

# Toepassing forward osmose bij het verwaarden van mest

Haalbaarheidsstudie in het kader van

Membrane and Module development and  
process applications  
Joint Industry Projects

ZLTO	Onderwijsboulevard 225 5223 DE 's-Hertogenbosch Postbus 100 5201 AC 's-Hertogenbosch
Auteur:	Ing. J.P.B.F. van Gastel (Promillicon)
Datum:	Maart 2021

## Inhoud

Samenvatting.....	3
1. Inleiding.....	4
1.1 Aanleiding en achtergrond.....	4
1.2 Doelstelling.....	4
1.3 Leeswijzer.....	5
2. Verwaardingsroutes.....	6
2.1 Circulaire landbouw.....	6
2.2 Renure meststoffen.....	6
2.3 Beschrijving procesroutes.....	8
3. Methode en uitgangspunten.....	10
3.1 Samenstelling varkensmest.....	10
3.2 Uitgangspunten massabalansen.....	10
3.3 Werkwijze kostenramingen.....	11
3.4 Raming operationele kosten.....	13
3.5 Raming financieringskosten.....	14
3.6 Opbrengsten eindproducten.....	14
4. Resultaten.....	17
4.1 Procesroute 1: Scheiden.....	17
4.1.1 Processchema en massabalans.....	17
4.1.2 Investerings.....	17
4.1.3 Kosten en opbrengsten.....	18
4.2 Procesroute 2: Omgekeerde osmose.....	20
4.2.1 Processchema en massabalans.....	20
4.2.2 Investerings.....	20
4.2.3 Kosten en opbrengsten.....	21
4.3 Procesroute 3 Omgekeerde osmose en forward osmose.....	23
4.3.1 Processchema en massabalans.....	23
4.3.2 Investerings.....	23
4.3.3 Kosten en opbrengsten.....	24
5. Discussie.....	26
6. Conclusies.....	27

## Samenvatting

ZLTO onderzocht in het kader van het Joint Industry Project 'Membrane and Module development and process applications' de investeringskosten en benodigde poorttarieven voor toepassing van forward osmose bij de productie Renure meststoffen.

Renure meststoffen zijn meststoffen geproduceerd op basis van herwonnen stikstof uit dierlijke mest. In Nederland worden onder de pilot mineralenconcentraten sinds 2009 meststoffen geproduceerd die zich kwalificeren als Renure meststof. De productie van mineralenconcentraat vindt plaats via efficiënte scheiding van de aangevoerde mest via een combinatie van mechanische scheidingsstappen, gevolgd door het concentreren van de dunne mestfractie met behulp van omgekeerde osmose.

In deze studie zijn drie procesroutes vergeleken waarmee Renure meststoffen kunnen worden gemaakt. Procesroute 1 betreft vergisting van mest gevolgd door een scheiding van het digestaat met behulp van zeefbandpers en flotatie onder toevoeging van polymeer en ijzersulfaat. In procesroute 2 is aanvullend omgekeerde osmose toegepast om de dunne fractie te ontwateren. In procesroute 3 is in aanvulling op procesroute 2 het concentraat van het omgekeerde osmose proces verder geconcentreerd met behulp van forward osmose.

Op basis van de in dit rapport gehanteerde uitgangspunten bedragen de minimaal benodigde poorttarieven bij een aanvoercapaciteit van 100.000 ton varkensmest per jaar voor procesroutes 1, 2 en 3 afgerond respectievelijk circa 19, 15,50 en 15 euro per ton aanvoer. Bij een schaalgrootte van 400.000 ton aanvoer per jaar nemen de benodigde poorttarieven af met circa 4 tot 5 euro per ton ten opzichte van de poorttarieven bij 100.000 ton aanvoer per jaar.

Bij voldoende schaalgrootte bestaat perspectief op realisatie van poorttarieven die lager liggen dan mestafzetprijzen voor varkensmest in de afgelopen jaren.

De investeringskosten voor de greenfield realisatie van een plant met een aanvoercapaciteit van 100.000 ton per jaar zijn voor procesroute 1 geraamd op 3,2 miljoen euro. Voor procesroute 2 en 3 bedragen de investeringskosten bij deze capaciteit respectievelijk 4,7 en 5,3 miljoen euro.

Geconcludeerd kan worden dat de procesroute met forward osmose, waarbij de meest vergaande ontwatering wordt gerealiseerd, tot de laagste benodigde poorttarieven leidt van de doorgerekende procesroutes. Hierbij dient te worden opgemerkt dat van deze procesroute nog geen resultaten beschikbaar zijn van langjarige toepassingen, zoals dat wel het geval is bij route 1 en 2.

Behoeft bestaat aan verificatie van de marktwaarde van het concentraat verkregen via toepassing van forward osmose en verificatie van de technische prestaties van de High Brine Reverse Osmosis configuratie van het forward osmose proces in de toepassing voor ontwatering van dunne mest.

# 1. Inleiding

## 1.1 Aanleiding en achtergrond

Forward osmose (FO) is een relatief recent ontwikkelde technologie die nog weinig praktijkvoorbeelden kent, ondanks de veelbelovende perspectieven ten aanzien van het energetisch efficiënt concentreren van vervuilde en visceuze vloeistoffen.

In 2016 heeft Blue-tec BV het initiatief genomen om een project op te starten met het doel forward osmose membranen en modules te ontwikkelen, praktisch rijp te maken en de toepassing voor het concentreren van diverse vloeistofstromen op pilot schaal te testen.

Voor de uitvoering van het project is samenwerking gezocht met verschillende partners. De ontwikkeling van een verbeterd type FO membraan met behulp van de nieuwe electrospinning productiemethode is door de Technische Universiteit Eindhoven uitgevoerd. Blue-tec heeft de ontwikkeling van de membraanmodules ter hand genomen en heeft de pilotinstallatie gebouwd voor het testen van de diverse industriële vloeistofstromen van de industrie partners. De industriële partners AVEBE, Darling Ingredients, Danone Nutricia, Wolbers Mesttechniek hebben de pilotinstallatie toegepast voor het concentreren van specifieke vloeistofstromen binnen de verschillende productieprocessen. ZLTO heeft als belangenorganisatie van de agrarische sector procesroutes voor het verwerken van mest met en zonder toepassing van forward osmose vergeleken. Het Institute for Sustainable Process Technology (ISPT) was verantwoordelijk voor de projectorganisatie gedurende de looptijd van het vierjarige ontwikkelingsproject.

Voor de uitvoering van het project heeft het ministerie van Economische Zaken een subsidie toegekend vanuit het programma Joint Industry Projects (JIP).

Dit rapport beschrijft de resultaten van de studie van ZLTO naar de haalbaarheid van toepassing van forward osmose bij het verwaarden van varkensmest.

## 1.2 Doelstelling

Het landbouwbedrijfsleven, het ministerie van Economische Zaken, Landbouw, Natuurbeheer en Visserij en het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat zijn in 2009 gestart met een landelijke pilot om de productie en het gebruik van 'mineralenconcentraat' te onderzoeken<sup>1</sup>.

Het onderzoek was bedoeld om de benodigde informatie te verzamelen om te kunnen beoordelen of en in hoeverre het mineralenconcentraat als kunstmest toegepast zou kunnen worden.

Inmiddels (2021) kent de pilot 18 operationele productielocaties. De afnemers van het mineralenconcentraat van de pilots kunnen het bemestingsproduct toepassen bovenop de gebruiksnorm voor dierlijke mest binnen de totale gebruiksnorm voor stikstof.

---

<sup>1</sup> Mineralenconcentraat is een vloeibare NK meststof die is geproduceerd door het in verschillende stappen scheiden van dierlijke mest en concentreren van de dunne fractie met behulp van omgekeerde osmose.

