treatments	ja	vergisting + reeks nageschakelde technieken		X					X	X	X						https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_209	9
Technology for anaerobic digestion of biowastes and composting by ACEA Pinerolese Industriale, Italy	nee	richt zich op biowaste	X	X													https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_275	9
Technology for processing of raw digestates into microfiltered digestate, to be used in fertigation systems	ja	als voorbehandeling voor irrigatie		X													https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_275	7
Biorganics GmbH / Fliegl	ja	strippen vindt plaats bij temp. verhoging							X			X					https://www.biorganics.de/images/download/flyer.pdf https://www.biorganics.de/images/download/infobrochure.pdf https://youtu.be/Lp3Yg3DKoM	8
Twence/VP Hobe (www.vp-hobe.nl)	ja		X	X	X				X	X	X						https://www.twence.nl/dam/jcr:5fb66ac9-5d32-403b-b8d1-0af963f718ad/Mestverwaarding%20bij%20twence.pdf https://www.twence.nl/dam/jcr:3039d89a-cb41-4922-b2d0-f294af7233f2/Flyer%20mestverwaarding.pdf	8
Fennenoord	ja	gezamenlijke verwerking mest en org. afval	X	X	X				X			X			X		http://fennenoord.nl/hoe-varkensmest-duizenden-deventer-huishoudens-warm-kan-houden-en-je-ruikt-het-niet-eens/ http://fennenoord.nl/samenwerkingsverband-fennenoord-wil-jaarlijks-300-000-ton-mest-verwerken-in-deventer/ http://fennenoord.nl/wat-we-doen/productieproces/	6
Taurus milieutechniek	ja		X						X			X			X		https://www.taurus-mt.nl/mestverwerking	6
ONG / Sikes	nee	gericht op drogen champost											X				https://www.mestverwaarding.nl/kenniscentrum/362/organic-nutrition-group-wil-in-ysselesteyn-op-grote-schaal-champost-gaan-drogen	6
Pyrolyse en Vergassing	ja	richt zich op dikke fractie of droge mest (sluizen)											X				http://nge.at/en/applications/biogenic-waste/	
diverse bedrijven, o.a. Next Generation Elements (NGE) via Dorset, Mavitec, Stercore																	https://www.vcm-mestverwerking.be/nl/nieuws/41/biochar-varianten-mest-als-waardevol-alternatief-voor-verwijdering-van-restmetalen-en-organische-polluenten-uit-afvalwater https://www.mavitecgreenenergy.com/gasifications/ https://regiohollandbovenamsterdam.nl/verhalen/mavitec	6
Upcycling	ja	richt zich op dikke fractie				X											https://www.rvo.nl/actueel/praktijkverhalen/van-biologisch-afval-naar-duurzame-warmte https://biotreatcenter.nl/over-btc/aanjager-hofmanshorst/ https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_292	8
Farm composting: turning your organic waste into stable organic matter and nutrients	ja	richt zich op dikke fractie				X											https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_261	8
Technology for aerobic digestion of biowastes and production of compost by Biociclo, Italy	nee (biowaste)	richt zich op biowaste				X											https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_261	9
Backmixing RO concentrate into dried digestate	ja		X	X							X	X					https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_269	8
In-field acidification for use of Sulphuric acid as a fertilizer	ja	aanzuren mest voor toediening op het land														X	https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_277	9

Bijlage 3 Technieken die niet in huidige PMC processchema's passen

Bedrijf / initiatief:	Ervaring met of specifiek gericht op mest?	Opmerkingen over techniek:	Mech. Scheiding	Verfijning	Biogas upgrading	Compostering	Biologische N verwijdering	Strippen NH3	Schrijven NH3 (luikwast)	Afscheiden fosfaat	Algenweek	(Natte) oxidatie	Ongebluste kalk	Voor/afhandeling	Bron	Toelichting waarom techniek niet past in huidige PMCs	TRL level voor toepassing op mest
P-concentraat:																	
PHORWater: Enhanced phosphorus recovery from wastewater sewage to recover a high quality struvite	nee	richt zich op afvalwater; bezinking, biologische behandeling (defosfatering?), vergisting, struvietwinning uit slibontwatering/bezinking en digestaat								X					https://nutrivan.net/farmer-platform/technology/id_207	Is wel toegepast in waterzuivering, niet op mest. Maar past dus niet op dikke fractie route 4.	2
Struvite production from pig manure digestate	ja	richt zich op digestaat								X					https://nutrivan.net/farmer-platform/technology/id_256	is ontwikkeld voor digestaat	5
Struvite recovery plant WWTP Madrid Sur	nee	richt zich op afvalwater; bezinking, biologische behandeling, vergisting, struvietwinning uit slibontwatering/bezinking en digestaat								X					https://nutrivan.net/farmer-platform/technology/id_252	Is wel toegepast in waterzuivering, niet op mest. Maar past dus niet op dikke fractie route 4.	9: waterzuivering 3: mest
REVAWASTE - Integral and sustainable system for multi-waste recycling and valorisation	nee	struvietwinning uit digestaat van bio-afval								X					https://nutrivan.net/farmer-platform/technology/id_258	Is wel toegepast in waterzuivering, niet op mest. Maar past dus niet op dikke fractie route 4.	7: waterzuivering 1: mest
NURESYS Struvite Phosphorus Recovery	nee	struvietwinning uit slibontwatering en digestaat van waterzuivering								X					https://nutrivan.net/farmer-platform/technology/id_294	Is wel toegepast in waterzuivering, niet op mest. Maar past dus niet op dikke fractie route 4.	8: waterzuivering 2: mest
CCS: winning struviet en N-concentraat	ja	bij strippen ook temp. verhoging	X	X			X	X	X						https://www.mestverwaarding.nl/kenniscentrum/10/cs-ontwikkelt-nieuwe-technologie-voor-mestverwerking	is toegepast op digestaat (De Marke, Hengelo), niet op dikke fractie route 4.	5
(De)nitrificatie:																	
Blue tector	ja	toepassing MBR en Anammox	X				X								https://www.bluetector.com/	Voor zover bekend is Anammox niet eerder op mest gebruikt. N afbraak past niet in PMCs, is kritisch i.v.m. kringlopen sluiten. Nog niet ontwikkeld voor mest.	5
Vergisting en gerelateerd:																	
Anaerobic digestion (VFG) and post composting treatments	nee	Thermofiele 'droge' vergisting van GFT, daarna weer wat GFT toevoegen en composteren	X	X	X										https://nutrivan.net/farmer-platform/technology/id_271	Vergisten dik materiaal niet in PMCs aanwezig. Kan eventueel wel in PMCs 4-7 om bc te verbeteren.	5
Diverse technologieën:																	
Heterotrophic microalgae-based wastewater treatment	nee	richt zich op afvalwater									X				https://nutrivan.net/farmer-platform/technology/id_253	Nergens in PMC's geformuleerd; algenweek als methode om afvalwater te verwerken tot 'suitable for reuse' - niet echt voor mest	7
(Natte) oxidatie	ja	Kwijtraken organische stof + omzetten NH3/NH4+ in N2; bij kamertemperatuur/druk met chemicaliën of bij (zeer) hoge druk/hoge temp met alleen lucht									X				https://emis.vito.be/sites/emis.vito.be/files/pages/mi-grated/bbt_mestverwerking.pdf Zie par 4.16 Overige technieken, p. 246	Afbraak OS gewenst? Is wel nieuwe techniek voor mest. Maar kosten te hoog en werkt nog niet goed.	4
Kalkbehandeling (ongebliste kalk)	ja	Hygiënisatie / strippen: toevoegen ongebluste kalk resulteert in hoge temp. en hoge pH										X			https://emis.vito.be/sites/emis.vito.be/files/pages/mi-grated/bbt_mestverwerking.pdf Zie par 4.16 Overige technieken, p. 250	Lijkt niet toepasbaar op mest. Wat is bouwstof? Wordt alles 100% benut? Is een stripproces om N te strippen.	7
In-field acidification for use of Sulphuric acid as a fertilizer	ja	aanzuren mest voor toediening op het land											X		https://nutrivan.net/farmer-platform/technology/id_277	Is gericht op emissie, niet op mestbewerking.	9

Bijlage 4 Technieken met producten buiten de landbouwkundige toepassing

Bedrijf / initiatief:	Ervaring met of specifiek gericht op mest?	Opmerkingen over techniek:	Nanofiltratie	Biologische N verwijdering	Winnig humuszuren	Elektroforese / Elektrodialyse	Winnig cyanophycine met enzymen	Winnig fumaarzuur met enzymen/schimmels	Winnig furfural en kevelinezuur	Winnig PHA's	TRL level voor toepassing op mest	Bron
Humuszuren uit varkensmest (Opure/Triqua/Darling Ingredients)	ja	richt zich op dunne fractie	X	X	X						8	http://www.skiw.nl/images/download/190130-NWS-Terugwinning-humuszuren-AV.pdf
Elektroforese/Elektrodialyse (EF/ED) (TU Eindhoven)	ja	terugwinning eiwit uit drijfmest; concentratie eiwit in mest bijzonder laag				X					4	https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/2194727/621056.pdf
Winnig cyanophycine uit varkensdrijfmest	ja						X				2	https://edepot.wur.nl/138781
Winnig fumaarzuur uit rundermest	ja							X			2	https://edepot.wur.nl/138781
Stoomproces	ja	fysisch/chemische ontsluiting org. matrix							X		4	eventueel route 2?
PHA fermentatie	nee									X	0	

Bijlage 5 Format van beschrijvingen technieken

Naam technologie

Beschrijving technologie	<i>Korte beschrijving van de technologie. Eventueel vermelden van specifieke proceskenmerken.</i>
Producten	<i>Welke producten worden geproduceerd met de technologie in verwaardingsroutes voor mest?</i>
Huidige toepassing	<i>Waar / waarvoor wordt de technologie op dit moment toegepast? (indien van toepassing).</i>
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	<i>Voor welke toepassing(en) kan de technologie in mestverwaardingsroutes worden ingezet?</i>
Welk probleem wordt aangepakt	<i>Welk probleem wordt met de technologie aangepakt?</i>
Voor- en nadelen	<i>Wat zijn de voor- en nadelen van deze technologie?</i>
Knelpunten	<i>Welke knelpunten staan introductie in de markt in de weg? (Technisch, wet- en regelgeving, kosten, etc.)</i>
Ontwikkelpunten	<i>Wat zijn de specifieke ontwikkelpunten van deze technologie?</i>
Duurzaamheid / milieuaspecten	<i>Wat zijn specifiek positieve of negatieve effecten van de technologie op milieu- en/of duurzaamheidsaspecten?</i>
Bedrijven	<i>Welke bedrijven ontwikkelen deze technologie of passen deze technologie toe voor het verwaarden van mest?</i>
Verwachting	<i>Gaat de branche deze technologie toepassen? Verwachting op basis van bijv. mate van verschil ten opzichte van alternatieven, resterende knelpunten, ontwikkeltijd, kosten, milieu voor-/nadelen</i>
Bronnen	

Bijlage 6 Beschrijvingen van optimalisatie technieken

P concentraat

Fosfaat extraheren

Beschrijving technologie	<p>Zowel bij mest / digestaat als zuiverings-slib is het ook mogelijk om fosfaat terug te winnen uit de vaste fractie door eerst aan te zuren en vervolgens fosfaatprecipitaten te vormen (mest: (Schoumans et al., 2013 en 2017; en slib; Regelink et al., 2016). Momenteel wordt deze doorontwikkeling in de praktijk getest in het kader van het topsectorproject Meerwaarde Mest en Mineralen en wordt ook een grootschalige toepassing voor mest gebouwd bij Groot Zevert Vergisting voor demonstratiedoeleinden in het kader van H2020 project SYSTEMIC. Een belangrijk aandachtspunt is dat een deel van de organische componenten in het calciumfosfaat/magnesiumfosfaat product terecht komen. Doordat de mest moet worden aangezuurd (bijv. met zwavelzuur) is er daarnaast ook sprake van sulfaatophoping in het calcium/magnesium-fosfaatproduct.</p> <p>WR heeft onderzoek verricht naar de valorisatie van champost op basis van tegenstroom fosfaat-extractie. Het onderzoek is in opdracht van Koepelproject Reststromen Paddenstoelen-teelt uitgevoerd. Extractie vindt plaats in kolomproces met een zwavelzuuroplossing als extractiemiddel. Focus lag op de OS en niet op het P2O5-rijke extract cq spoelvlloeistof. De uitvoering is daarom anders dan de reeds bekende techniek uit PMC route 4 (extractie via kolom vs mengen+scheiden). Door de tegenstroom-extractie wordt het gebruik van zuur geminimaliseerd.</p> <p>Extractierendement op P2O5-gehalte van 70% blijkt mogelijk tot een concentratie in de overblijvende organische stof van 1.0 kg fosfaat per ton OS.</p>
Producten	Opgewerkte champost met een fosfaatgehalte van 1.0 kg per ton en tevens sterk verlaagde K- Na- en Mg-gehalten.
Huidige toepassing	Toepassing van de technologie is onduidelijk. Projectparticipanten zijn met de technologie verder gegaan maar de status thans is onduidelijk.
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Technologie is relevant voor het vergroten van de afzetmogelijkheden van de vaste mestfractie en daarnaast de ontwikkeling van een fosfaatrijk nevenproduct.
Welk probleem wordt aangepakt?	De verwijdering van fosfaat uit vaste mest. Tevens verwijdering van Mg, Na en K.
Voor- en nadelen	Voordelen: Fosfaat-arme champost als organisch bodemverbeteraar is een gewenst product. Onduidelijk is of de lage K- Na- en Mg-gehalten in fosfaatarme champost wel gewenst zijn.

