

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 446

Haalbaarheidsstudie terugwinning van mestnutriënten

Fase 1: Processchema en nutriëntenstromen

Maart 2011



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2011

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

Wageningen UR 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 UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

A process scheme for a new manure treatment system for pig and cattle manure was formulated which aims to produce manure nutrient flows with added value.

The basic process behind the treatment system is fermentation of manure, which is preceded by both stripping ammonia and chemical digestion of the organic solids. The fermented manure is separated in a thin and a thick phase, which is further treated.

Keywords

Manure, slurry, manure treatment, manure processing

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

D.A.J. Starmans
R.W. Melse
J.P.M. Sanders

Titel

Haalbaarheidsstudie terugwinning van mestnutriënten
Rapport 446

Samenvatting

Een processchema is opgesteld voor een nieuw mestverwerkingsstelsel voor varkens- en rundveemest. Het stelsel heeft als doel om mest te verwaarden tot verschillende nutriëntenstromen. Het basisproces achter het verwerkingsstelsel is vergisting van mest, welke wordt voorafgegaan door het strippen van ammoniak en een chemische vertering van biomassa. Na de vergisting wordt het digestaat opgewerkt door scheiding in een dunne en dikke fractie, welke verder wordt behandeld.

Trefwoorden

Mest, drijfmest, mestverwerking, mestbewerking



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR



Rapport 446

Haalbaarheidsstudie terugwinning van mestnutriënten

Fase 1: Processchema en nutriëntenstromen

Feasibility study on nutrient recovery from animal manure

Phase 1: Process scheme and nutrient flows

D.A.J. Starmans

R.W. Melse

J.P.M. Sanders

Maart 2011

Samenvatting

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van het Productschap Vee en Vlees (PVV).

In dit rapport wordt de eerste fase van een haalbaarheidsstudie van een nieuw mestverwerkingsstelsel voor varkens- en rundveedrijfmest gerapporteerd. Het stelsel heeft als doel om mest te verwaarden tot verschillende nutriëntenstromen.

Het basisproces achter het verwerkingschema is vergisting van mest, welke wordt voorafgegaan door het strippen van ammoniak en een chemische vertering van biomassa. Na de vergisting wordt het digestaat opgewerkt door scheiding in een dunne en dikke fractie, welke verder wordt behandeld.

Uit de berekeningen blijkt dat de warmte uit de vergister / WKK installatie onvoldoende is om de tweede stap in het verwerkingschema, het ontsluitingsproces, te laten verlopen. Toepassing van een additionele warmtewisselaar voor de terugwinning van warmte na het ontsluitingsproces wordt afgeraden vanwege de slechte rheologische eigenschappen van mest.

Verder is niet duidelijk of de mest na ontsluiting geneutraliseerd moet worden. Wanneer dit nodig is zou een deel van de geplande afscheiding van fosfaat via de dikke fractie van het digestaat teniet worden gedaan, waardoor de toepasbaarheid van de dunne fractie van het digestaat als meststof mogelijk zal afnemen.

Geconcludeerd kan worden dat de uitgevoerde studie voldoende aanknopingspunten geeft om het onderzoek naar de haalbaarheid van onderliggend mestverwerkingsstelsel voort te zetten. In een volgende fase zou de technische haalbaarheid geëvalueerd kunnen worden, waarbij in het bijzonder aandacht wordt geschonken aan bovengenoemde twee aspecten.

Summary

This study has been financed by the Production Board for Livestock and Meat.

This report describes the outcome of the first phase of a feasibility study of a new manure treatment system for pig and cattle slurry. The system aims to produce manure nutrient flows with added value.

The basic process behind the treatment system is fermentation of manure, which is preceded by both stripping ammonia and chemical digestion of the organic solids. The fermented manure is separated in a thin and a thick phase, which is further treated.

Calculations show that the combined heat from the digester and cogeneration system is insufficient to allow both stripping and chemical digestion to take place prior to fermenting the manure. Application of an additional heat exchanger for heat recovery after the chemical digestion step is not recommended due to poor rheological properties of manure.

It is also not clear whether the manure after chemical digestion should be neutralized to pH 7. A part of the planned phosphate separation from the solid fraction of the digested manure could be nullified by doing so, leading to a decrease in applicability of the liquid fraction of the digested manure as a potential fertilizer.

It can be concluded that the study provides sufficient guidelines for research into the feasibility of underlying manure system to continue with phase two. In this subsequent stage, the technical feasibility can be evaluated, with particular attention to the above two aspects.