De verwachting bestaat dat wanneer een permanente wettelijke voorziening wordt getroffen voor het gebruik van het mineralenconcentraat de productie zal toenemen. De Nederlandse overheid zoekt hierbij aansluiting bij Europese ontwikkelingen voor veilig gebruik van mestverwerkingsproducten in het kader van de Nitraatrichtlijn met de introductie van zogenoemde Renure<sup>2</sup> meststoffen.

De doelstelling van deze studie is om te onderzoeken of de toepassing van FO in het productieproces van mineralen concentraat bedrijfseconomische voordelen oplevert ten opzichte van de huidige productiewijze en ten opzichte van productie van dunne mestfractie die zich eveneens kwalificeert als Renure meststof.

### 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt nader ingegaan op de achtergrond en criteria voor Renure meststoffen en worden de procesroutes beschreven die in dit rapport zijn vergeleken. De gehanteerde uitgangspunten en toegepaste methode voor het berekenen van de investeringskosten en benodigde poorttarieven van de routes komen aan bod in hoofdstuk 3. De resultaten van de berekeningen zijn vervolgens opgenomen in hoofdstuk 4. Het hoofdstuk Discussie (5) geeft een beschouwing van de resultaten en in hoofdstuk 6 staan de conclusies van de studie.

---

<sup>2</sup> Renure staat voor REcovered Nitrogen from manURE.

## 2. Verwaardingsroutes

### 2.1 Circulaire landbouw

In de visienota van 2018 'Waardevol en Verbonden' schrijft minister Schouten van LNV over de omslag naar kringlooplandbouw en wat dit van Nederland zal vragen, om de toekomst van onze voedselvoorziening veilig te stellen. De omschakeling die nodig is voor een toekomstbestendige landbouw is een omschakeling van een voortdurende verlaging van de kostprijs van producten naar een voortdurende verlaging van het verbruik van grondstoffen. Eén van de beschreven kenmerken van de kringlooplandbouw is dat reststromen, zoals dierlijke mest, zo efficiënt mogelijk worden benut en zoveel mogelijk regionaal worden ingezet. Er zal worden toegewerkt naar een situatie waarbij voor bemesting steeds meer bewerkte dierlijke mest en steeds minder kunstmest wordt toegepast. Bij deze omslag dient verlies van nutriënten zoveel mogelijk voorkomen te worden. Om van visie tot realisatie te komen is door LNV in 2019 het realisatieplan 'Op weg met nieuw perspectief' opgesteld. Eén van de beleidsdoelen die hierin is opgenomen betreft het ontwikkelen van voorwaarden voor veilig gebruik van mestverwerkingsproducten in het kader van de Nitraatrichtlijn; de zogenoemde Renure meststoffen. Inmiddels is in Europees verband onderzoek verricht naar de criteria voor veilige toepassing van Renure meststoffen.

### 2.2 Renure meststoffen

Om de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater te beschermen tegen stikstofverliezen afkomstig uit de landbouw, zijn in de Nitraatrichtlijn (91/676/EEC) grenzen gesteld aan het gebruik van dierlijke mest. Het gebruik van stikstof uit dierlijke mest is gelimiteerd tot maximaal 170 kg stikstof per hectare en 230 of 250 kg stikstof per hectare voor derogatiebedrijven. Deze norm is van toepassing op het gebruik van alle dierlijke mestproducten, ook in bewerkte vormen. Deze bepaling in de Nitraatrichtlijn verhindert de toepassing van de uit dierlijke mest herwonnen nutriënten boven de gestelde limiet. Om de transitie naar een circulaire landbouw mogelijk te maken heeft het Joint Research Center (JCR) in opdracht van de Europese Commissie onderzocht onder welke voorwaarden herwonnen stikstof uit dierlijke mest veilig kan worden gebruikt in gebieden die kwetsbaar zijn voor nitraatuitspoeling boven de norm van de Nitraatrichtlijn. In september 2020 publiceerde het Joint Research Center (JCR) het eindrapport van het onderzoek SAFEMANURE (Huygens et al., 2020). Het onderzoek heeft geleid tot een aantal criteria voor het veilige gebruik van RENURE meststoffen.

De door het JCR voorgestelde criteria voor veilig gebruik van Renure meststoffen zijn:

1. De Renure meststof is verkregen door een fysisch, chemisch of biologisch proces, waardoor de verhouding minerale stikstof, ureum stikstof en/of stikstof in gekristalliseerde vorm ten opzichte van de totale hoeveelheid stikstof is toegenomen in vergelijking tot het ingaande mestproduct. De toegepaste processen dienen te leiden tot een stabiele kwaliteit van de Renure meststof.
2. RENURE meststoffen moeten een minerale N: totaal N-verhouding  $\geq 90\%$  hebben of een totale organische koolstof (TOC): totale N-verhouding  $\leq 3$ , waarbij de verhoudingen eventuele toegevoegde stikstof die niet afkomstig is van dierlijke mest niet mogen meerekenen.
3. RENURE meststoffen mogen de volgende grenswaarden niet overschrijden:
  - a. Cu: 300 mg kg<sup>-1</sup> droge stof;
  - b. Zn: 800 mg kg<sup>-1</sup> droge stof.
4. De lidstaten moeten de nodige maatregelen nemen om het tijdstip en de gift van RENURE meststoffen af te stemmen op de gewasbehoefte om uit- en afspoeling van nutriënten tot een minimum te beperken. De maatregelen betreffen in het bijzonder:
  - a. specificatie van informatie over het nutriëntengehalten van de RENURE meststof, waarbij voor N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en K<sub>2</sub>O, waarvan het gehalte meer dan 1% bedraagt de afwijking niet meer dan 25% mag bedragen.
  - b. het aanhouden van levende beplanting gedurende een zo groot mogelijk deel van het jaar of gelijkwaardige maatregelen.
5. De lidstaten dienen de nodige maatregelen te nemen om NH<sub>3</sub>-emissies tijdens de aanwending van RENURE meststoffen te voorkomen en tot een minimum te beperken, in het bijzonder:
  - a. voor RENURE N-meststoffen die >60% van de totale N in een andere vorm dan NO<sub>3</sub>-N hebben; en
  - b. voor RENURE N meststoffen toegepast op bodems met pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> > 5,5.
6. De lidstaten moeten de nodige maatregelen nemen om emissies naar de lucht als gevolg van opslag te voorkomen en tot een minimum te beperken door passende opslagvoorwaarden van RENURE meststoffen voor te schrijven.

## 2.3 Beschrijving procesroutes

Er zijn in deze studie drie procesroutes voor de productie van Renure meststoffen vergeleken. In alle drie de routes wordt varkensmest aangevoerd naar een centrale productielocatie. De eerste behandeling in de drie routes betreft steeds het vergisten van de aangevoerde mest. Door het vergisten van de mest kan gemakkelijker worden voldaan aan de Renure productiekwalificaties. Tijdens het vergisten wordt organische stof omgezet wat leidt tot een verlaging van de TOC/N<sub>tot</sub> verhouding. Als gevolg van de omzetting van de organische stof komt een deel van de organisch gebonden stikstof vrij in de vorm van ammoniak. Hierdoor wordt de verhouding N<sub>min</sub>/N<sub>tot</sub> hoger. Door de toepassing van vergisting worden beide verhoudingsgetallen die van belang zijn voor kwalificatie als Renure meststof, gunstig beïnvloed.

Het uitgangspunt voor de drie procesroutes is dat alle bewerkingen plaatsvinden in een afgesloten proceshal. De procesruimte wordt geventileerd en de uittredende lucht wordt behandeld om emissie van stikstof en geur naar de omgeving te beperken.

### Procesroute 1: Scheiden

In procesroute 1 wordt het digestaat, verkregen na vergisting, zeer efficiënt gescheiden. De efficiënte scheiding is nodig om aan de kwalificaties N<sub>min</sub>/N<sub>tot</sub> ≥90% en/of TOC/N<sub>tot</sub> ≤3 te kunnen voldoen. Uitgegaan is van scheiding met behulp van een zeefbandpers en flotatie onder toevoeging van polymeer en ijzersulfaat. De verkregen dunne mestfractie kwalificeert zich als Renure meststof.