	Nadelen: Er worden extra kosten gemaakt o.a. voor inzet van zwavelzuur. De business case is vooralsnog onduidelijk / mogelijk positief, en hangt voornamelijk af van de waarde van het fosfaatarme product.
Knelpunten	Maximale batchgrootte van de champost in het project was 1 m3. Opschalen van de technologie is vereist, kolom hoogte zal waarschijnlijk limiterend zijn maar kan verholpen worden door meerdere systemen parallel te opereren.
Ontwikkelpunten	Naast het opschalen is ook onderzoek noodzakelijk naar het vaststellen van de geschikte procescondities voor mest. Met name de stabiliteit van het bed in de kolom tijdens extractie is niet vanzelfsprekend. Er dient ook gekeken te worden naar de samenstelling van de mest- en reststromen.
Duurzaamheid / milieuaspecten	Het proces vraagt inzet van zwavelzuur als proces extractiemiddel. Toepassing van de organische stof draagt bij aan de duurzaamheid van de landbouw.
Bedrijven	De toepassing van de technologie op mest is onbekend.
Verwachting	
Bronnen	Valorisatie champost op basis van fosfaatextractie: https://edepot.wur.nl/444234 https://www.wur.nl/upload_mm/a/b/4/220225bc-0a20-4881-85c5-7e0c399a6_Presentatie%20project%20Fosfaatarme%20Champost.pdf

Vergisting en gerelateerd

Cavitatie

Beschrijving technologie	Bij cavitatie wordt met een zeer snel draaiende schroef organisch materiaal vermalen. Achter de schroef wordt de dampdruk verlaagd. De mechanische afschuifkrachten zorgen voor implosie van de cavitatie bellen. Hierdoor worden de celwanden in het organisch materiaal open gebroken en tegelijkertijd gehomogeniseerd. De OS in de cellen is hierdoor beter beschikbaar voor vergisting. Het product is ook beter verpompbaar.
Producten	Mest wordt gehomogeniseerd, versneden en de celwanden opengeboken.
Huidige toepassing	Het wordt toegepast als voorbehandeling voor de vergisting. Als voorbeeld, in Italië behandelt men druivenafval (vellen en pitten) hiermee voor de vergisting. Wordt ook al toegepast als voorbehandeling voor dunne fractie bij omgekeerde osmose.
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Garuti et al (2018) melden bij deze voorbehandeling een 10% hogere methaanproductie bij vergisting van maismeel en melasse. In Nederland zou het ingezet kunnen worden bij vergisten van mest.
Welk probleem wordt aangepakt	De ontsluiting van celwanden bij materiaal met veel lignine/(hemi) cellulose.
Voor- en nadelen	Voordelen: Input materiaal wordt beter geschikt voor een biogasplant. Ook hogere ds% mogelijk in de vergisting (16%). Goede verpompbaarheid.

	Nadelen: de energie input (geen gegevens over).
Knelpunten	n.v.t.
Ontwikkelpunten	Geen
Duurzaamheid / milieuaspecten	n.v.t.
Bedrijven	
Verwachting	Extra opbrengst aan biogas zal afgewogen moeten worden aan extra operationele kosten. Bij alleen mest is het waarschijnlijk niet haalbaar, mogelijk wel als mest gemengd wordt met andere biomassa.
Bronnen	Garuti, M., M. Langone, C. Fabbri & S. Piccinini. 2018. Monitoring of full-scale hydrodynamic cavitation pretreatment in agricultural biogas plant, Bioresource Technology, Volume 247, January 2018, Pages 599-609 En ManuResource presentatie van Sergio Piccinini (2019) https://nutriman.net/farmer-platform/technology/id_262

Opwaarderen Biogas naar Aardgaskwaliteit ('Groen Gas')

Beschrijving technologie	<p>Bij het produceren van biogas uit mest wordt een mengsel van voornamelijk methaan (CH₄), kooldioxide (CO₂), waterdamp (H₂O) en waterstofsulfide (H₂S) geproduceerd. De combinatie van waterdamp, ammoniak (NH₃) en H₂S kan tot corrosie leiden van leidingwerk, gasmotors, turbines etc. Daarom dient het biogas behandeld te worden door het meeste vocht, NH₃ en H₂S te verwijderen voordat het aan het aardgasnetwerk kan worden toegevoegd.</p> <p>De simpelste manier om H₂S grotendeels te verwijderen is het toevoegen van een kleine hoeveelheid lucht aan de gasopslag. Dit heeft als gevolg dat er biologische reductie tot elementair zwavel plaats vind. Het is ook mogelijk de H₂S uit het biogas te verwijderen door oxidatie met ijzer of actieve kool, het biologisch te verwijderen met een biotrickling filter of te scrubben met loog.</p> <p>Na de verwijdering van de waterstofsulfide (H₂S) moet het biogas verder worden ontwaterd en een andere CH₄ : CO₂ moet worden bereikt voordat het aan de kwaliteit voldoet voor het aardgasnet. Ontwatering vind plaats aan de hand van compressie van het gas terwijl het concentreren van methaan gebeurt met membraan technologie. CO₂ wordt opgevangen als permeaat van de membranen waardoor er een hoge concentratie van methaan overblijft. Dit biogas kan of worden toegevoegd aan het aardgasnetwerk of verder worden verwerkt tot brandstof voor voertuigen.</p>
Producten	<p>Biogas dat voldoet aan de eisen zoals die gelden voor aardgas (ook wel 'groen gas' genoemd), zodat het biogas toegevoegd kan worden op het normale gasnet.</p> <p>Een gasstroom met een hoge concentratie CO₂.</p>
Huidige toepassing	<p>Op een aantal locaties in Nederland, en ook elders in de wereld, wordt biogas uit mestvergisting en vergisting van andere organische stoffen opgewaarderd tot 'groen gas'.</p>

Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Wanneer vergisting deel uitmaakt van een mestverwerkingsproces kan dit eventueel opgewaardeerd worden tot 'groen gas', afhankelijk van de schaalgrootte.
Welk probleem wordt aangepakt	<p>Wanneer het biogas niet opgewerkt wordt tot 'groen gas', kan het niet in het reguliere net worden gevoed en zal het op een andere wijze moeten worden gebruikt.</p> <p>Daarnaast heeft Nederland een grote ambitie t.a.v. groen gas: 70 PJ in 2030 terwijl de productie nu 5 PJ is (en als alle biogas opgewerkt zou worden: 14 PJ). Het opwaarderen van biogas tot groen gas kan hieraan bijdragen.</p>
Voor- en nadelen	<p>Voordelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Het biogas kan na opwerking afgezet worden als 'groen gas' in het aardgasnet. - Potentie om gebruik te maken van SDE subsidie. - Mogelijkheid om kwaliteit minder te houden en interne processen te voorzien van energie i.p.v. gas te leveren aan gasnet (zie knelpunten). <p>Nadelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Het opwerken tot aardgaskwaliteit vereist wat technische stappen in het verwerkingsproces en verhoogd daarmee de productie kosten.
Knelpunten	<p>Het is niet altijd nodig om biogas op te werken tot aardgaskwaliteit. Dit hangt o.a. af van de schaalgrootte en het subsidie regiem.</p> <p>Het alternatief is om het biogas te verbranden in een gasmotor of WKK en op deze wijze elektriciteit en warmte te produceren. Het product is dan geen 'groen gas' maar 'groene elektriciteit' en 'groene warmte'.</p> <p>Daarnaast is het denkbaar dat er naast het aardgasnet een aparte infrastructuur voor biogas wordt gerealiseerd, bijv. naar een nabijgelegen melkfabriek. Het gevolg daarvan is dat het biogas niet of in elk geval (veel) minder ver hoeft te worden opgewerkt en toch afgezet kan worden.</p>
Ontwikkelpunten	n.v.t.
Duurzaamheid / milieuaspecten	<p>Het opwerken van biogas tot aardgaskwaliteit is kapitaal- en energie-intensief.</p> <p>Wanneer het biogas rechtstreeks kan worden gebruikt voor elektriciteits- en warmteproductie, of afgezet kan worden als biogas, is dat wellicht een duurzamere oplossing.</p>
Bedrijven	<p>O.a. DMT, https://www.dmt-et.nl</p> <p>BIOGAS WORLD</p>
Verwachting	Het hangt af van de business case of opwerking van biogas naar groen gas economisch interessant is. Op het gebied van de techniek worden geen ontwikkelingen verwacht.

Bronnen	<p>https://www.biogasworld.com/product-category/biogas-management/upgrading/</p> <p>https://www.europeanbiogas.eu/dmt-builds-largest-biogas-upgrading-installation-in-the-world/</p> <p>https://bioenergyinternational.com/biogas/dmt-to-supply-worlds-largest-biogas-membrane-upgrading-installation</p> <p>https://www.dmt-et.com/dmt-clear-gas-solutions-wins-project-of-the-year-award/</p> <p>https://www.mestverwaarding.nl/kenniscentrum/1208/informatiedocument-groen-gas-feiten-en-cijfers.</p>
---------	---

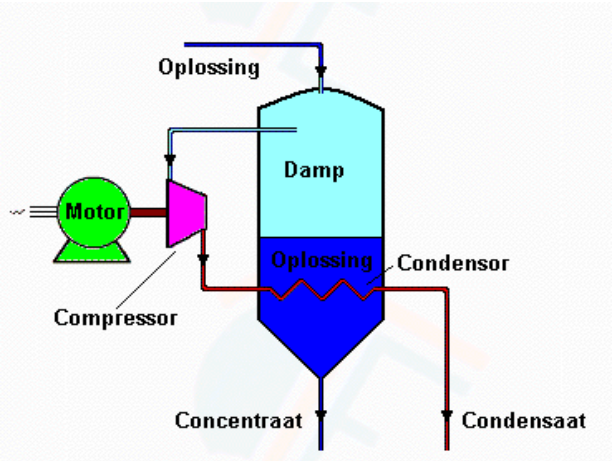
Thermische Druk Hydrolyse

Beschrijving technologie	<p>Bij TDH worden moeilijk toegankelijke verbindingen voor biogasproductie beter ontsloten door het gebruik van verhoogde temperatuur en druk (typisch 140-160 °C en 4 -10 bar) met een reactietijd van 30-60 min. Dit verhoogd de biogasproductie en een bijkomend effect is dat de viscositeit van slib-water mengsel daalt, waardoor hogere droge stof percentages in de vergisting mogelijk zijn met behoud van goede menging. Om de hoge temperatuur te bereiken wordt gebruik gemaakt van de restwarmte uit de rookgassen van warmtekrachtkoppelinginstallaties. De hoogwaardige warmte uit de rookgassen wordt overgedragen op thermische olie en gebruikt voor de verwarming van het substraat voor de biogasproductie. Door de toepassing van warmtewisselaars op de uitgaande stroom en ingaande stroom wordt de totale warmtevraag geminimaliseerd.</p> <p>Testen met mest lieten voornamelijk problemen zien in het mengen met maisstro en het rondpompen van gemengde fracties met maisstro.</p>
Producten	Er wordt gemeld dat de afbraak van de organische droge stof uit secundair slib met 34 procent tot 67 procent toenam; de biogasproductie nam in gelijke mate toe.
Huidige toepassing	<p>Zowel in Duitsland als in Nederland is het systeem op praktijkschaal getest op RWZI's. Er zijn ook testen met mest uitgevoerd (Hoeksma 2013).</p> <p>De techniek wordt ook toegepast in de voedingsmiddelenindustrie.</p>
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Zou een voorbehandeling voor de vergisting kunnen zijn.
Welk probleem wordt aangepakt	Dat de biogasproductie vaak te laag is voor een goed rendement.
Voor- en nadelen	<p>Voordelen: Hogere biogasproductie; de gehele meststroom wordt gehygiëniseerd.</p> <p>Nadelen: Bevuiling en scaling.</p>
Knelpunten	Hoge energie kosten om proces te laten functioneren. Misschien dat in combinatie met nieuwe stalsystemen met scheiding aan de bron, waar de methaanopbrengst fors hoger is, het systeem toch rendabel gemaakt kan worden.