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Processchema	2
2.1	Reductie ammoniakemissie	2
2.2	Mestverwerking tot deelstromen met gescheiden nutriënten	2
2.3	Aanzuring vóór of na de vergisting	2
2.4	Warmteterugwinning na ontsluiting	4
2.5	Plan van aanpak	4
3	Opstellen massabalansen	5
3.1	Dekastripp systeem	5
3.2	Thermische ontsluiting en strippen ammoniak	5
3.3	Vergisting	7
3.4	Digestaatscheiding	7
3.5	Aanzuring dikke fractie digestaat	8
3.6	Scheider 2: Zeefbandpers	9
3.7	Struvietvorming	9
3.8	Nutriëntenbalans	10
4	Discussie	12
4.1	Warmtehuishouding	12
4.2	Chemicaliënhuishouding	12
4.3	Technische realiseerbaarheid	13
5	Conclusies en aanbevelingen	15
	Bijlagen	16
	Bijlage 1 Massabalans Dekastripp proces	16
	Bijlage 2 Massabalans thermische ontsluiting en strippen ammoniak	17
	Bijlage 3 Massabalans vergister	18
	Bijlage 4 Massabalans scheider 1: digestaat scheider	19
	Bijlage 5 Massabalans aanzuring dikke fractie digestaat	20
	Bijlage 6 Massabalans scheider 2: zeefbandpers	21

1 Inleiding

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van het Productschap Vee en Vlees (PVV).

De veehouderij in Nederland ziet zich geplaatst voor een dubbele uitdaging. Enerzijds zal de ammoniakemissie gereduceerd moeten worden, terwijl anderzijds de toepasbaarheid van mest vergroot zal moeten worden door middel van mestverwerking tot beter plaatsbare deelstromen met een geschikte nutriëntensamenstelling.

Het succes in de praktijk zal naast de kosten van het mestverwerkingsproces ook afhangen van de mate waarin de emissie van ammoniak wordt teruggedrongen, alsook de toepasbaarheid van de resulterende verdeling van nutriënten over de eindproducten.

Eén van de oorzaken van optredende problemen in de mestverwerking ontstaan doordat processen niet of nauwelijks op elkaar zijn afgestemd. Met name in achtereenvolgende processtappen kunnen procesparameters in de ene stap grote gevolgen hebben voor bijvoorbeeld de efficiency van een navolgende of daarop volgende stap.

Het doel van dit project is om te onderzoeken wat de haalbaarheid is van een nieuw systeem voor mestverwerking binnen de intensieve varkenshouderij en binnen de rundveehouderij. Dit nieuwe systeem is een voorbeeld van een geïntegreerde aanpak waarbij niet alleen overschotproblemen worden opgelost maar tegelijkertijd ook waarde wordt gecreëerd in de vorm van energie, fosfaat en ammoniumverbindingen. Door dit systeem stapsgewijs op te bouwen wordt geprobeerd om risico's en kosten zoveel mogelijk te beperken. Een stapsgewijze technologieontwikkeling en -toepassing verhoogt ook de flexibiliteit van de keuze waar de resterende mineralenstromen te plaatsen zijn. Het heeft tot doel om het perspectief en de haalbaarheid van het gekozen verwerkingsproces vast te stellen.

Bij het uitvoeren van een haalbaarheidsstudie dienen daarom de volgende aspecten te worden beschouwd:

- Energetische afstemming – klopt de energiebalans van het voorgestelde systeem?
- Massabalans afstemming – klopt de schaalgrootte van de deelprocessen?
- Fysisch/chemische afstemming – zijn de voorgestelde bewerkingen mogelijk?
- Economische afstemming – kloppen de kosten met de geleverde capaciteit?

Dit rapport bevat de uitwerking van fase 1 van deze haalbaarheidsstudie. De eerste fase bestaat uit een bureaustudie die zich richt op de vaststelling van het processchema en de karakteristieken (doorvoer en gehalten) van de verschillende stromen (massabalansen). Afhankelijk van de uitkomst van deze literatuurstudie kan besloten worden of het wenselijk is om het project voort te zetten.

Eventuele vervolgstappen zijn:

- Fase 2: Technische haalbaarheid evalueren
- Fase 3: Kostenevaluatie
- Fase 4: Evalueren in hoeverre reststromen/producten kunnen toegepast worden en welke waarde hieraan kan worden toegekend.

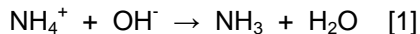
2 Processchema

Het processchema voor de mestverwerking dat in deze studie wordt geëvalueerd, is schematisch weergegeven in figuur 1. Het processchema is uitgewerkt voor de mest van vleesvarkens, maar in principe kan het ook worden toegepast voor de verwerking van runderdrijfmest.

Het schema is gebaseerd op een regulier mestvergistingssysteem, dat is uitgebreid met stappen om de efficiëntie van de mestvergisting te verhogen en tegelijkertijd ammoniak terug te winnen. Via een "ontsluitingsstap" wordt de hoeveelheid organische stof die beschikbaar is voor de biogasproductie drastisch verhoogd. Daarnaast wordt praktisch al het ammoniak uit de mest gestript en vervolgens vastgelegd als meststof (bv. als ammoniumnitraat of ammoniumsulfaat). Het modulaire systeem is stapsgewijs uitgebreid om nutriënten en bestanddelen verder uit elkaar te trekken.

2.1 Reductie ammoniakemissie

In de voorliggende studie wordt een systeem besproken waarin mest vergist wordt voor het opwekken van warmte. Deze warmte kan worden ingezet voor het strippen van ammoniak uit de mest. De berekeningen in deze studie zijn bedoeld om aan te tonen of er genoeg warmte opgewekt kan worden in de warmte/kracht gekoppelde aggregaat (WKK) die loopt op het bij de vergisting vrijkomende biogas.