Ook het ammoniumsulfaat dat ontstaat bij de zure wassing van de ventilatielucht van de proceshal is een Renure meststof.

### Procesroute 2: Omgekeerde osmose

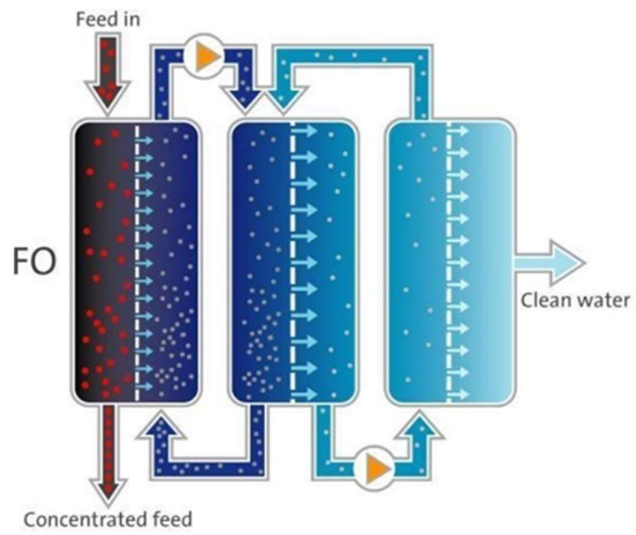
In aanvulling op procesroute 1 wordt de verkregen dunne mestfractie ontwaterd met behulp van omgekeerde osmose. Het verkregen concentraat kwalificeert zich als Renure meststof.

### Procesroute 3: Omgekeerde osmose en forward osmose

In procesroute 3 wordt het concentraat dat wordt verkregen bij toepassing van omgekeerde osmose verder geconcentreerd met behulp van forward osmose (FO).

Uitgegaan is van toepassing van de FO in een HBRO-configuratie (High Brine Reverse Osmosis). Het principe van dit systeem is gebaseerd op een aantal achter elkaar schakelde membranen die van links naar rechts steeds minder zout doorlatend zijn. Zie figuur 1. Het laatste membraan is een RO membraan (niet zout doorlatend). In het laatste membraan wordt het permeaat van het voorlaatste membraan geconcentreerd tot ongeveer 60 bar osmotische druk, waarbij schoon water vrij komt. Het concentraat van dit membraan wordt naar het voorliggende membraan gestuurd. Dit membraan laat een deel van het zout door, waardoor aan de permeaatkant ook osmotische druk ontstaat. Door nu een hier een drukpomp toe te passen kan het concentraat van deze stap verder geconcentreerd. Op deze wijze kan stapsgewijs worden toegewerkt naar een steeds hogere osmotische druk waarmee de te behandelen vloeistof kan worden ontwaterd.





**Figuur 1.** Schematische weergave forward osmose in High Brine Reverse Osmosis configuratie.

## 3. Methode en uitgangspunten

### 3.1 Samenstelling varkensmest

Bij het opstellen van de massabalansen is met betrekking tot het ingaande product uitgegaan van een mengsel van vleesvarkensmest en zeugenmest in de verhouding van de productievolumes in Nederland. De samenstelling van de vleesvarkensmest en zeugenmest is ontleend aan het handboek Bodem en bemesting<sup>3</sup>. De verhouding van de productievolumes vleesvarkensmest en zeugenmest in Nederland is afkomstig van CBS (2019)<sup>4</sup>.

Tabel 1 toont de berekende samenstelling van de ingaande varkensmest.

**Tabel 1.** Berekende samenstelling ingaande varkensmest.

Ingaande mest	Verhouding	DS g/kg	OS g/kg	Ntot g/kg	Nm g/kg	Norg g/kg	P2O5 g/kg	K2O g/kg
Vleesvarkensmest	57%	107,0	79,0	7,0	3,7	3,3	3,9	4,7
Zeugenmest	43%	67,0	42,0	5,0	3,3	1,7	3,5	4,9
Mengsel	100%	89,6	62,9	6,1	3,5	2,6	3,7	4,8

### 3.2 Uitgangspunten massabalansen

Voor het opstellen van de massabalansen is gebruikgemaakt van het rapport Mineralenconcentraten uit dierlijke mest (Hoeksma et al., 2011)<sup>5</sup>. Dit rapport doet verslag van metingen van samenstellingen van in- en uitgaande meststromen bij de productie van mineralenconcentraten. Er is gebruikgemaakt van de gemeten scheidingsrendementen en samenstellingen van meststromen die tijdens dit onderzoek zijn vastgesteld.

De uitgangspunten voor het forward osmose proces zijn afkomstig van Bluetec<sup>6</sup>.

<sup>3</sup> <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting.htm>

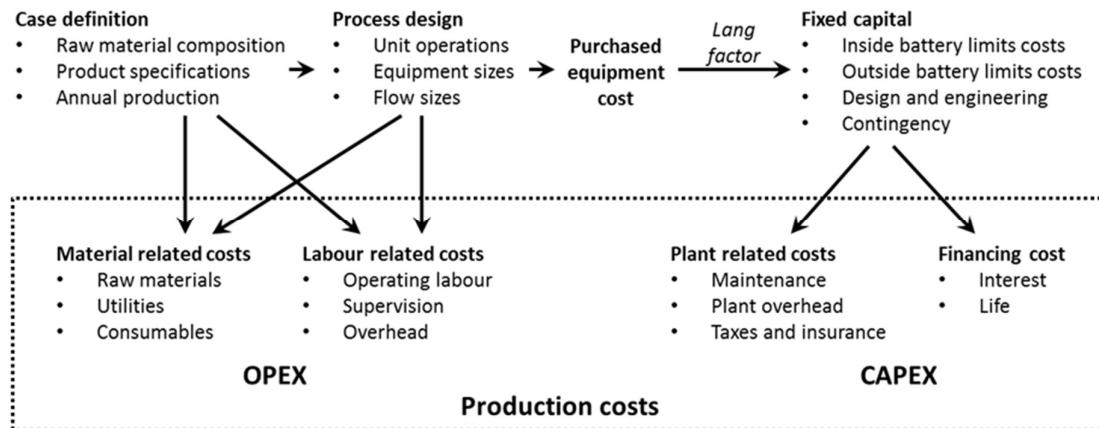
<sup>4</sup> <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/83982NED/table?ts=1615274727131>

<sup>5</sup> Hoeksma et al. 2011. Mineralenconcentraat uit dierlijke mest. Monitoring in het kader van de pilot mineralenconcentraat. Wageningen Lifestock Research, Wageningen. Rapport 481.

<sup>6</sup> Persoonlijke mededeling, L. van Dijk, Blue-tec, Renkum.

### 3.3 Werkwijze kostenramingen

Bij de kostenramingen is zoveel mogelijk aangesloten bij de methode die is beschreven in het handboek Chemical Engineering (Sinnott & Towler, 2012)<sup>7</sup>. Figuur 2 geeft schematisch weer op welke wijze de kostenraming tot stand komt. De eerste stap betreft de beschrijving van de casus en het proces, dit resulteert in een overzicht van de benodigde apparaten en materialen.



**Figuur 2.** schematische weergave technisch economische kostenraming. (Handbook Chemical Engineering, Sinnott & Towler (2012)).

Met de basis-ontwerpgegevens van procesonderdelen kunnen met behulp van beschikbare prijendatabases de aankoopkosten worden bepaald van de benodigde apparatuur. Vervolgens worden de totale investeringen van het project geraamd door gebruik te maken van opslagfactoren. Deze opslagfactoren zijn afgeleid van gerealiseerde fabrieken in de chemische procesindustrie.