Ontwikkelpunten	Het systeem zou toegepast moeten worden bij hogere d.s. %'s
Duurzaamheid / milieuaspecten	Hogere gasproductie is meer duurzame energie. Maar ook meer afbraak van OS, die niet beschikbaar wordt voor bodem. Terugwinnen warmte is positief.
Bedrijven	Cambi, Veolia, HoSt
Verwachting	Het systeem kan d.s.-percentages verwerken van 5-8%. Er zal dus een flinke slag gemaakt moeten worden om het toe te kunnen passen op mest. Verder is de kostenstructuur in de veehouderij heel anders dan in de waterzuivering. Verwachting is dat de extra opbrengsten uit mestvergisten niet zullen opwegen tegen de extra kosten van het systeem.
Bronnen	https://edepot.wur.nl/339052 Hoeksma 2013: https://edepot.wur.nl/273734

Drogen van (dikke fractie van) mest of ontwateren

Mechanische Damprecompressie

Beschrijving technologie	 <p>Deze technologie is gebaseerd op het condenseren van een gas onder hoge druk. Door condensatie ontstaat warmte waarmee de vloeistof wordt opgewarmd en verdamping optreedt, waarna deze damp wordt afgezogen en onder druk gebracht wordt en condenseert. Het is een warmte pomp systeem. Er zijn verschillende varianten mogelijk bijvoorbeeld met een membraan tussen vloeistof en damp (combinatie met membraandestillatie).</p>
Producten	Geconcentreerd concentraat (verwacht wordt dat 30 x geconcentreerder dan omgekeerde osmose haalbaar is, praktisch blijkt nu 8 tot 10 keer te halen) en een condensaat (water).
Huidige toepassing	Techniek wordt nu ingezet voor andere processtromen (bijvoorbeeld voedingsmiddelenindustrie en ontzilten van water).

	<p>Hellebrekers/Wolbers heeft geëxperimenteerd met membraandestillatie i.c.m. mechanische dampcompressie voor dunne fractie mest, vanwege dichtslibben membraan is dit niet verder ontwikkeld.</p> <p>Holmel BV heeft getest voor verdere opwerking dunne fractie. In pilot uitgevoerd systeem werkte: factor 25 concentreren van de dunne fractie was mogelijk en water was losbaar. (I.v.m. probleem vergunning niet op praktijschaal gerealiseerd)</p> <p>Meertraps dampcompressie wordt sinds 2019 toegepast op dunne fractie digestaat bij Rijnen Varkens in Oirschot. Leverancier is VP-Hobe. Eindproducten zijn N-concentraat, K-concentraat (met P en org. stof), gedroogde mest, water (na RO polishing). Terramas, Funki Manura en Van Aspert pasten deze techniek ook toe.</p>
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Verwacht wordt dat er een sterk geconcentreerd product gemaakt kan worden factor 25. Bijvoorbeeld voor PMC grondstof voor K-oplossing (echter met zouten en organische stoffen).
Welk probleem wordt aangepakt	Reduceren van watertransport, produceren geconcentreerder vloeibaar mestproduct.
Voor- en nadelen	Theoretisch valt er een transportvoordeel te behalen
Knelpunten	<p>Mogelijke knelpunten kunnen zijn, kristallisatie, verdamping andere componenten dan water (ammoniak, vluchtige vetzuren).</p> <p>Afvoer van non-condensables</p>
Ontwikkelpunten	Wordt nog niet breed ingezet voor mestverwerking. Techniek moet zich nog bewijzen in de praktijk.
Duurzaamheid / milieuaspecten	Als energie consumptie van de techniek inderdaad vergelijkbaar is aan RO en het product geconcentreerder is dan kan bespaard worden op transport en daarmee brandstof/energie (t.o.v. RO ten minste).
Bedrijven	Holmel B.V., Hellebrekers, VP Hobe (www.vp-hobe.nl)
Verwachting	Verwacht wordt dat deze techniek na verdere ontwikkeling in te zetten is. Mogelijk is het water (condensaat) niet losbaar omdat ook andere componenten kunnen verdampen en condenseren. Naschakeling van RO en ionenwisselaar is mogelijk om dit te verbeteren.
Bronnen	<p>https://www.commissiener.nl/projectdocumenten/00004004.pdf</p> <p>https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/projecten/indamping-digestaat-met-mechanische-dampcompressie</p> <p>https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/projecten/mest-eigen-beheer</p>

	Bron plaatje: https://www.deconsult.nl/Paginas/Elektrotechnologie/el_mdc.html
--	--

Totaal-systeem: productie van N-concentraat, P-concentraat, loosbaar water en dikke fractie

Beschrijving technologie	<p>The diagram illustrates a multi-stage process. It starts with 'Manure' and 'Acid' entering a 'Conditioning' stage. The output goes to 'Phosphorus Precipitation', which also receives 'Base' input. This stage produces a 'Solid fraction' and a 'Liquid fraction'. The 'Solid fraction' goes to a 'Superheated steam dryer' to produce 'Organic Soil Improver'. The 'Liquid fraction' goes to 'NH3 Recovery', which also receives 'Acid' input. 'NH3 Recovery' produces 'NH3' gas and a 'P-free liquid'. The 'NH3' is used to produce 'N-fertiliser'. The 'P-free liquid' goes to a 'Vacuum evaporator', which produces 'K-rich concentrate' and 'Reclaimed water'.</p>
	<p>mont</p> <p>Een systeem waar drijfmest of digestaat wordt gescheiden in diverse fracties: een dikke fractie, ammoniumsulfaat, een fosfaat-zout en een resterende dunne fractie.</p> <p>Dunne fractie wordt via eerste en tweede filtratie (2µm) van organische delen ontdaan.</p> <p>Daarna wordt de pH verhoogd, P slaat neer en wordt gefilterd.</p> <p>Daarna wordt het 'Ammoniumwasser' behandeld: verdere verhoging pH waarna ammonium verdampt als NH₃ en wordt met zuur teruggewonnen.</p> <p>Resterende dunne fractie kan evt. nog verder biologisch worden behandeld, m.n. wanneer bijv. ureum nog niet volledig is verwijderd uit de dunne fractie.</p>
Producten	Dikke fractie (P-arm OS product, kan verder gedroogd worden) Fosfaat-zout: 15-22% P ₂ O ₅ , 40-45% droge stof Ammoniumsulfaat Ingedampte dunne fractie
Huidige toepassing	Er zijn twee varianten in de markt (TRL6/7): van de firma Suez/Fraunhofer (grote organisaties) en van de firma Geltz. Geltz gaf in 2019 in een gesprek aan dat in Nedersaksen de eerste twee installaties worden gebouwd. Suez schrijft dat de eerste grootschalige installatie gebouwd gaat worden.
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Verwerking drijfmest, decentraal en op boerderijschaal Mogelijk alternatief voor de verwerkingslijn van dunne fractie.

Welk probleem wordt aangepakt	Verwijderen N en P uit dunne fractie geeft mogelijkheden voor afzet regionaal van waterige fracties.
Voor- en nadelen	<p>Voordelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - toepassing lijkt bijna praktijkrijp - Misschien kan de eerste scheiding in dikke en dunne fractie eenvoudiger of op boerderijniveau, waardoor andere kosten worden vermeden. Hierdoor zou gebruik van o.a. polymeren en vlokmiddelen niet meer nodig zijn. - Kostprijs volledig proces volgens Geltz €13/ton bij 70.000 ton/jaar. Calculatie laat zien dat terrein, opslag e.d. niet is meegenomen. Ook bij kosten voor zuur wordt uitgegaan van 'afvalzuur', uitgangspunt is ook dat mest aan de poort wordt geleverd. - Compact van bouw <p>Nadelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - dikke fractie wordt – na van een deel van de fosfaat te zijn ontdaan – niet verder verwerkt. - Grote hoeveelheden zuur en base nodig
Knelpunten	
Ontwikkelpunten	
Duurzaamheid / milieuaspecten	<p>Scheiding P en N van dunne fractie</p> <p>Zuren nodig</p>
Bedrijven	<p>Zie boven: Geltz en Suez (Germany).</p> <p>BioEcoSim is de voorganger van het systeem. Dit was een initiatief van het Duitse Fraunhofer, een groot privaat onderzoeksinstituut. Geltz was de constructeur. Wageningen Economic Research was ook partner. Fraunhofer is op een gegeven moment met Suez Germany in zee gegaan, dit heet nog steeds BioEcoSim.</p> <p>Firma Geltz heeft op eigen houtje het systeem verder doorontwikkeld. Sinds ±2010 werkt Geltz aan het systeem, o.a. gefinancierd via een Europees project en een Duits project. Geltz is werkzaam in diverse sectoren. Ze kennen twee varianten: Nutrisep: 10m³/uur, en kleinschaliger (boerderijniveau) PhosKaDemo: 1 m³/uur</p>
Verwachting	Moeilijk in te schatten.
Bronnen	<p>http://geltz.de/anlagenbau/guelle-und-gaerrestanlagen/</p> <p>https://www.vcm-mestverwerking.be/nl/kenniscentrum/5331/ivan-tolpe-prijs-2017</p> <p>https://cdn.digisecure.be/vcm/2018212143142972_brochure-p-recuperatie-vcm.pdf</p> <p>Filmpje van kleine unit (in container) is te zien op: https://www.youtube.com/watch?v=dW0c2COIjQ0</p> <p>Filmpje van BioEcoSim: https://www.youtube.com/watch?v=bxUxcHK_9F0</p>

'Ontkalken' van dunne fractie drijfmest

Beschrijving technologie	Dit is een behandeling van de dunne fractie, om meer rendement te halen uit omgekeerde osmose. Het is een techniek die voor ontkalken van o.a. koeltorens wordt gebruikt. De techniek kan ook bijdragen aan het voorkomen van kalkafzettingen bij indampprocessen (warmtewisselaars). Er zijn geen chemicaliën voor nodig. Door gecontroleerde cavitatie (vortex cavitation) gaat het calcium in de mest een verbinding aan met de carbonaten. Deze vaste deeltjes zijn zwaarder dan water. Dit wordt afgevangen in een sceptertank. Om de x tijd wordt dit over de zeefband geflushed. De CaCO ₃ -deeltjes zijn zo groot dat ze in de dikke fractie blijven. Met deze techniek zou ongeveer 80% van de Ca uit de mest worden verwijderd.
Producten	Geen eindproducten. Ca dat in het mineralenconcentraat zou komen komt nu in de dikke fractie.
Huidige toepassing	Is een bekende techniek bij o.a. koeltorens om water te ontkalken. Circular Values past dit inmiddels toe als standaardbehandeling van de dunne fractie. Praktijkervaring hiermee is ongeveer anderhalf jaar.
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Bij verwerking van drijfmest waar (omgekeerde) osmose wordt toegepast.
Welk probleem wordt aangepakt	Omgekeerde osmose is een veel gebruikte techniek om water uit drijfmest te halen. Een aantal waterschappen e.d. stellen de techniek ook verplicht om water te mogen lozen. RO kost echter veel energie, de rendementen zijn relatief laag, en slijtage is groot. Deze voorbehandeling doet rendement en levensduur significant stijgen. Circular Values noemde de volgende cijfers: Eerste installatie (in Someren) draait nu anderhalf jaar. De ontwatering in de omgekeerde osmose is 70 à 75%. De membranen zijn nog niet aan vervanging toe.
Voor- en nadelen	Voordelen van de ontkalking voor RO zijn: Hogere rendementen verwijderen water Minder slijtage bij de RO Geen chemicaliën nodig voor deze stap Waarschijnlijk eenvoudig in te bouwen in bestaande installaties Nadelen: extra investering
Knelpunten	Niet bekend
Ontwikkelpunten	
Duurzaamheid / milieuaspecten	Minder energieverbruik per m ³ drijfmest Besparing op opslag, transport en aanwendingskosten
Bedrijven	Circular Values, www.circularvalues.eu .
Verwachting	Serieuze verbetering voor bestaande en nieuwe verwerkers drijfmest. Extra investering kosten kunnen snel terug gewonnen worden door verbetering van ontwatering in osmose systemen
Bronnen	https://www.pathema.nl/nl/ivg-il

Gebruik adsorptiemiddelen voor 'polishing'

Beschrijving technologie	<p>Adsorptiemiddelen kunnen toegepast worden om de kwaliteit van het effluent na de biologische zuivering, indampen of omgekeerde osmose aan de geldende lozingsnormen aan te passen. Het is een bestaande aanvullende techniek.</p> <p>Adsorptie is een effectief behandelingsproces voor het verwijderen van een brede variëteit aan verbindingen. Het meest toegepaste adsorbens is actieve kool dat vooral geschikt is voor meer apolaire verbindingen. Adsorptie aan andere media worden toegepast voor de verwijdering van meer polaire stoffen uit het effluent, zoals natuurlijke of synthetische zeolieten en natuurlijke kleimineralen.</p> <p>Een adsorptie-installatie bestaat meestal uit twee fixed bed kolommen. Beiden kolommen worden neerwaarts doorstroomd bedreven en beurtelings periodiek door terugspoeling gewassen. Na verloop van tijd raakt het adsorbens verzadigd en vermindert de werking tot het filter uiteindelijk niets meer opneemt en de vervuiling aan het einde met het afvalwater meekomt (doorslaat).</p>
Producten	Gezuiverd water. (en eventueel regeneratievloeistof).
Huidige toepassing	In de communale en industriële waterzuiveringsinstallaties en mestverwerkingsinstallaties met RO of indamping worden adsorptiekolommen veelvuldig toegepast voor polishing van effluent.
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Polishing van effluent.
Welk probleem wordt aangepakt	Wanneer het effluent van mestverwaardingsroutes niet voor alle componenten voldoet aan de gestelde normen voor lozing, kunnen adsorptiekolommen uitkomst bieden.
Voor- en nadelen	<p>Voordelen: Het bedrijven van adsorptiekolommen is eenvoudig en vergt weinig toezicht en onderhoud. Afhankelijk van de te verwijderen restvervuiling kan een adsorptiemiddel worden gekozen. Door de contacttijd met het adsorbens aan te passen kan het gewenste rendement bijna in alle gevallen bereikt worden. Het energieverbruik is gering.</p> <p>Nadelen: Een belangrijk nadeel is de lage beladingsgraad die in principe behaald wordt (1-5%). Hierdoor is een grote kolom en dus een grote hoeveelheid adsorbens nodig. Dit zorgt weer voor hoge investerings- en operationele kosten. Bij dalende influentconcentraties is desorptie mogelijk, waarbij het effluent steeds meer vervuiling uit de kolom meeneemt. De operationele kosten zijn relatief hoog en bestaan met name uit vervanging van het adsorptiemiddel. Om deze reden wordt de techniek ingezet voor polishing van effluenten.</p>
Knelpunten	Geen knelpunten.
Ontwikkelpunten	De ontwikkeling in adsorptietechnologie richt zich op het gebruik van adsorptiemiddelen met een kleinere deeltjesgrootte. Een factor 3 kleinere deeltjes (200µm ipv 600 µm) resulteert in een 10x snellere massaoverdracht. Dus in plaats van toepassing van grote langzame kolommen, richt de ontwikkeling zich op de inzet van kleine snel schakelbare kolommen.
Duurzaamheid / milieuaspecten	<p>Er treden geen emissies op bij adsorptieprocessen.</p> <p>Het energieverbruik is laag.</p> <p>Reststroom met contaminanten</p> <p>Regeneratie hars m.b.v. regeneratievloeistof</p>
Bedrijven	
Verwachting	<p>Vooralsnog worden bij mestverwerkingsprocessen enkel ionenwisselaars toegepast om (met name) lage restconcentraties ammoniak uit het permeaat van omgekeerde osmoseprocessen te verwijderen.</p> <p>Strengere of aanvullende lozingsnormen kunnen aanleiding geven tot een grotere behoefte aan inzet van adsorptiekolommen.</p>

Bronnen	STOWA 2002: https://edepot.wur.nl/118746 https://emis.vito.be/sites/emis.vito.be/files/pages/migrated/bbt_mestverwerking.pdf Zie par 4.16 Overige technieken, p. 235, p. 243
---------	---

Bijlage 7 Beschrijvingen van doorbraak technieken

P-concentraat

Fosfaatterugwinning met ijzercomplexen

Beschrijving technologie	In een lopend PPS-onderzoek bij WFBR wordt nieuwe technologie ontwikkeld waarmee selectief fosfaat uit dierlijke mest kan worden gescheiden met behulp van ijzer als hulpstof dat wordt teruggewonnen. Er wordt gebruik gemaakt van aangezuurde mest (waarbij fosfaat opgelost is) en van de paramagnetische eigenschappen van "ijzer-complexen". De ontwikkeling staat nog in de kinderschoenen, wel is een Proof-of-Principle beschikbaar (overigens niet met mest).
Producten	Calciumfosfaat Restproduct is P arme mest
Huidige toepassing	Labonderzoek is nog gaande voor toepassing op mest.
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Als zuivere fosfaatbron geschikt voor de productie van fosforzuur
Welk probleem wordt aangepakt	<p>Nederland heeft onvoldoende plaatsingsruimte voor fosfaat uit varkensmest (een tekort voor 32 mln. kg fosfaat, CBS 2019). Door deze techniek krijgt dierlijke mest meer toegevoegde waarde. Akkerbouwers wordt de mogelijkheid geboden om per eenheid P meer organische stof aan te voeren. De organische stof zal dan meer ingezet worden in de circulaire landbouw in Nederland ter bevordering van de bodemvruchtbaarheid, terwijl de gewonnen (relatief zuivere) fosfaat geschikt is voor andere markten (o.a. food).</p> <p>De technologie is complementair aan andere technieken die in ontwikkeling zijn (en worden toegepast) om mineraal fosfaat in de vorm van struviet uit dierlijke mestfracties en afvalwater te verwijderen. Winning van struviet (NH_4MgPO_4) is alleen mogelijk uit mestwater dat een laag organische stofgehalte bevat, omdat dit anders de kristalgroei belemmert waardoor afscheiding lastig is (Schoumans et al., 2013 en 2017). Bij effluent van rioolwaterzuivering lukt het wel om struviet af te scheiden en dit wordt grootschalig in de praktijk toegepast (bijv. installatie FOSfaatje Waternet A'dam). De waarde van struviet als meststof is echter beperkt en het verder verwaarden van struviet tot b.v. fosforzuur is gecompliceerd.</p> <p>In dit principe wordt ijzer gebruikt om fosfaat vast te leggen. In de drinkwater en afvalwaterzuivering wordt dit grootschalig toegepast. Echter zowel de kunstmestindustrie als de landbouw is niet geïnteresseerd in de afname van ijzerfosfaten omdat deze slecht in oplossing gaan. Maar bij deze techniek wordt ijzer weer vrijgemaakt van fosfaat, hierdoor kan het ijzer worden hergebruikt en de zuiverdere fosfaat worden gebruikt voor andere toepassingen.</p>
Voor- en nadelen	Voordelen: P terugwinning in redelijke zuiverheid, hergebruik ijzer, productie P arme organische meststof Nadelen: gebruik kleine hoeveelheid zuur en base, staat nog in kinderschoenen

Knelpunten	Ontwikkeling van het concept, conceptschema en sturingsvariabelen is sterk afhankelijk van een voldoende afscheiding van magnetisch ijzerfosfaat en de gerealiseerde productzuiverheid.
Ontwikkelpunten	Een Proof-of-Principle is gegeven met verschillende model-oplossingen op laboratoriumniveau. Thans wordt de techniek met mest getest. Hiervoor worden verschillende mestfracties, met verschillende samenstellingen, zuurgraden gebruikt om de optimale condities te bepalen. De aandacht is vooral gericht op varkensmest en in 2 ^e instantie op mest van vleeskalveren. De meest perspectiefvolle techniek en de gekozen parameters zullen worden beproefd in een pilot op een mestverwerkingslocatie. Hiervoor is het nodig om een conceptpilot installatie te beschrijven, zodat deze vervolgens gebouwd kan gaan worden om vervolgens testen te kunnen uitvoeren.
Duurzaamheid / milieuaspecten	Terugwinning van fosfaat en hoogwaardig hergebruik.
Bedrijven	Voorzien wordt dat de technologie verder wordt ontwikkeld met: <ul style="list-style-type: none"> • Bedrijven in de agrosector • WUR • Producenten van fosforzuur.
Verwachting	Snelheid van technologieontwikkeling is sterk afhankelijk van de uitkomsten en resultaten van pilotproeven
Bronnen	https://watervisie.com/vivianiet-volgende-stap-in-urban-mining/