In deze studie is geen gebruik gemaakt van de databases met prijzen voor unit operations uit de chemische industrie, in plaats daarvan is zoveel mogelijk uitgegaan van offertes van bestaande mestverwerkingsinstallaties. Hierdoor sluiten de ramingen beter aan bij de toegepaste uitvoeringspraktijk in de branche.

In tabel 2 zijn de opslagfactoren weergegeven voor de chemisch industrie bij vloeistofprocessen. Deze zijn ook gebruikt voor de bepaling van de investeringen in deze studie. Met uitzondering van de kosten voor 'Design and Engineering'. Hiervoor is niet uitgegaan van 10% van de som van de 'Inside en Outside Battery Limits Costs'. De reden voor deze bijstelling is dat het in deze studie bestaande processen worden toegepast die minder 'Design and Engineering' vergen.

<sup>7</sup> Towler, G., and Sinnott, R. (2012). Principles, practice and economics of plant and process design, 2nd edition ISBN 978-0-08-096659-5

**Tabel 2.** Gebruikte Lang factoren voor de raming van kosten voor de realisatie van fabrieken in de chemische procesindustrie (Handbook Chemical Engineering, Sinnott & Towler 2012).

Factor	Symbol	Fluid processing (general)
Equipment material cost factor	$f_m$	1,3
Equipment erection	$f_{er}$	0,3
Piping	$f_p$	0,8
Instrumental and control	$f_i$	0,3
Electrical	$f_{el}$	0,2
Civil	$f_c$	0,3
Structures and buildings	$f_s$	0,2
Lagging and paint	$f_l$	0,1
Inside battery limits (ISBL costs) $f_{ISBL} = 1 + f_{er} + (f_p + f_i + f_{el} + f_c + f_s + f_l) / f_m$	$f_{ISBL}$	2,88
Outside battery limits (OSBL) costs	$f_{OSBL}$	0,3
Design and engineering	$f_{DE}$	0,3
Contingency	$f_x$	0,1
Lang factor (fixed capital) $f_{Lang} = f_{ISBL} \times (1 + f_{OSBL}) \times (1 + f_{DE} + f_x)$	$f_{Lang}$	5,24

Uit tabel 2 kan worden afgeleid dat het investeringsniveau voor de realisatie van een fabriek ruim een factor 5 hoger ligt dan de cumulatieve aankoopkosten van apparaten. Ramingen van investeringskosten voor fabrieken met gebruik van Langfactoren worden meestal gemaakt in een vroeg stadium van de projectontwikkeling, wanneer nog geen gedetailleerd ontwerp van de fabriek beschikbaar is. De nauwkeurigheid van de raming van de investeringskosten ligt in deze fase in de orde grootte van +/- 30%.

De beschikbare offertes van de mestverwerkingsinstallaties omvatten in het algemeen meer dan enkel de kale prijzen van de unit operations. Om die reden is per offerte, of per procesonderdeel in de offerte, de toe te passen Langfactor bepaald op basis van in de inbegrepen voorzieningen. Wanneer bijvoorbeeld in de offerte ook alle Inside Battery Limits Costs waren inbegrepen, dan is een Langfactor van 2,88 gehanteerd in plaats van 5,24 uit tabel 2.

De berekende investeringsbedragen op basis van de offertes zijn omgerekend naar de voor deze rapportage gewenste capaciteiten. Daarbij is per deelproces gebruik gemaakt van schaalfactoren uit het Handbook Chemical Engineering Sinnott&Towler 2012.

### 3.4 Raming operationele kosten

De operationele kosten (Opex) bestaan uit materiaal-gerelateerde kosten, fabriek-gerelateerde kosten en arbeid-gerelateerde kosten.

#### *Materiaal-gerelateerde kosten*

De materiaal-gerelateerde kosten bestaan uit:

1. Kosten voor grondstoffen  
Er zijn geen inkoopkosten gerekend voor de aanvoer van mest. Veehouders betalen voor de afvoer en/of verwerking van mest.
2. Kosten voor energie  
Bij het bepalen van de kosten voor elektriciteit en warmte is gebruikgemaakt van CBS cijfers voor prijzen per kWh inclusief belastingen en netwerkkosten bij verschillende afname hoeveelheden.
3. Kosten voor verbruiksgoederen (hulpstoffen en materialen)  
De hoeveelheden benodigde hulpstoffen en materialen zijn berekend aan de hand van de massabalansen. De prijzen voor de hulpstoffen zijn ontleend aan gemiddelde prijzen zoals vermeld in Super pro designer 2019.

#### *Fabrieks-gerelateerde kosten*

De fabriek-gerelateerde kosten staan weergegeven in tabel 3. Hieronder vallen onder meer onderhoudskosten, belastingen en verzekeringen, locatiekosten en overhead. De betreffende opslagfactoren zijn opnieuw overgenomen van Sinnot&Towler, met uitzondering van de post royalties. In deze studie zijn geen kosten voor royalties gerekend.

**Tabel 3.** Plant related cost als percentage van de totale investeringskosten.

		Fluid processing (general)	This study
Maintenance	4% /yr of ISBL	2,9%	2,9%
Property taxes and insurance	2% /yr of ISBL	1,4%	1,4%
Rent of land (and/or buildings)	2% /yr of ISBL + OSBL	1,9%	1,9%
General plant overhead	65% of maintenance	1,9%	1,9%
Allocated environment charges	1% /yr of ISBL + OSBL	0,9%	0,9%
Royalties	1% /yr of total fixed capital cost	0,9%	0%
<b>Plant related costs</b>	<b>/yr of fixed capital</b>	<b>9,9%</b>	<b>9,0%</b>

#### *Arbeid-gerelateerde kosten*

Voor de schatting van de arbeidskosten is gerekend met opgaven van enkele grootschalige mestverwerkers, waarbij bij de omrekening naar de gewenste capaciteiten onderscheid is gemaakt tussen arbeid die meeschaalt met de productiecapaciteit en arbeid die dat niet doet.

### 3.5 Raming financieringskosten

De financieringskosten (Capex) betreffen de kosten voor leningen, het benodigde werkkapitaal en de aflossingen. Gerekend is met gemiddelde financieringskosten van 12,27% van de totale investering. Zie tabel 4.

**Tabel 4.** Berekening van de plant financieringskosten gebaseerd op het vaste kapitaal. (bron: handboek Chemical Engineering, Sinnott&Towler).

Working capital	15%	of fixed capital	
Interest on debt financing	4% /yr	of working capital	0,60%
Interest rate	3% /yr		
Life	10 yr		
Annual capital charge ratio	11,67% /yr	of fixed capital	11,67%
<b>Financing costs</b>	<b>/yr</b>	<b>of fixed capital</b>	<b>12,27%</b>

### 3.6 Opbrengsten eindproducten

De doorgerekende procesroutes leiden tot eindproducten met verschillende samenstellingen met verschillende marktwaarden. De 'af fabriek' opbrengsten van de verschillende bemestingsproducten zijn afgeleid van de marktwaarde, door de verkoopprijs te corrigeren voor verkoopkosten en kosten voor opslag, logistiek en aanwending. Door de productiekosten te vergelijken met de haalbare af-fabriek opbrengsten is bepaald welk mest-poorttarief nodig is voor een haalbare business case. In deze studie is in het poorttarief geen winstmarge opgenomen.

#### Marktwaarde

Voor de bepaling van de marktwaarde van de eindproducten is in deze studie uitgegaan van de kunstmestprijzen van stikstof, fosfaat en kalium. Navolgende prijzen gehanteerd:

- Stikstof, 0,96 €/kg N
- Fosfaat, 0,87 €/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- Kalium, 0,55 €/kg K<sub>2</sub>O

Tabel 5 toont de berekende marktwaarde van de verschillende eindproducten van de doorgerekende procesroutes op basis van de NPK-samenstelling.