N-concentraat

Plasma technologie

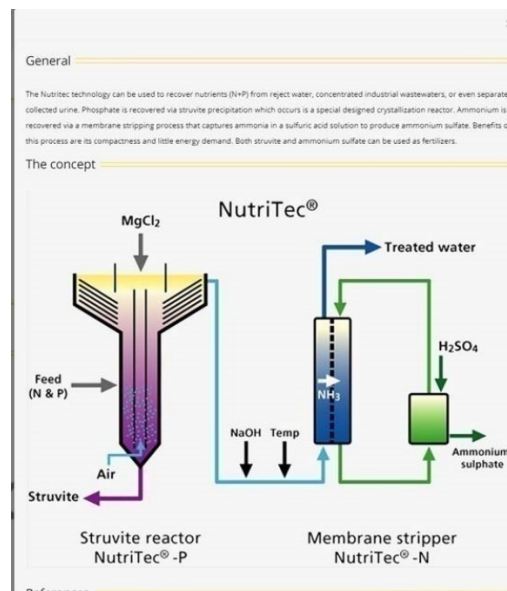
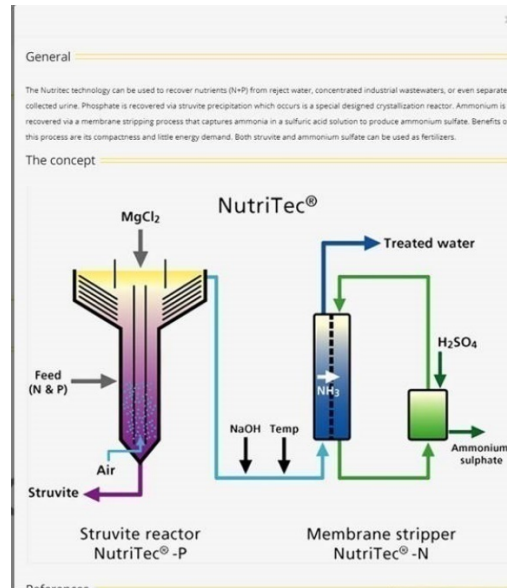
Beschrijving technologie	De N ₂ plasmareactor fixeert stikstof uit de lucht. De N ₂ en O ₂ moleculen worden omgezet in N en O-atomen waardoor stikstofoxiden worden gevormd. De stikstofoxiden worden opgenomen in vloeibare mest of digestaat. Daar wordt onder meer ammoniumnitraat en salpeterzuur gevormd. De zuurgraad wordt verlaagd tot pH 6, zodat er weinig emissie optreedt. De technologie is ontwikkeld voor boerderijschaal. Er ontstaat een bruikbare organische meststof. Een andere toepassing is geurbestrijding. De gevormde zuurstofradicalen oxideren de vluchtige organische (geur) componenten. Ook de methaanemissie zal verminderen. Een ander voordeel is dat ook bacteriën geoxideerd worden: desinfectie.
Producten	Het minerale-N gehalte wordt bijna verdubbeld. Bijvoorbeeld mest met 4 kg totaal-N/m ³ met 2 kg NH ₃ -N bevat na behandeling 6 kg totaal-N /m ³ met 4 kg minerale-N ammoniumnitraat.
Huidige toepassing	Het is ontworpen op lab schaal. Op internet is een pilot te zien bij een boerderij. Maar er is nog geen grootschalige toepassing. Er is onderzoek gestart naar de opbrengst verhoging van gewassen.
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Het mineraal N product met 20% stikstof wordt in een PMC gemaakt door N te strippen en vervolgens op te vangen in een zure vloeistof. Hierbij is max. 7-8% N mogelijk bij zwavelzuur. Bij opvang in salpeterzuur zou 15-20% N mogelijk zijn. Plasmatechnologie zou een optie kunnen zijn voor de opwerking tot een hoog N gehalte.
Welk probleem wordt aangepakt	Het probleem dat er N-verliezen uit vloeibare meststoffen optreden. Het probleem dat een hoge N concentratie vaak niet mogelijk is. Mogelijk ook te gebruiken om geur te neutraliseren in andere processen.

Voor- en nadelen	<p>Voordelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - N verrijkte mest kan waarschijnlijk in 1 rondgang toegediend worden en er is geen kunstmest meer nodig is. - Door de lagere pH is de ammoniakemissie beperkt. Maar er zijn ook gevallen bekend dat nitraat in mest direct denitrificeert en als N₂ weer verdwijnt. Nitraat is wel een snel werkende meststof. - CH₄ reductie. <p>Nadelen:</p> <p>Energie input, daar zijn geen cijfers over gepubliceerd, maar het is nog de vraag of dit energiezuiniger is dan het Haber-Bosch proces.</p>
Knelpunten	Het systeem moet zich eerst technisch bewijzen. De N verrijkte mest blijft in de regelgeving dierlijke mest, dus maximale gift is de aanwendingsnorm van 170/230 kg N per ha. Indien de regelgeving niet wordt aangepast, zal in een aantal gevallen zelfs meer mest van het bedrijf afgevoerd moeten worden.
Ontwikkelpunten	Is niet duidelijk.
Duurzaamheid / milieuaspecten	Technologie draagt bij aan vermindering van stikstofverliezen door de lagere pH. Bij de plasma behandeling ontstaat wel N ₂ O, maar de leverancier verwacht dat de N ₂ O emissie in de gehele keten afneemt. Dat zou nader onderzocht moeten worden. Ten aanzien van het energieverbruik dient de afweging te worden gemaakt t.o.v. andere maatregelen die N-verliezen aanpakken. Ook is een studie nodig om aan te tonen dat dit duurzamer is dan het Haber-Bosch proces.
Bedrijven	N2 Applied in Noorwegen, www.n2.no Nederlandse vertegenwoordiger: Henk Aarts
Verwachting	Verwachting is dat het niet veel toegepast zal worden op praktijkbedrijven, wat de bedoeling was. Het lijkt beter om kunstmestvervangers uit dierlijke mest (wat ook energie kost) te produceren. Voor centrale bewerking tot een hoog N concentraat zijn er kansen.
Bronnen	https://nutriman.net/farmer-platform/technology/id_276 https://www.manuremanager.com/implementing-innovative-technology/

TMCS Trans-Membraan Chemo-Sorptie voor ammoniak afscheiding

Beschrijving technologie	<p>Met deze membraantechnologie kan ammonium teruggewonnen worden uit een waterige stroom. Het proces is een membraan-contactator-proces, waarbij een hydrofoob membraan de barrière vormt tussen een waterige voedingsstroom die ammonium bevat en een zure stroom (b.v. zwavelzuur of salpeterzuur). Door loogtoevoeging en/of temperatuurverhoging aan de voedingsstroom wordt ammonium omgezet in gasvormig ammoniak. Dit zal door het membraan gaan en direct reageren met het zuur aan de andere zijde. Op deze wijze kan minimaal 90% van de ammonium teruggewonnen worden als geconcentreerd ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat. De technologie is gedemonstreerd op pilot/demoschaal en industrieel leverbaar (maar niet voor toepassing op mest). Mogelijke vernieuwing is om een deel van het proces uit te voeren in een elektrochemische cel, waarbij loog gevormd wordt door watersplitsing aan een</p>
--------------------------	---

elektrode, waardoor externe dosering van loog niet meer nodig is. Dit bevindt zich nog in de ontwikkelfase. Van de website van DMT:



Producten	Geconcentreerde ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat oplossing en een reststroom die voornamelijk kalium bevat. In het geval van mestverwerking bestaat de reststroom uit een dunne fractie met een verlaagd ammoniumgehalte.
Huidige toepassing	Op pilot/demo schaal in digestaatverwerking en huishoudelijke afvalwaterbehandeling. Verdere ontwikkeling van de technologie zou met DMT opgepakt kunnen worden.
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Toepassing op dunne fractie van digestaat
Welk probleem wordt aangepakt	Compacte wijze van procesvoering en combineert in één stap de gangbare technologie van ammoniak strippen met lucht en vervolgens luchtwassen met zuur.
Voor- en nadelen	Voordelen: de technologie is een efficiënte combinatie van twee afzonderlijke stappen en biedt de mogelijkheid direct een

	<p>geconcentreerd product in handen te krijgen. Tevens kan door afzonderlijke sturing van de temperatuur aan voedings- en zuurzijde van het membraan het waterdamptransport beperkt worden, zonder dat dit van invloed is op het ammoniak transport.</p> <p>Nadelen: Punt van aandacht is membraanvervuiling. Alhoewel het een drukloos contactorproces is en de vervuiling daardoor beperkter is dan bij drukgedreven membraanprocessen, zal er zeker ook aandacht moeten zijn om kanaalverstopping in de membraanmodule te voorkomen door een juiste voorbehandeling en module keuze.</p>
Knelpunten	<p>Belangrijke kostenpost in dit proces is de loogdosering. Zwavelzuur of salpeterzuur wordt ook gedoseerd, maar daar wordt een product teruggewonnen met vergelijkbare waarde.</p> <p>Daarnaast is de vervuiling van de membranen mogelijk hoger als dit wordt toegepast op mestfracties.</p>
Ontwikkelpunten	<p>Aangezien de loogdosering geminimaliseerd dient te worden zal het proces zodanig ontworpen moeten worden dat dit gerealiseerd wordt. De ontwikkeling van een proces in combinatie met een elektrochemische cel, waarbij in situ loog geproduceerd wordt, kan hier een bijdrage aan leveren.</p> <p>Via modellering kunnen optimale procescondities geselecteerd worden voor mest bewerking.</p>
Duurzaamheid / milieuaspecten	<p>Terugwinning van N als zuivere meststof in ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat en de mogelijkheid de resterende kaliumstroom te verwaarden. Elektrisch gedreven proces. Mogelijk in situ opwerking van loog met duurzame elektriciteit. Voorkomen van loogtransport.</p>
Bedrijven	<p>DMT levert een TMCS systeem sinds 2013 (Nutritec, eigenlijk van Sustec, maar Sustec is overgenomen door DMT).</p>
Verwachting	<p>Techniek is eigenlijk meer een concurrent voor een NH₃ stripper, maar is wel ingewikkelder en duurder.</p> <p>Proces kan met bestaande technologie al geïmplementeerd worden, waarbij selectie van juiste procescondities via modellering belangrijk is. Verbetering van het proces door combinatie met elektrochemische cel staat in de kinderschoenen en zal verder ontwikkeld moeten worden.</p>
Bronnen	<p>Zie Rulkens et al. (1998)</p>

Forward Osmosis

Beschrijving technologie	<p>Forward osmosis (FO) is een proces waarbij water en opgeloste stoffen kunnen worden gescheiden via een semi permeabel membraan aan de hand van een verschil in de osmotische waarde van de vloeistoffen aan beide zijden van het membraan. Waar bij omgekeerde osmose (RO) via een aangelegde systeemdruk water tegen de osmotische druk in door het membraan wordt geperst, stroomt bij forward osmose het water als gevolg van het osmotisch drukverschil tussen de vloeistoffen aan beide zijden van het membraan naar de vloeistof met de hoogste osmotische waarde. Om een vloeistof te kunnen concentreren dient bij forward osmosis daarom een oplossing (draw solution) met een hogere osmotische waarde dan de te concentreren vloeistof aan de 'trek'zijde</p>
--------------------------	---

	<p>van het osmose membraan te worden gebruikt. De draw solution (b.v. zoutoplossing) verdunt als gevolg van het transport van water van de te concentreren vloeistof naar de draw solution.</p> <p>Een bijkomend onderscheid tussen de processen voor omgekeerde osmose (RO) en voorwaartse osmose (FO) is dat het permeaatwater dat ontstaat door een RO-proces in de meeste gevallen klaar is voor gebruik. In het FO-proces is dit niet het geval. De membraanscheiding van het FO-proces resulteert in feite in een "handel" tussen de opgeloste stoffen van de toevoeroplossing en de trekoplossing. Door water te verwijderen uit de verdunde draw solution kan bruikbaar water worden gewonnen en wordt de draw solution naar de gewenste concentratie teruggebracht. Het opnieuw concentreren van de draw solution is een onderdeel van het proces.</p> <p>Voordelen van FO ten opzichte van RO:</p> <ul style="list-style-type: none"> - FO membranen zijn minder gevoelig voor vervuiling - FO is beter geschikt voor de concentratie van vloeistoffen met hoge concentratie aan vervuiling of zwevend stof. - Forward Osmosis vraagt minder energie dan omgekeerde osmose <p>De belangrijkste uitdagingen van FO zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Voorkomen van concentratie polarisatie - Voorkomen van omgekeerde zoutflux
Producten	<p>Geconcentreerde vloeistoffen.</p> <p>Specifiek met betrekking tot het verwaarden van mest kan gedacht worden aan productie van een stikstof/kalium-concentraat of enkel een kalium-concentraat uit dunne mest.</p>
Huidige toepassing	<ul style="list-style-type: none"> - Concentreren van dranken, voeding - Opconcentreren van brein - Ontzilting t.b.v. productie drinkwater - Bereiding koelwater voor koeltorens - Concentreren landfill percolatiewater - Ontwateren sterk vervuilde waterstromen, afvalwater - Osmose energie opwekking
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	<p>FO kan mogelijk aanvullend worden toegepast in situaties waar momenteel RO wordt gebruikt.</p>
Welk probleem wordt aangepakt	<p>FO biedt een oplossing/verbetering voor navolgende probleempunten voor RO:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beperkte concentratiegraad bij omgekeerde osmose processen als gevolg van maximale (haalbare) systeemdruk. - Hoog energieverbruik als gevolg van benodigde systeemdruk bij omgekeerde osmose voor overwinnen osmotische druk - Gevoeligheid voor fouling van RO membranen
Voor- en nadelen	<p>Voordelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Minder fouling gevoelig dan drukgedreven filtratie - Lager energieverbruik dan drukgedreven filtratie <p>Nadelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vereist ontwatering van de 'draw' solution - Risico op concentratiepolarisatie (waardoor drijvende kracht wordt opgeheven, en lage fluxen resulteren)
Knelpunten	<p>Concentraten bereid uit dierlijke mest blijven wettelijk gezien dierlijke mest. Voor het gebruik gelden dezelfde regels als voor onbehandelde</p>