**Tabel 5.** Berekende marktwaarde eindproducten op basis van kunstmestprijzen voor inhoudsstoffen N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en K<sub>2</sub>O.

Product	Ntot	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Marktwaarde 100%	Marktwaarde 75%
	kg/ton	kg/ton	kg/ton	€/ton	€/ton
Ammoniumsulfaat	50			48	36
Dunne fractie	4,5		4,3	7	5
Concentraat (RO)	10,5		10,7	16	12
Concentraat (RO+FO)	20		21,2	31	23
Dikke fractie (gehygiëniseerd)	10,2	18,5	4,3	19	14

Naar verwachting ligt de marktwaarde van eindproducten lager dan de berekende waarde op basis van kunstmestprijzen. De reden daarvoor is dat de NPK-verhouding van de eindproducten in de praktijk zelden exact zal voldoen aan de verhouding van de behoefte aan N, P en K afzonderlijk. Daarnaast bevatten de uit dunne fractie geproduceerde eindproducten ook de zouten die in de mest aanwezig waren. Hoge zoutgehalten zijn landbouwbouwkundig niet gewenst.

In deze studie is uitgegaan van een berekende marktwaarde van 75% van de NPK-waarde van de uit dunne fractie geproduceerde meststoffen. Dit is een aanname. Voor de marktwaarde van de vaste mestfractie is wel gerekend met 100% van de NPK waarde.

#### *Af-fabriek opbrengst*

Om de af-fabrieksprijzen te bepalen is de marktwaarde verminderd met de kosten die gemaakt worden in het traject van fabriek naar afnemer. De kosten in dit traject kunnen veelal niet worden doorbelast aan de afnemer. Het gaat hierbij om de volgende kosten:

#### Opslagkosten

Omdat de eindproducten niet gedurende het gehele jaar kunnen worden aangewend is rekening gehouden met een opslagtermijn van een half jaar en kosten voor opslag van 4 euro/ton opgeslagen eindproduct. Gemiddeld per ton geproduceerd eindproduct bedragen de kosten voor opslag 2 euro/ton. Voor de vaste mestfractie is er vanuit gegaan dat afzet/export jaarrond kan plaatsvinden en dat opslag buiten het aanwendseizoen plaatsvindt bij de afnemer.

#### Transportkosten

Transportkosten worden gemaakt wanneer het eindproduct wordt uitgeleverd en/of wanneer het eindproduct naar een opslagfaciliteit buiten de fabriekslocatie wordt gebracht. Gerekend is met 50 km transportafstand en 0,13 euro/km transportkosten<sup>8</sup>. Voor de afzet van ammoniumsulfaat dat ontstaat bij zure wassing van de ventilatielucht is gerekend met een transportafstand van 100 km. Voor de afzet (export) van vaste mestfractie is gerekend met een transportafstand van 300 km een 0,10 euro/km transportkosten.

#### Analysekosten

In deze studie is gerekend met 0,5 euro/ton analyse kosten, waarbij is uitgegaan van een gecertificeerde productie met een beperkte monsternamelijk.

#### Aanwending

De kosten voor emissie-arme aanwending bedragen 3 euro/ton.

#### Verkoop

Voor kosten van verkoop van de eindproducten is een prijs van 1 euro/ton aangenomen.

---

<sup>8</sup> Economische optimalisatie van de afzetketen voor varkens- en melkveemest Scenarioanalyse met het MERIT-model, C.P.A. van Wagenberg, A.F. Greijdenus en H.H. Luesink.

In deze studie is gerekend met een af-fabriek opbrengst van de eindproducten zoals weergegeven in tabel 6.

De hoeveelheden eindproducten die in de verschillende procesroutes worden geproduceerd zijn voor een belangrijk deel afhankelijk van de mate van ontwatering die in de procesroute plaatsvindt. De hoeveelheden eindproducten volgen uit de massabalansberekeningen. De 'af-fabriek' opbrengsten zijn berekend door vermenigvuldiging van de hoeveelheden eindproduct en de berekende af-fabrieksprijs in tabel 6. Vervolgens zijn de af-fabriek opbrengsten teruggerekend naar opbrengsten per ton aanvoer.

**Tabel 6.** Berekende af-fabriek opbrengst van de eindproducten zoals gehanteerd in deze studie.

Product	Marktwaaarde berekend €/ton	Opslag kosten €/ton	Transport kosten €/ton	Analyse kosten €/ton	Aanwending kosten €/ton	Verkoop Kosten €/ton	Af-fabriek prijs €/ton
Ammoniumsulfaat	36	2	13	0,5	3	1	16,5
Dunne fractie	5	2	6,5	0,5	3	1	-8
Concentraat (RO)	12	2	6,5	0,5	3	1	-1
Concentraat (RO+FO)	23	2	6,5	0,5	3	1	10
Dikke fractie (gehygiëniseerd)	19		30	3		1	-15



## 4. Resultaten

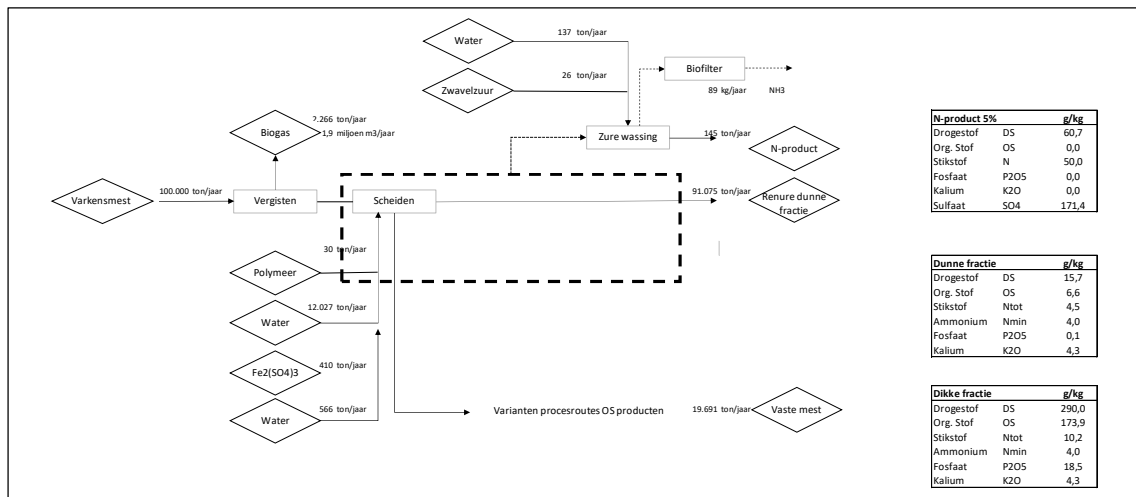
### 4.1 Procesroute 1: Scheiden

#### 4.1.1 Processchema en massabalans

Figuur 3 toont het processchema met de vrachten in- en uitgaande stromen en de samenstelling van de eindproducten van procesroute 1.

Bij een aanvoercapaciteit van 100.000 ton varkensmest per jaar ontstaat na vergisten en scheiden met behulp van zeeffbandpers en flotatie ruim 90.000 ton dunne fractie en bijna 20.000 ton vaste mestfractie. De toename van het volume eindproducten is het gevolg van toevoeging van hulpstoffen. De dunne mestfractie voldoet aan de Renure criteria  $TOC/N_{tot} \leq 3$  en  $Nm/N_{tot} \geq 90\%$ .

Bij het behandelen van de ventilatielucht van de proceshal ontstaat 145 ton ammoniumsulfaat. De berekende restemissie ammoniak na de luchtbehandeling bedraagt ordegrrootte 90 kg  $NH_3$  per jaar.



**Figuur 3.** Processchema en massabalans procesroute 1: Scheiden.

#### 4.1.2 Investeringsen

De benodigde investering voor greenfield realisatie van een plant met het processchema van figuur 3 is geraamd op 3,2 miljoen euro voor een aanvoercapaciteit van 100.000 ton per jaar. Bij een aanvoercapaciteit van 200.000 en 400.000 ton per jaar bedragen de benodigde investeringen respectievelijk 4,7 en 7,2 miljoen euro. Zie tabel 7.

**Tabel 7.** Raming investering procesroute 1: Scheiden, bij de aanvoercapaciteiten 100.000, 200.000 en 400.000 ton varkensmest per jaar.

<b>Capaciteit</b>	<b>100.000 ton/jaar</b>	<b>200.000 ton/jaar</b>	<b>400.000 ton/jaar</b>
Vergisten	€ 1.100.000	€ 1.800.000	€ 2.800.000
Scheiden	€ 600.000	€ 900.000	€ 1.500.000
Luchtbehandeling	€ 300.000	€ 400.000	€ 500.000
<b>Totaal inside battery limits</b>	<b>€ 2.000.000</b>	<b>€ 3.100.000</b>	<b>€ 4.800.000</b>
Investeringen outside battery limits	€ 600.000	€ 900.000	€ 1.400.000
Design and engineering	€ 300.000	€ 300.000	€ 400.000
Contingency	€ 300.000	€ 400.000	€ 600.000
<b>Totaal Fixed Capital Cost</b>	<b>€ 3.200.000</b>	<b>€ 4.700.000</b>	<b>€ 7.200.000</b>

#### 4.1.3 Kosten en opbrengsten

Tabel 8 toont het overzicht van kosten en opbrengsten van procesroute 1. Op basis van de kosten en opbrengsten is het minimaal benodigde poorttarief berekend. Bij een schaalgrootte van 100.000 ton aanvoer per jaar bedraagt het minimaal benodigde poorttarief bijna 19 euro per ton. Het poorttarief neemt met 3 euro per ton af bij een verdubbeling van de aanvoer capaciteit. Bij een aanvoercapaciteit van 400.000 ton per jaar neemt het benodigde minimale poorttarief af naar bijna 14 euro per ton.

Met de energieproductie uit biogas kan de elektriciteits- en warmtebehoefte van de plant worden gedekt. De resterende stroomproductie wordt verkocht en op het net gebracht. Er is geen rekening gehouden met verwaarden van de resterende warmte.

In het minimaal benodigde poorttarief is geen rekening gehouden met winstmarges.

**Tabel 8.** Overzicht kosten en opbrengsten procesroute 1: Scheiden, bij de aanvoercapaciteiten 100.000, 200.000 en 400.000 ton varkensmest per jaar.

<b>Capaciteit</b>		<b>100.000 ton/jaar</b>	<b>200.000 ton/jaar</b>	<b>400.000 ton/jaar</b>
<b>Totaal investering</b>	<b>M€</b>	<b>3,2</b>	<b>4,7</b>	<b>7,2</b>
<b>Kosten</b>				
Energie	€/ton	2,58	2,58	2,58
Hulpstoffen	€/ton	1,59	1,59	1,59

Personeel	€/ton	2,80	1,61	1,01
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/ton	2,88	2,12	1,62
Afschrijving en financiering	€/ton	3,93	2,88	2,21
<b>Totaal kosten</b>		<b>13,78</b>	<b>10,77</b>	<b>9,01</b>
<b>Opbrengsten af fabriek</b>				
Ammoniumsulfaat, 5%N	€/ton	0,02	0,02	0,02
Dunne fractie	€/ton	-7,29	-7,29	-7,29
Dikke fractie	€/ton	-2,95	-2,95	-2,95
SDE++ (fase 1)	€/ton	1,33	1,33	1,33
Levering stroom + groen certificaat	€/ton	1,33	1,33	1,33
Vermeden inkoop elektriciteit	€/ton	0,75	0,75	0,75
Vermeden inkoop warmte	€/ton	1,83	1,83	1,83
<b>Totaal opbrengsten af fabriek</b>	<b>€/ton</b>	<b>-4,97</b>	<b>-4,97</b>	<b>-4,97</b>
<b>Opbrengsten minus kosten</b> (minimaal poorttarief)	<b>€/ton</b>	<b>-18,75</b>	<b>-15,75</b>	<b>-13,98</b>
Gevoeligheid	(+/-)			
Opbrengst eindproducten	10%	1,03	1,03	1,03
Biogasproductie	10%	0,52	0,52	0,52
Investeringskosten	10%	0,68	0,50	0,38

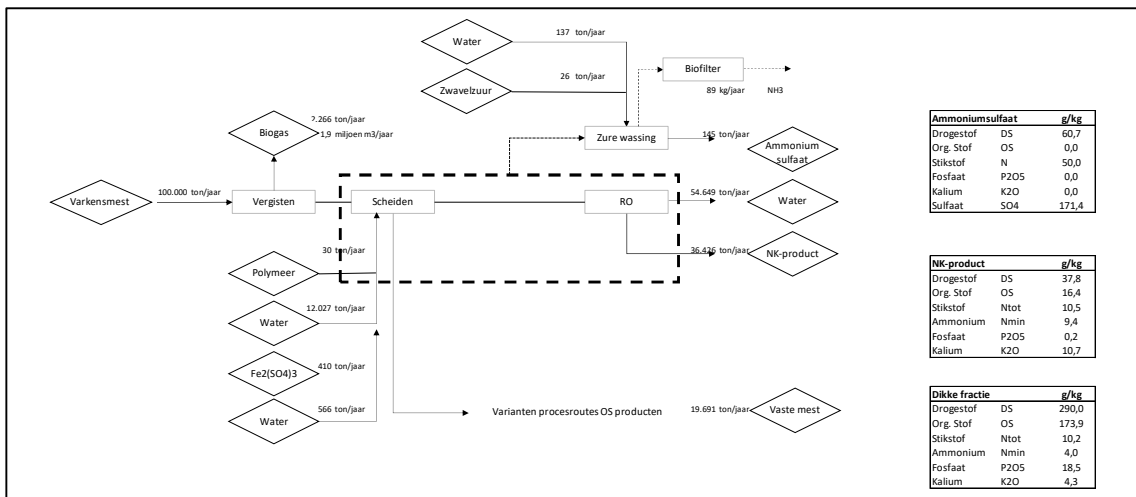
## 4.2 Procesroute 2: Omgekeerde osmose

### 4.2.1 Processchema en massabalans

Figuur 4 toont het processchema met de vrachten in- en uitgaande stromen en de samenstelling van de eindproducten van procesroute 2.

Bij een aanvoercapaciteit van 100.000 ton varkensmest per jaar ontstaat na vergisten, scheiden en ontwatering van de dunne mestfractie met behulp van omgekeerde osmose circa 36.000 ton concentraat, 20.000 ton vaste mestfractie en 55.000 ton water. De toename van het volume eindproducten is het gevolg van toevoeging van hulpstoffen. Het concentraat van het omgekeerde osmose proces voldoet, evenals dunne mestfractie van procesroute 1, aan de Renure criteria  $TOC/N_{tot} \leq 3$  en  $Nm/N_{tot} \geq 90\%$ .

Bij het behandelen van de ventilatielucht van de proceshal ontstaat 145 ton ammoniumsulfaat. De berekende restemissie ammoniak na de luchtbehandeling bedraagt ordegrrootte 90 kg NH<sub>3</sub> per jaar.



**Figuur 4.** Processchema en massabalans procesroute 2: Omgekeerde osmose.

### 4.2.2 Investeringsen

De benodigde investering voor greenfield realisatie van een plant met het processchema van figuur 4 is geraamd op 4,7 miljoen euro voor een aanvoercapaciteit van 100.000 ton per jaar. Bij een aanvoercapaciteit van 200.000 en 400.000 ton per jaar bedragen de benodigde investeringen respectievelijk 7,7 en 12,5 miljoen euro. Zie tabel 9.