	dierlijke mest. Zie pilot mineralenconcentraten en de veranderende Europese regelgeving (Renure).
Ontwikkelpunten	De waterfluxen van FO membranen zijn in vergelijking tot bestaande RO membranen relatief nog laag. De ontwikkeling is gericht op ontwikkeling van nieuwe FO membranen die voldoende poreus zijn om hoge waterfluxen te bewerkstelligen en anderzijds een hoge zoutretentie kunnen waarborgen (TU-Eindhoven).
Duurzaamheid / milieuaspecten	Toepassing van FO leidt naar verwachting tot een lager energieverbruik binnen de concentratierange die met deze technologie haalbaar is ten opzichte van andere concentratieprocessen. Indien daadwerkelijk een hogere concentratiegraad kan worden bereikt dan met omgekeerde osmose (huidige toepassingen) leidt dit bovendien tot een besparing van energieverbruiken (en emissies) gerelateerd aan transport en aanwending.
Bedrijven	Bluetec, Renkum. Memstill Triqua, Ede
Verwachting	De mogelijke toepassing van FO bij het verwaarden van meststromen wordt momenteel onderzocht door Bluetec (Joint Industry Project, Forward Osmosis Membranes and Modules: development and application, Topsector Energie). Op laboratoriumschaal kon dunne fractie van beluchte mest met behulp van FO een factor 8 worden geconcentreerd. Pilotschaal testen zijn gepland in 2020. Indien onder praktijkomstandig kan worden aangetoond dat mestvloeistoffen met behulp van FO verder kunnen worden geconcentreerd dan via RO tegen dezelfde of lagere energieverbruiken is de verwachting dat FO een rol kan gaan spelen in alle routes voor mestverwaarding waar momenteel omgekeerde osmose wordt toegepast. FO kan worden toegepast in plaats van of aanvullend op bestaande RO toepassingen.
Bronnen	https://www.blue-tec.nl/forward-osmosis https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/forward-osmosis-membranes-and-modules-development-and-applications-00027523 https://en.wikipedia.org/wiki/Forward_osmosis

ART (Ammonium Recovery Technology)

Beschrijving technologie	ART houdt in dat de ammoniak die in lucht uit bijvoorbeeld drooginstallaties van (pluimvee-)mest of strippen van mest aanwezig is te binden aan CO ₂ . In eerste instantie is hierbij gebruik gemaakt van een aangepaste luchtwasser technologie. Echter uit nieuwe proeven blijkt dat het binden van ammoniak aan CO ₂ het beste kan als de lucht met ammoniak door een waterbad met daarin opgeloste CO ₂ wordt geleid. Dit vindt plaats door de lucht in zeer kleine luchtbelletjes onderin de bak op te laten stijgen. Deze techniek is op deze wijze alleen geschikt voor toepassing met kleine luchtdebieten tot bijvoorbeeld ca. 20.000 m ³ per uur ventilatiedebiet. Het is wel een techniek die relatief veel elektriciteit vraagt door de hogere luchtweerstand. Om deze reden is de toepassing vooral gericht op
--------------------------	---

	<p>luchtstromen met ammoniakconcentraties van bij voorkeur meer dan 1000 ppm (bijvoorbeeld mestdrooginstallaties of meststrippers). Door de oplossing van CO₂ in het waswater wordt de opgeloste ammoniak gebonden en ontstaat het zout ammonium(bi)carbonaat. Het grote voordeel is dat volgens de eerste onderzoeken hiermee meer dan 95% van de ammoniak wordt gebonden. Tevens is er geen zuur nodig zoals zwavelzuur, maar een toch al in grote hoeveelheden gemakkelijk verkrijgbare CO₂. De bedoeling is om daarna het ontstane spuiwater met ammoniumcarbonaat door nitrificerende bacteriën in een grootschalige installatie om te laten zetten naar nitraat. Dit kan doordat bij een temperatuur boven ca. 39°C de ammoniumcarbonaat als zout weer splitst in NH₃ en CO₂ en de ammonium vrij komt en door nitrificerende bacteriën is om te zetten. Streven is nog steeds om de technologie ook toepasbaar te maken voor gangbare luchtwassers.</p>
Producten	<p>Spuiwater met ca. 25 kg ammonium(bi)carbonaat per m³ is het eerste product wat ontstaat bij de zuivering van de lucht. Bij het centraal biologisch verwerken van het spuiwater is het doel dat er bio-nitraat ontstaat dat wordt aangemerkt als stikstof afkomstig van een biologische bron. Het is de vraag of het eindproduct afgezet kan worden in markten waarbij de uit dierlijke mest afkomstige stikstof als op biologische wijze geproduceerde stikstof kan worden gezien. Hierdoor zou deze stikstof in lucratievere markten zijn af te zetten. Voor afzet in Europa is hier wel eerst een erkenning nodig. In o.a. USA is er veel vraag naar deze variant van nitraatmeststoffen met aantrekkelijke prijzen.</p>
Huidige toepassing	<p>De voornaamste toepassingen in de praktijk kan zijn bij het zuiveren van proceslucht die ontstaat bij het drogen van mestfracties en het strippen van digestaat of dunne mestfracties. De proeven zijn wel gestart op varkensbedrijven met luchtwassers, maar omwille van het rendement worden de vervolgprouwen nu eerst uitgevoerd bij mestverwerkingsinstallaties met lucht waarin veel meer ammoniak aanwezig is (1000 à 1200 ppm zoals bij drogers/strippers). Voor grootschalige mestverwerking is het een vorm van luchtzuivering die de afzet van spuiwater financieel aantrekkelijker kan maken in een vorm die ook beter aansluit bij de bemestingsbehoefte.</p>
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	<ul style="list-style-type: none"> - Meer stikstof uit dierlijke mest omzetten naar niet dierlijke stikstof en hiermee sluiten stikstofkringlopen - Opwaardering van spuiwater -
Welk probleem wordt aangepakt	<p>Het nu nog moeten gebruiken van vooral gevaarlijk zwavelzuur om proceslucht te reinigen en het afzetten van spuiwater. Dit gebeurt nu met bijbetaling.</p>
Voor- en nadelen	<p>Voordelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geen gebruik van gevaarlijk zwavelzuur, in productieproces van luchtzuivering. - Productie van een spuiwater met een opbrengstwaarde. Zeker als de stikstofconcentratie nog verder is te verhogen.

	<ul style="list-style-type: none"> - Daar waar N vrijkomt (bijvoorbeeld bij strippen met warmte of drogen van mestfracties) is de N uit dierlijke mest om te zetten naar niet dierlijke mest-N. <p>Nadelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - De technologie is nog in ontwikkeling en nu nog niet meteen toepasbaar. - Het energieverbruik voor de zuivering kan mogelijk hoog (door b.v. hoge drukval) zijn per kg stikstof. Dit geldt zeker als de concentratie ammoniak in de lucht laag is. - Loogverbruik voor gebufferde nitrificatie - Lager rendement (t.o.v. chemische wassers) - Lagere concentratiegraad
Knelpunten	De oplossing van CO ₂ in het water en de goede binding om het verlies van CO ₂ zo laag mogelijk te houden. De techniek moet nog op praktijkschaal worden getest.
Ontwikkelpunten	Het principe werkt volgens de leveranciers, maar moet nog op praktijkschaal worden getest/beproeft. Dit staat gepland voor het tweede kwartaal van 2020 op een bedrijf met een biogasinstallatie en een pluimveemestdrooginstallatie. Voor (WP3) veehouderijbedrijven zou het goed zijn als de techniek ook inzetbaar is bij luchtwassers op stallen.
Duurzaamheid / milieuaspecten	Het nuttig gebruiken van de dierlijke meststikstof is positief. Echter het totale energieverbruik dient wel kritisch te worden gevolgd om geen afwenteling te krijgen.
Bedrijven	PGA, https://puregreenagriculture.com
Verwachting	De verwachting is dat minimaal 2020 nodig is om meer zicht te krijgen op de werking van de technologie. Daarbij zou het gewenst zijn als ook Nederlandse bedrijven betrokken zouden worden bij de verdere ontwikkeling. Dit kan het ontwikkelingsstraject bespoedigen.
Bronnen	http://puregreenagriculture.com/artinfo/ http://puregreenagriculture.com/airinfo/

MEZT, ammoniakextractie uit dierlijke mest

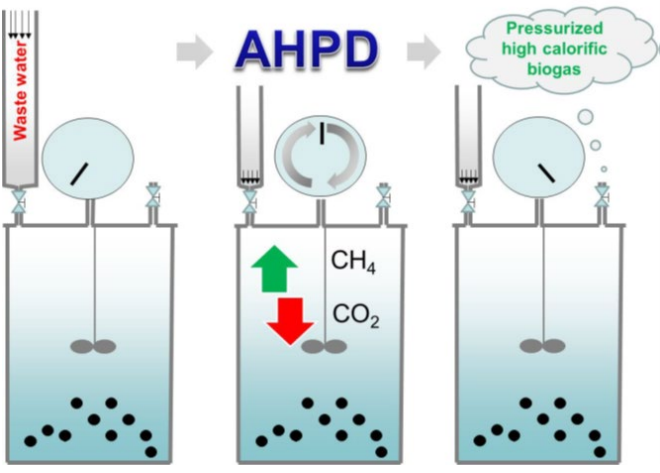
Beschrijving technologie	Mest of vergiste mest of urine wordt met bestaande technologie gescheiden in een dikke en een dunne fractie. De dunne fractie wordt gezuiverd van vaste deeltjes boven een minimale grootte. Deze vloeistof wordt in een Bi-Polaire Membraan Electro-Dialyse (BPMED) langs membranen geleid waarover een spanning staat. De ammoniumionen worden door het spanningsverschil door het membraan getrokken naar een ammoniumconcentraat. Met een Vacuüm Membraan Stripper (VMS) wordt vervolgens ammoniakgas geëxtraheerd. Dit NH ₃ kan in een Solid Oxid Fuel Cell omgezet worden in onschadelijk stikstofgas en water of met zwavelzuur omgezet worden in ammoniumsulfaat, een kunstmestvervanger.
Producten	Fosfaatrijke dikke fractie Ammonium/ammoniak rijke dunne fractie Ammonium/ammoniak arme dunne fractie

	<p>Ammoniak, opgelost in water of in gasvorm</p> <p>Groene stroom / energie</p> <p>Potentieel ammoniumsulfaat</p>
Huidige toepassing	Nog in ontwikkeling voor toepassing in mestverwaarding en communale rioolslib be-/verwerking (TRL 6, TRL 7 verwacht in 2021)
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Door de raffinage van mest ontstaan diverse mestfracties met verschillende samenstelling (fosfaatrijke fractie, ammonium-/ammoniak rijke en arme fractie, ammoniakwater of -gas en eventueel ammoniumsulfaat). Door combinatie van deze verschillende mestderivaten kan (op de eigen veehouderij of bij centrale mest be-/verwerkers) mest met de gewenste samenstelling geproduceerd worden, voor eigen gebruik of gebruik door derden.
Welk probleem wordt aangepakt?	<p>Door energie-efficiënte extractie van ammoniak uit vergiste of onvergiste runder- en varkensmest, c.q. -urine, zonder gebruik van chemicaliën, kunnen de stikstofemissies door opslag en aanwending van mest gereduceerd c.q. geëlimineerd worden.</p> <p>Bovendien kunnen de gewonnen nutriënten als bio-based fertilizer voor maatwerkbemesting aangewend worden.</p> <p>Afvoer van overtollige mest met de bijbehorende kosten en milieubelasting, is niet meer nodig.</p> <p>Bemesten met kunstmest kan sterk gereduceerd worden.</p>
Voor- en nadelen	<p>Voordelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hoge extractiegraad (in Proof of Concept met dierlijke mest is 47% tot 89% extractie TAN bereikt, bij vergist zuiveringslib zelfs 99%) - Energie-efficiënt - Geen gebruik van chemicaliën - Winning van groene stroom / productie van kunstmestvervanger - Toepasbaar op schaal veehouderij en centrale mestverwerking - Met de gekozen voorbewerking (scheiding en filtratie) geen vervuiling van membranen, dagelijkse Cleaning In Place (CIP) mogelijk. <p>Nadelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Technologie nog niet in productie. - Verschillen t.o.v. andere veelgebruikte technologieën: <p><u>Traditioneel</u> (toevoegen loog, verwarmen tot 60 - 80 graden Celsius, NH₃ verdamping, wassen met H₂SO₄ en productie van ammoniumsulfaat) Het MEZT proces vereist geen verwarming, geen toevoeging van loog en naar wens omzetting van NH₃ in elektriciteit of ammoniumsulfaat.</p> <p><u>Anammox</u> Het MEZT proces biedt de mogelijkheid tot terugwinning van NH₃, geen legionellavorming, geen productie van N₂O (lachgas) en is een stabiel proces.</p>
Knelpunten	Nog geen grootschalige toepassing in de praktijk.
Ontwikkelpunten	<p>De technologie is in een Proof of Concept bewezen effectief voor toepassing op vergiste en onvergiste varkens- en rundermest en runderurine. De ontwikkeling is in het stadium van prototype-ontwikkeling.</p> <p>Onderzoek voor doorontwikkeling en optimalisatie is gepland in een samenwerkingsproject van TU Delft en de WUR. Hierbij wordt onderzocht o.a.: De mate van emissiereductie door afname van het ammoniakgehalte van de mest, efficiencyverbetering door gebruik van</p>

	selectieve membranen, reductie van NH ₃ diffusie, membraan spacer stroming profielen, extractie van kalium en fosfaat.
Duurzaamheid / milieuaspecten	De extractie is zeer energie-efficiënt vergeleken met andere technologieën. Er zijn geen chemicaliën nodig voor het extractieproces. Door extractie van ammoniak uit mest zal de emissie bij opslag en aanwending van de mest drastisch kunnen reduceren. Door de aanwending van de "bio based" mest op maat zal de nutriëntenkringloop verder gesloten kunnen worden en het gebruik van kunstmest gereduceerd kunnen worden.
Bedrijven	MEZT BV
Verwachting	Prototype beschikbaar in 2021, marktintroductie 2022.
Aanvullende opmerkingen	De technologie voldoet aan de vereisten voor de nieuwe RVO subsidie brongerichte verduurzaming van stallen, waarmee individuele veehouders een subsidie kunnen verkrijgen die kan oplopen tot 80% van hun investeringen in innovatieve stalconcepten. Zie ook: https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/vinding-tu-delft-benut-energiewaarde-van-ammonium

Vergisting en gerelateerd

Autogenerative High Pressure Digestion (AHPD)

Beschrijving technologie	 <p>AHPD-technologie bestaat in principe uit een vergistingsreactor. Onder hoge druk wordt in die reactor water gezuiverd en organisch afval omgezet in groengas. Hierdoor zal de CO₂ in de mest oplossen (methaan niet), waardoor de pH daalt. Zodra het vat op temperatuur is, kan het zichzelf aandraaien en dus auto generatief te werk gaan. Enkele hoofdkenmerken van het proces zijn:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. In de anaerobe zuiveringsinstallatie bouwen de aanwezige bacteriën een druk op van 20 bar en een temperatuur van 50°C of meer. De druk wordt gebruikt voor de aandrijving van het hele systeem, waaronder membraanfilters. 2. Dit leidt tot productie van methaan in de gasfase en in water opgelost CO₂.
--------------------------	--

	<p>3. Door toevoeging van waterstof, bijvoorbeeld verkregen via elektrolyse van wind- en zonne-energie, wordt de waterstof door de bacteriën gebonden aan de opgeloste CO₂ tot methaan. Daarmee verdubbelt de groengas productie en verbetert de kwaliteit van het gas. Biogas-upgrading is dus integraal onderdeel van deze techniek</p>
Producten	Groengas (97% CH ₄), fosfaat, overige te winnen stoffen en digestaat
Huidige toepassing	In afval sector, zuiveringsslib en keukenafval
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	In route 1 (vergisten), 2 en 3. Maar kan ook gecombineerd worden met route 4 (P terugwinning)
Welk probleem wordt aangepakt	Er is geen opwaardering biogas meer nodig Fosfaat terugwinning
Voor- en nadelen	<p>Voordelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Productie en opwaardering biogas in één stap. - Via nageschakelde zuiveringstechnieken wordt geclaimd dat fosfaat, zware metalen, stikstof en medicijnresten kunnen worden afgescheiden en zo nodig teruggewonnen - Hogere percentage omzetting van de organische stof (bij AHPD ca. 20 bar) dan bij vergistingsprocessen bij atmosferische druk <p>Nadelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - kosten hoog (waarschijnlijk hoger op kleine schaal), procestechnologisch ingewikkelder dan normale vergisting, veiligheid (vooral op boerderijschaal) vereist veel maatregelen
Knelpunten	Zie bij nadelen
Ontwikkelpunten	TRL ca. 4-5, moet nog verbeterd worden Systeem kan ook toegepast worden met membraanscheiding op het digestaat.
Duurzaamheid / milieuaspecten	Fosfaat kan worden teruggewonnen Hoge kwaliteit van het biogas Zware metalen etc. kunnen worden verwijderd (betere inpassing in kringloop)
Bedrijven	Bareau (Heerenveen)
Verwachting	Techniek lijkt veelbelovend. Wordt nu eerst in waterzuivering toegepast. Beter is om die ervaringen af te wachten. De kosten zijn hoog bij mestverwerking. Er is ooit contact geweest om deze techniek toe te passen bij Twence. Die vonden de TRL nog te laag.
Bronnen	<p>https://www.waterforum.net/groengas-uit-hogedrukvergister-kan-voorzien-in-gasbehoefte-alle-nederlandse-huishoudens/https://bareau.nl/en/about-us/#he-Green-gas-plant--AHPD-technology-in-short</p> <p>https://research.wur.nl/en/publications/autogenerative-high-pressure-digestion-biogass-production-and-upg</p>

Drogen van (dikke fractie van) mest of ontwateren

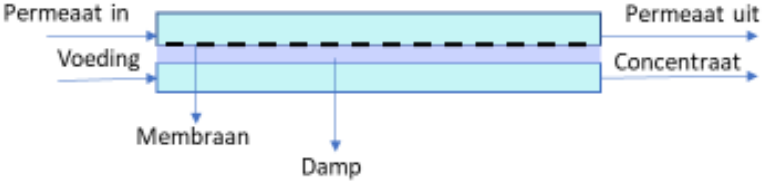
Electro Osmotic Dewatering

Beschrijving technologie	<p>Electro-osmose is transport van vloeistof door een poreus medium (filter) als gevolg van een elektrisch potentiaal verschil. Slibdeeltjes hebben een (meestal negatieve) elektrische oppervlaktelading en omdat de suspensie in het geheel elektro-neutraal is, heeft de omringende vloeistof een gelijke, maar tegengestelde lading. Wanneer twee elektroden in het slib worden aangebracht, die verbonden zijn met een gelijkspanningsbron, dan zal de vloeistof in het slib naar de negatieve elektrode (kathode) bewegen. Dit wordt electro-osmose genoemd.</p> <p>Op deze manier kan in het slib een scheiding tussen vaste- en vloeibare fase worden bewerkstelligd. Als de vloeistof bij de kathode wordt afgescheiden, dan betekent dit dat het slib ontwaterd wordt. Een bijkomend effect is dat de vaste deeltjes door de kathode worden afgestoten. Zo kan filterdoek dat bij het ontwateren gebruikt wordt, minder vervuuld raken.</p>
Producten	Ontwaterde mest / slib en filtraat.
Huidige toepassing	Slibontwatering.
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	<p>Ontwateren van mest tot hogere drogestofgehalten dan reguliere scheiding zonder elektro-osmose.</p> <p>Jabba mest onderzoekt toepassing van elektro-osmose voor behandeling van meststromen. (HyCare Stal, Schippers, Bladel) Geclaimd wordt na toepassing van elektro-osmose en scheiding van mest, dat de verkregen dunne mestfractie zich verder laat ontwateren via omgekeerde osmose bij lagere procesdrukken dan dunne mest verkregen zonder toepassing van elektro-osmose.</p> <p>Er zijn nog geen onderzoeksrapporten met resultaten openbaar gemaakt.</p>
Welk probleem wordt aangepakt	<p>Hoge watergehalten in dikke mestfracties.</p> <p>Hoog energie verbruik bij thermische droging</p>
Voor- en nadelen	<p>Voordelen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Toepasbaar in aanvulling of combinatie met bestaande mechanische scheidingsmethoden - Laag energieverbruik - Volume reductie - Besparing warmte bij nadroging <p>Nadelen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enigszins hogere investering
Knelpunten	Er zijn nog weinig resultaten bekend van de techniek met betrekking tot toepassing in mestverwaardingsroutes.
Ontwikkelpunten	Onbekend.
Duurzaamheid / milieuaspecten	Volumereductie leidt tot vermindering van het aantal benodigde transporten voor afzet van vaste mestfracties en daarmee tot

	<p>vermindering van verbruik van brandstoffen en daaraan gerelateerde emissies.</p> <p>Tijdens de elektrochemische behandeling van mest kunnen vooral ammoniak en geur worden geëmitteerd. Rekening dient te worden gehouden met voorzieningen om de emissies naar de lucht af te vangen.</p> <p>Indien de vaste mestfractie wordt gedroogd resulteert een hoger drogestofgehalte bij aanvang van het droogproces in een lagere warmtebehoefte.</p>
Bedrijven	<p>PureWaterWell, Arnhem</p> <p>Nijhuis Water, Doetinchem</p> <p>Jabba Mest, Bladel</p>
Verwachting	<p>Toepassing van elektro-osmose lijkt tegen beperkt hogere investeringskosten een besparing te kunnen leveren in transportkosten en/of energiekosten bij verdere droging. Er is nog wel veel onderzoek nodig naar het systeem om aan te tonen dat het energiebesparing zal opleveren.</p>
Bronnen	<p>https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219311488</p> <p>https://www.stowa.nl/onderwerpen/energietransitie/energiebesparing/slibontwatering-met-elektrische-osmose</p> <p>http://purewaterwell.nl</p> <p>http://www.jabbamest.nl/</p> <p>https://www.mestverwaarding.nl/kenniscentrum/858/jabba-mest-en-schippers-gaan-mestverwerking-aan-hycare-varkensstal-koppelen</p>

Membraandestillatie

Beschrijving technologie	<p>Onder membraandestillatie wordt het scheiden van een vloeistof door een membraan onder temperatuurverschil verstaan. Waarbij aan de voedingskant van het membraan een hoge temperatuur is en aan de andere kant een lage (permeaat kant). De permeaat kant kan bestaan uit een vloeistof of gas, waarbij al dan niet een condensatiestap nodig is. De werking is gebaseerd op een verschil in dampspanning tussen de twee membraankanten door het temperatuurverschil.</p>
--------------------------	---