**Tabel 9.** Raming investering procesroute 2: Omgekeerde osmose, bij de aanvoercapaciteiten 100.000, 200.000 en 400.000 ton varkensmest per jaar.

<b>Capaciteit</b>	<b>100.000 ton/jaar</b>	<b>200.000 ton/jaar</b>	<b>400.000 ton/jaar</b>
Vergisten	€ 1.100.000	€ 1.800.000	€ 2.800.000
Scheiden	€ 600.000	€ 900.000	€ 1.500.000
Omgekeerde osmose	€ 1.000.000	€ 2.000.000	€ 3.600.000
Luchtbehandeling	€ 300.000	€ 400.000	€ 500.000
<b>Totaal inside battery limits</b>	<b>€ 3.000.000</b>	<b>€ 5.100.000</b>	<b>€ 8.400.000</b>
Investerings outside battery limits	€ 900.000	€ 1.500.000	€ 2.500.000
Design and engineering	€ 400.000	€ 400.000	€ 500.000
Contingency	€ 400.000	€ 700.000	€ 1.100.000
<b>Totaal Fixed Capital Cost</b>	<b>€ 4.700.000</b>	<b>€ 7.700.000</b>	<b>€ 12.500.000</b>

#### 4.2.3 Kosten en opbrengsten

Tabel 10 toont het overzicht van kosten en opbrengsten van procesroute 2. Op basis van de kosten en opbrengsten is het minimaal benodigde poorttarief berekend. Bij een schaalgrootte van 100.000 ton aanvoer per jaar bedraagt het minimaal benodigde poorttarief voor deze variant circa 15,50 euro per ton. Het poorttarief neemt met 3 euro per ton af bij een verdubbeling van de aanvoer capaciteit. Bij een aanvoercapaciteit van 400.000 ton per jaar neemt het benodigde minimale poorttarief af naar circa 10,50 euro per ton.

Het concentreren van de dunne fractie (procesroute 1) met behulp van omgekeerde osmose leidt ondanks de hogere investering tot een lager benodigd poorttarief.

In het minimaal benodigde poorttarief is geen rekening gehouden met winstmarges.

**Tabel 10.** Overzicht kosten en opbrengsten procesroute 2: Omgekeerde osmose, bij de aanvoercapaciteiten 100.000, 200.000 en 400.000 ton varkensmest per jaar.

<b>Capaciteit</b>		<b>100.000</b>	<b>200.000</b>	<b>400.000</b>
		<b>ton/jaar</b>	<b>ton/jaar</b>	<b>ton/jaar</b>
<b>Totaal investering</b>	<b>MC</b>	<b>4,7</b>	<b>7,7</b>	<b>12,5</b>
<b>Kosten</b>				
Energie	€/ton	3,73	3,73	3,73
Hulpstoffen	€/ton	1,59	1,59	1,59
Personeel	€/ton	2,80	1,61	1,01
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/ton	4,23	3,47	2,81
Afschrijving en financiering	€/ton	5,77	4,72	3,83
<b>Totaal kosten</b>		<b>18,12</b>	<b>15,12</b>	<b>12,98</b>
<b>Opbrengsten af fabriek</b>				
Ammoniumsulfaat, 5%N	€/ton	0,02	0,02	0,02
Mineraal NK	€/ton	-0,36	-0,36	-0,36
Dikke fractie	€/ton	-2,95	-2,95	-2,95
SDE++ (fase 1)	€/ton	1,00	1,00	1,00
Levering stroom + groen certificaat	€/ton	1,00	1,00	1,00
Vermeden inkoop elektriciteit	€/ton	1,90	1,90	1,90
Vermeden inkoop warmte	€/ton	1,83	1,83	1,83
<b>Totaal opbrengsten af fabriek</b>	<b>€/ton</b>	<b>2,44</b>	<b>2,44</b>	<b>2,44</b>
<b>Opbrengsten minus kosten</b>	<b>€/ton</b>	<b>-15,68</b>	<b>-12,67</b>	<b>-10,53</b>
<b>(minimaal poorttarief)</b>				
Gevoeligheid	(+/-)			
Opbrengst eindproducten	10%	0,33	0,33	0,33
Biogasproductie	10%	0,57	0,57	0,57
Investeringskosten	10%	1,00	0,82	0,66

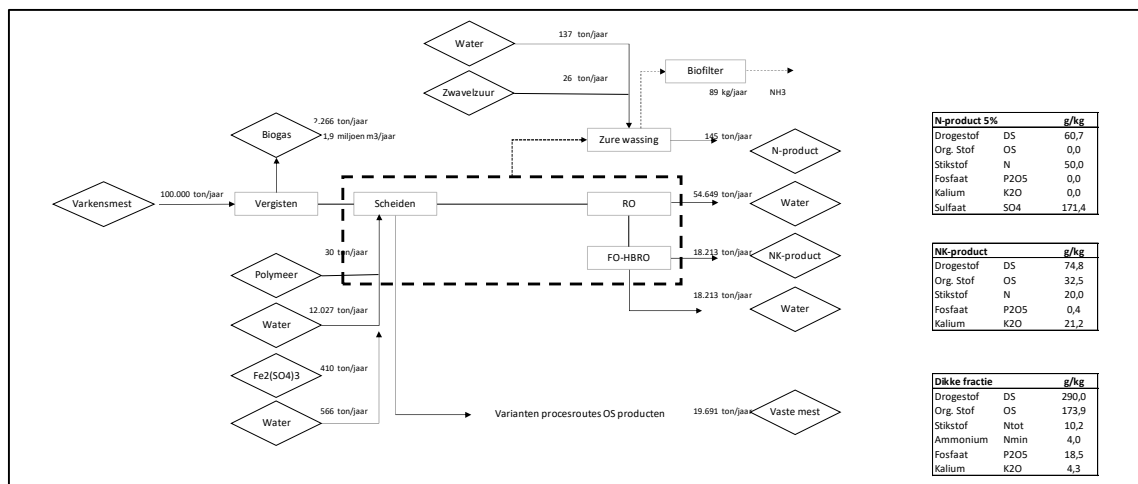
## 4.3 Procesroute 3 Omgekeerde osmose en forward osmose

### 4.3.1 Processchema en massabalans

Figuur 5 toont het processchema met de vrachten in- en uitgaande stromen en de samenstelling van de eindproducten van procesroute 3.

Bij een aanvoercapaciteit van 100.000 ton varkensmest per jaar ontstaat na vergisten, scheiden en ontwatering van de dunne mestfractie met behulp van omgekeerde osmose en forward osmose circa 18.000 ton concentraat, 20.000 ton vaste mestfractie en 73.000 ton water. De toename van het volume eindproducten is het gevolg van toevoeging van hulpstoffen. Ten opzicht van procesroute 2 kan met behulp van de aanvullende ontwatering van het omgekeerde osmose concentraat het volume concentraat worden gehalveerd. Het concentraat dat vrijkomt bij toepassing van het forward osmoseproces voldoet aan de Renure criteria  $TOC/N_{tot} \leq 3$  en  $N_m/N_{tot} \geq 90\%$ .

Bij het behandelen van de ventilatielucht van de proceshal ontstaat 145 ton ammoniumsulfaat. De berekende restemissie ammoniak na de luchtbehandeling bedraagt ordegrrootte 90 kg NH<sub>3</sub> per jaar.



**Figuur 5.** Processchema en massabalans procesroute 2: Omgekeerde osmose.

### 4.3.2 Investerings

De benodigde investering voor greenfield realisatie van een plant met het processchema van figuur 5 is geraamd op 5,3 miljoen euro voor een aanvoercapaciteit van 100.000 ton per jaar. Bij een aanvoercapaciteit van 200.000 en 400.000 ton per jaar bedragen de benodigde investeringen respectievelijk 9,1 en 14,7 miljoen euro. Zie tabel 11.