	SGMD configuratie	VMD configuratie
Producten	Geconcentreerd concentraat en schoon water of water met vluchtige stoffen.	
Huidige toepassing	Ontzouten van zeewater.	
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Volgens de producenten zou een sterk geconcentreerd product gemaakt kunnen worden uit dunne fractie mest. Bijvoorbeeld PMC grondstof voor K oplossing (echter met zouten en organische stoffen)	
Welk probleem wordt aangepakt	Reduceren van watertransport dunne fractie.	
Voor- en nadelen	<p>Voordelen: Ten opzichte van RO kunnen hogere concentraties behaald worden. Het is mogelijk om gebruik te maken van restwarmte voor het realiseren van de temperatuur gradient.</p> <p>Nadelen: Wel is sprake van een lagere permeaatflux en kan membraanvervuiling optreden, energieverbruik aandachtspunt en investeringskosten zijn hoog.</p> <p>Er zijn verschillende configuraties mogelijk voor- en nadelen voor mestverwerking zullen specifiek per opstelling vastgesteld moeten worden.</p>	
Knelpunten	Hellebrekers Wolbers hebben Membraandestillatie getest en vanwege het dichtslibben van de membranen zijn zij hier niet verder mee gegaan. Betrof AGMD configuratie (zie figuur)	
Ontwikkelpunten	<p>Technische doorontwikkeling is nodig. Dichtslibben membranen moet opgelost worden. Een melkveehouder in Oss wil in de toekomst Membraandestillatie techniek gaan toepassen. Echter in een andere vorm dan Hellebrekers heeft gedaan. Er wordt namelijk direct contact met de dunne mestfractie vermeden. Het membraan staat in contact met alleen de damp.</p> 	
Duurzaamheid / milieuaspecten	Afhankelijk van de te kiezen configuratie. Deze bewerking kost energie de vraag is of dat meer of minder is dan de nu vaak toegepaste RO.	
Bedrijven	Memstill, I3 Innovative Technologies	
Verwachting	Uit ervaring van Hellebrekers blijkt dat de configuratie erg nauw komt voor het succes van het inzetten van deze techniek. Hier moet eerst praktijkervaring mee opgedaan worden.	
Bronnen	<p>https://edepot.wur.nl/340153 https://edepot.wur.nl/363664</p> <p>NCM praktijkvoorbeeld Memstill melkveehouder Oss</p> <p>Bron plaatje 1: https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/techniefiches/membraandestillatie</p>	

Drogen m.b.v. zeolieten

Beschrijving technologie	<p>Proces waarbij drijfmest met een decanter wordt gefractioneerd in een vaste en vloeibare fase. De vaste mestfractie wordt gedroogd in een gesloten menger met het adsorptiemiddel zeoliet (een moleculaire zeef dat lijkt op gebakken klei) en dus niet met lucht. Zeoliet is heel selectief voor water, andere componenten (o.a. geur) worden niet geadsorbeerd, maar dat hangt sterk af van de zeolietkeuze. Daarnaast is de droogpotentie (door vocht adsorptie) van zeoliet per volume meer dan 1000x groter dan van lucht. In een compacte continu menger worden adsorberende zeolietkorrels toegevoegd aan de vochtige vaste mestfractie. De verblijftijd van het zeoliet in de menger is enkele minuten waarna droge mest en zeoliet middels zeven van elkaar worden gescheiden. De gedroogde mest wordt met een pelletmolen gekorrelt. Het zeoliet wordt geregenereerd en opnieuw ingezet. Door de selectiviteit van zeoliet voor water, is de afgasreiniging eenvoudig en goedkoop. Door de hoge droogpotentie is de installatie compact.</p>
Producten	Fosfaatrijke mestkorrels en fosfaatarme vloeibare fractie.
Huidige toepassing	Gepatenteerd proces is door TNO gelicenseerd aan de startup MEST (Manure & Sludge Technology). Installatie is heeft enige tijd in Apeldoorn (TNO) gedraaid op mest en zuiveringsslib. Vervolgens is hij verkocht aan MOXBA voor de droging van chemische slibben en daarna doorverkocht aan een Chinese firma.
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	Technologie is relevant voor het vergroten van de afzetmogelijkheden van de vaste mestfractie, mestkorrels.
Welk probleem wordt aangepakt	Het milieuvriendelijk, kostenefficiënt drogen en korrelen van de vaste mestfractie.
Voor- en nadelen	<p>Voordelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Compacte (>1000x), gesloten, water-selectieve drooginstallatie. <p>Nadelen van ad(b)sorptie drogers</p> <ul style="list-style-type: none"> - Is nog niet verder ontwikkeld dan demoschaal. - Het te drogen materiaal en het adsorbens mogen niet aan elkaar gaan kleven. Structuur van het te drogen materiaal moet zodanig zijn dat het adsorbens niet in poriën of niches van het te drogen materiaal wordt ingesloten tijdens het droogproces. Problemen met de plakfase van het te drogen materiaal is op te lossen door gedroogde mest te refluxen. - Indien geen 100% scheiding van gedroogd materiaal en ad(b)sorbens mogelijk resulteert dit in een verlies van ad(b)sorbens wat een kostenfactor vormt. Hoewel veel zeoliet uit de chemische industrie beschikbaar komt. - Relatief hoog energieverbruik in verband met regeneratie proces van het adsorbens - Omdat de temperatuur van de drogende deeltjes relatief laag blijft, is niet duidelijk wat er gebeurt met de ammoniak en geurcomponenten. Waarschijnlijk is een extra thermische behandeling van het gedroogde materiaal nodig. - Minder geschikt voor grote deeltjes

	<ul style="list-style-type: none"> - -Er worden extra kosten gemaakt voor zeoliet als droogmiddel en voor regeneratie (drogen) - Natuurlijke zeolieten bevatten vaak asbest.
Knelpunten	De economie van het proces is sterk afhankelijk van de verliezen aan zeoliet in het proces: scheidingsrendement tijdens zeven; zeoliet-atritie en vervuiling.
Ontwikkelpunten	Verminderen van de zeolietverliezen. Verhogen van het scheidingsrendement door vergroten van de diameter van de zeolietkorrels. Ontwikkeling van hardere zeolietkorrels.
Duurzaamheid / milieuaspecten	<p>Door de selectiviteit van zeoliet (moleculair zeef) is een gesloten emissiearme droging van de vaste mestfractie mogelijk.</p> <p>Voor regeneratie van het zeoliet is warmte nodig. Er kan gebruik worden gemaakt van laagwaardige warmte, zolang de drooglucht maar superdroog is. In de praktijk is meer temperatuur nodig en moet worden gezocht naar warmte-integratie.</p>
Bedrijven	<p>De technologie met zeolietkorrels is rond de eeuwwisseling ontwikkeld bij TNO voor toepassing bij mestverwerking op loonwerkersschaal. De genoemde startup, MEST, bestaat niet meer. Doorontwikkeling van deze zeolietkorrel technologie vindt mogelijk plaats in China.</p> <p>Doorontwikkeling van zeoliet op een dragermateriaal (rotor) heeft bij TNO plaatsgevonden en wordt thans door Munters geïntroduceerd in de voedingsmiddelenindustrie.</p> <p>Technologie is enkele jaren geleden geshortlist door een consortium gevormd door Van Ganzenwinkel en ZLTO.</p>
Verwachting	Elegante droogtechnologie, mogelijk te elegant. Voor toepassing met mest lijken er knelpunten op het gebied van emissies en vervuiling van de zeoliet.
Bronnen	<p>Timmerman & Rulkens 2009</p> <p>https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/139172</p> <p>https://edepot.wur.nl/138781</p>

Diversen of combinatie van technologieën:

Eutectische Vrieskristallisatie (EFC)

Beschrijving technologie	<p>EFC is een techniek voor afscheiding van zouten en water uit zoutoplossingen.</p> <p>Als een zoute stroom wordt gekoeld in een kristallisator zal bij een bepaalde temperatuur ijs worden gevormd. Door de vorming van ijs zal de zoutconcentratie in de overblijvende vloeistof (de moederloog) toenemen en zal het vriespunt verder dalen. Als men doorgaat met koelen zal de zoutconcentratie de oplosbaarheid van het zout overschrijden en zullen gelijktijdig ijs en zoutkristallen worden gevormd bij het zogenaamde eutectische vriespunt waarbij ijs, zout en moederloog in evenwicht zijn. Door verder te koelen zal meer ijs en zout worden gevormd bij gelijkblijvende temperatuur waardoor een scheiding optreedt. Het ijs drijft naar boven en het zout bezinkt. Beide stromen worden separaat met restmoederloog uit de</p>
--------------------------	---

	kristallisator verwijderd. Het ijs en het zout worden vervolgens gefiltreerd en gewassen, terwijl de moederloog terug wordt gevoerd naar de kristallisator.
Producten	De eindproducten van het EFC proces zijn schoon water en zoutkristallen. In sommige gevallen resteert eveneens een 'bleed' stroom van ingedikte moederloog.
Huidige toepassing	De technologie staat aan het begin van de leer-curve en "manufacturing cost down curve". De haalbaarheid is voor enkele toepassingen op pilotschaal aangetoond. Bijvoorbeeld voor de terugwinning van zout uit het regeneraat van kationwisselaars. Een eerste fabriek voor de terugwinning van ammoniumzouten uit het spuiwater van chemische luchtwassers wordt gerealiseerd in Tilburg. https://www.natuchem.eu/over-natuchem
Mogelijke toepassingen mestverwaarding	EFC kan voor mestverwerking worden ingezet: <ul style="list-style-type: none"> - Voor het verder concentreren van concentraten uit omgekeerde osmose. Is bij Kumac getest, maar bleek niet te voldoen. - Voor de afscheiding / terugwinning van zouten. Bijvoorbeeld, afscheiding van ammoniumzouten uit spuiwater chemische luchtwassers of terugwinning van kaliumzouten uit concentraten van dunne fractie mest.
Welk probleem wordt aangepakt	EFC maakt het in principe mogelijk om verschillende zouten afzonderlijk te laten kristalliseren en af te scheiden in tegenstelling tot alternatieve technologieën zoals indampen in combinatie met kristallisatie.
Voor- en nadelen	Voordelen <ul style="list-style-type: none"> - Weinig last van scaling - Hogere DS gehalten haalbaar ten opzichte van indampen - Lager energieverbruik ten opzichte van indampen - Afscheiding van meer dan één (zout-) component mogelijk - Geen hitte schade aan af te scheiden componenten Nadelen <ul style="list-style-type: none"> - Technologie-toepassingen nog niet uitontwikkeld - Veel voorzieningen nodig om koude verliezen te voorkomen - Energieverbruik substantieel
Knelpunten	<ul style="list-style-type: none"> - Voorkomen van koude verliezen - Goede scheiding van ijs- en zoutkristallen van de moederloog - Specifiek voor mest: bij opwarming van het via EFC verkregen concentraat ontwijken vluchtige componenten (geur / ammoniak).
Ontwikkelpunten	<ul style="list-style-type: none"> - Zie knelpunten
Duurzaamheid / milieuaspecten	EFC maakt het mogelijk om componenten terug te winnen uit vloeibare rest-/afvalstromen. Naarmate de zoutfracties in dierlijke mest in meer geconcentreerde vorm (vloeibaar of vast) wordt bespaard op energieverbruiken (en emissies) gerelateerd aan transport en gebruik.
Bedrijven	Cool Separations, Portugaal, NL, https://www.coolseparations.nl/ Natuchem BV Circular Values Innosense

	Turbin
Verwachting	<p>In potentie is EFC een veelbelovende techniek om specifieke zouten (onder andere kalium) relatief zuiver uit mest te kunnen winnen. Het onderzoek dat tot dusver met EFC is uitgevoerd heeft echter met name betrekking gehad op het verder concentreren van het concentraat verkregen uit omgekeerde osmose processen en niet op de winning van zoutkristallen. Er is nog weinig bekend over welke mate van zuiverheid zoutfracties met behulp van EFC uit mest gewonnen kunnen worden en in hoeverre dit economisch rendabel is. De verwachting is dat niet alle zoutfracties rendabel teruggewonnen kunnen worden en dat in alle gevallen een rest zoutstroom zal achterblijven.</p> <p>In theorie kan het EFC proces concurreren met indampprocessen en zou het proces in vergelijking tot indamping minder strikte technische randvoorwaarden kennen.</p> <p>Er is echter nog veel onderzoek nodig voor de specifieke toepassingen voor het verwaarden van mest. De ontwikkeltijd voor marktrijpe toepassingen kan naar schatting 5 – 10 jaar vragen.</p> <p>Het winnen van ammoniumzouten uit spuiwater van chemische luchtwassers is naar verwachting haalbaar. Een eerste fabriek is in aanbouw in Tilburg. (https://www.natuchem.eu/over-natuchem/). In tegenstelling tot de concentraten van dunne mest bevat het spuiwater van luchtwasser geen grote diversiteit aan componenten.</p>
Bronnen	<p>https://www.kwrwater.nl/en/projecten/eutectic-freeze-crystallisation/</p> <p>https://www.coolseparations.nl/about-efc-fc-cc-technologies/</p> <p>https://www.coolseparations.nl/efc-technology-how-it-works/</p>

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



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

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

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