**Tabel 11.** Raming investering procesroute 3: Omgekeerde osmose en forward osmose, bij de aanvoercapaciteiten 100.000, 200.000 en 400.000 ton varkensmest per jaar.

<b>Capaciteit</b>	<b>100.000 ton/jaar</b>	<b>200.000 ton/jaar</b>	<b>400.000 ton/jaar</b>
Vergisten	€ 1.100.000	€ 1.800.000	€ 2.800.000
Scheiden	€ 600.000	€ 900.000	€ 1.500.000
Omgekeerde osmose	€ 1.000.000	€ 2.000.000	€ 3.600.000
Forward Osmose	€ 400.000	€ 800.000	€ 1.400.000
Luchtbehandeling	€ 300.000	€ 400.000	€ 500.000
<b>Totaal inside battery limits</b>	<b>€ 3.400.000</b>	<b>€ 5.900.000</b>	<b>€ 9.800.000</b>
Investeringen outside battery limits	€ 1.000.000	€ 1.800.000	€ 2.900.000
Design and engineering	€ 500.000	€ 600.000	€ 700.000
Contingency	€ 400.000	€ 800.000	€ 1.300.000
<b>Totaal Fixed Capital Cost</b>	<b>€ 5.300.000</b>	<b>€ 9.100.000</b>	<b>€ 14.700.000</b>

#### 4.3.3 Kosten en opbrengsten

Tabel 12 toont het overzicht van kosten en opbrengsten van procesroute 3. Op basis van de kosten en opbrengsten is het minimaal benodigde poorttarief berekend. Bij een schaalgrootte van 100.000 ton aanvoer per jaar bedraagt het minimaal benodigde poorttarief voor deze variant circa 15 euro per ton. Bij een aanvoercapaciteit van 400.000 ton per jaar neemt het benodigde minimale poorttarief af naar circa 10 euro per ton.

Het verder concentreren van het concentraat van het omgekeerde osmose proces (procesroute 2) met behulp van forward osmose leidt ondanks de hogere investering tot een verdere verlaging van het benodigde poorttarief. De verlaging is echter beperkt en bedraagt 0,5 euro per ton ten opzichte van procesroute 2.

In het minimaal benodigde poorttarief is geen rekening gehouden met winstmarges.



**Tabel 12.** Overzicht kosten en opbrengsten procesroute 2: Omgekeerde osmose en forward osmose, bij de aanvoercapaciteiten 100.000, 200.000 en 400.000 ton varkensmest per jaar.

<b>Capaciteit</b>		<b>100.000</b>	<b>200.000</b>	<b>400.000</b>
		<b>ton/jaar</b>	<b>ton/jaar</b>	<b>ton/jaar</b>
<b>Totaal investering</b>	<b>MC</b>	<b>5,3</b>	<b>9,1</b>	<b>14,7</b>
<b>Kosten</b>				
Energie	€/ton	4,25	4,25	4,25
Hulpstoffen	€/ton	1,59	1,59	1,59
Personeel	€/ton	2,80	1,61	1,01
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/ton	4,77	4,10	3,31
Afschrijving en financiering	€/ton	6,50	5,58	4,51
<b>Totaal kosten</b>		<b>19,92</b>	<b>17,13</b>	<b>14,67</b>
<b>Opbrengsten af fabriek</b>				
Ammoniumsulfaat, 5%N	€/ton	0,02	0,02	0,02
Mineraal NK	€/ton	1,82	1,82	1,82
Dikke fractie	€/ton	-2,95	-2,95	-2,95
SDE++ (fase 1)	€/ton	0,86	0,86	0,86
Levering stroom + groen certificaat	€/ton	0,86	0,86	0,86
Vermeden inkoop elektriciteit	€/ton	2,43	2,43	2,43
Vermeden inkoop warmte	€/ton	1,83	1,83	1,83
<b>Totaal opbrengsten af fabriek</b>	<b>€/ton</b>	<b>4,86</b>	<b>4,86</b>	<b>4,86</b>
<b>Opbrengsten minus kosten</b> (minimaal poorttarief)	<b>€/ton</b>	<b>-15,07</b>	<b>-12,27</b>	<b>-9,81</b>
Gevoeligheid	(+/-)			
Opbrengst eindproducten	10%	0,48	0,48	0,48
Biogasproductie	10%	0,60	0,60	0,60
Investeringskosten	10%	1,13	0,97	0,78

## 5. Discussie

Deze studie is uitgevoerd om het toepassingsperspectief van forward osmose in procesroutes voor het verwaarden van varkensmest te onderzoeken. De resultaten van de studie geven aan dat het concentreren van dunne fractie tot verlaging van de minimaal benodigde poorttarieven leidt. Dit biedt perspectief op verlaging van mestafzetkosten van varkensbedrijven.

Ten opzichte van reeds bestaande verwerkingsbedrijven die varkensmest scheiden en de dunne mest met behulp van omgekeerde osmose ontwateren kan door toepassing van forward osmose het volume concentraat worden gehalveerd. Daarmee neemt de marktwaarde van het concentraat toe en nemen de afzet gerelateerde kosten in absolute zin af. Op basis van de resultaten van deze studie neemt het benodigde poorttarief met 0,5 euro per ton slechts beperkt af ten opzichte van dezelfde procesroute zonder forward osmose.

Dit is een beperkt voordeel dat gemakkelijk wegvalt in de bandbreedten van gekozen uitgangspunten. De daadwerkelijke waardering van het geconcentreerde forward osmose concentraat in de markt is hierbij slechts één van de factoren die een rol speelt. De in deze studie berekende meerwaarde van het geconcentreerde eindproduct ten opzichte het omgekeerde osmose concentraat dient zich in de markt nog te bewijzen.

Naast de onzekerheid ten aanzien van de marktwaarde van het eindproduct van het forward osmose proces dient ook meer zekerheid te worden verkregen over de technische prestaties voor de specifieke toepassing van forward osmose die in deze studie is beschreven. Gedurende het Joint Industry Projects zijn slechts op beperkte schaal proeven uitgevoerd met mestvloeistoffen. De specifieke High Brine Reverse Osmosis configuratie van het forward osmose proces is niet getest. De inschatting van de prestaties van deze configuratie voor de hier beschreven situatie is gedaan op basis van ervaringen met andere ingangstromen. Bij afwijkende (tegenvallende) prestaties in de praktijk kan een voordeel van 0,5 euro per ton aanvoer gemakkelijk wegvallen.

## 6. Conclusies

- Het is mogelijk om via vergisting en efficiënte mechanische scheiding met behulp van zeefbandpers en flotatie een dunne mestfractie te produceren die voldoet aan de Renure meststof criteria  $TOC/N_{tot} \leq 3$  en  $Nm/N_{tot} \geq 90\%$ .
- Het benodigde poorttarief bedraagt 19 euro per ton bij een capaciteit van 100.000 ton aanvoer per jaar en 14 euro per ton bij een capaciteit van 400.000 ton per jaar.
- Het benodigde poorttarief kan met circa 3,5 euro per ton worden verlaagd wanneer de dunne fractie wordt geconcentreerd met behulp van omgekeerde osmose.
- Door verdere ontwatering met behulp van forward osmose kan het poorttarief met nog eens 0,5 euro per ton afnemen.
- Behoeft bestaat aan verificatie van de marktwaarde van het concentraat verkregen via toepassing van forward osmose en verificatie van de technische prestaties van de High Brine Reverse Osmosis configuratie van het forward osmosis proces in de toepassing voor ontwatering van dunne mest.
- Bij voldoende schaalgrootte bestaat perspectief op realisatie van poorttarieven die lager liggen dan mestafzetprijzen voor varkensmest in de afgelopen jaren.