Het strippen van ammoniak uit mest wordt via een combinatie van technieken gerealiseerd. Ammonium in de mest kan worden gedeprotoneerd tot ammoniak volgens vergelijking 1. Het gevormde ammoniakgas zal ontwijken. Bij verhoogde temperatuur zal deze verwijdering sneller verlopen omdat er bij hoge temperatuur minder ammoniakgas in de mestvloeistof opgelost kan zijn. Het ammoniakgas kan vervolgens door middel van een zure wasser worden ingevangen om als vloeibare stikstof meststof te worden ingezet.

2.2 Mestverwerking tot deelstromen met gescheiden nutriënten

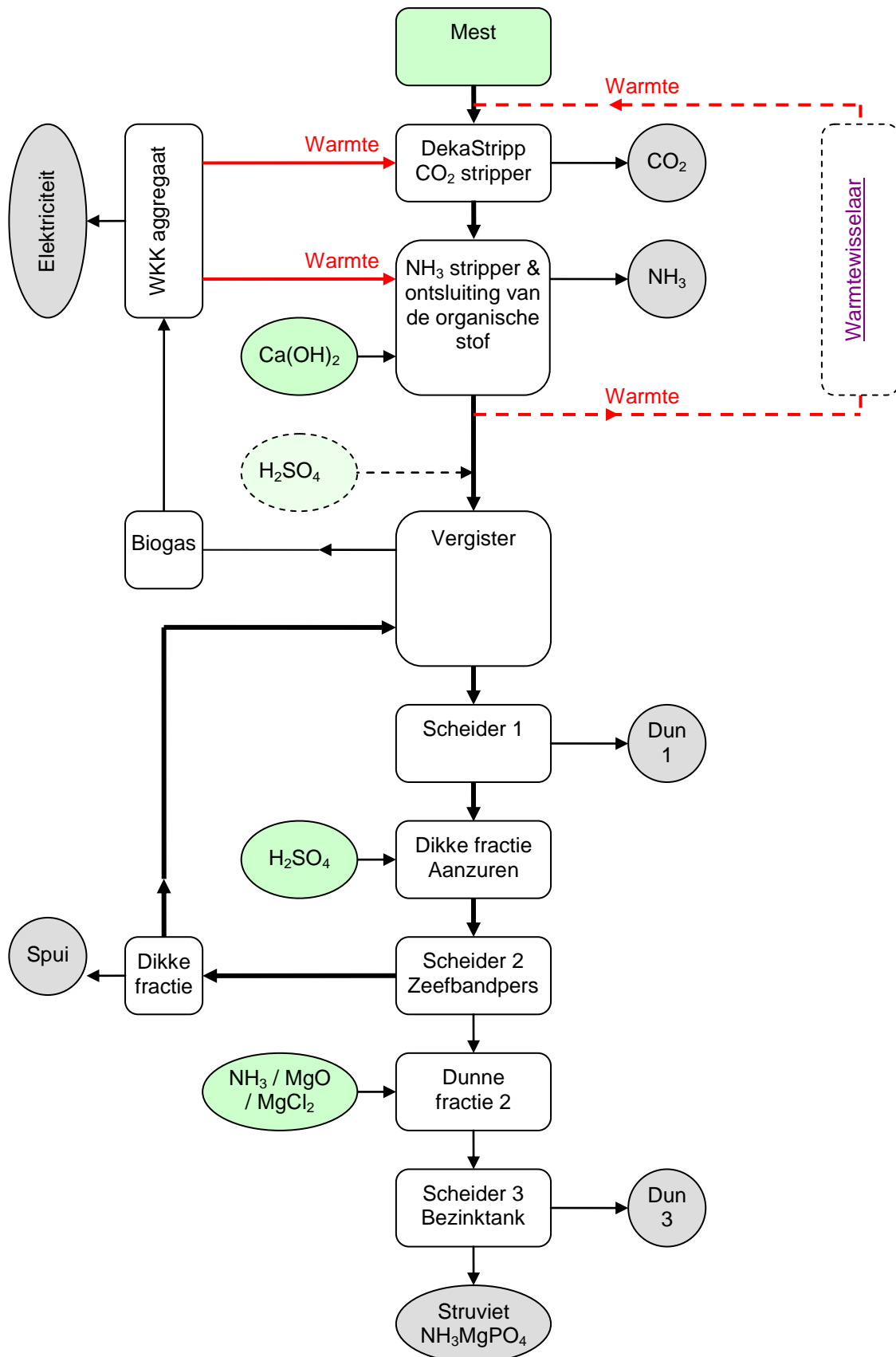
Het doel van het tot deelstromen scheiden van mest met gescheiden nutriënten is een betere plaatsbaarheid van de mest doordat er een gift op maat gerealiseerd kan worden. Op deze manier kan er worden ingesprongen op specifieke mestbehoeften op verschillende arealen.

Hoofdc componenten zijn stikstof, fosfaat en kalium. Met de in paragraaf 2.1 genoemde afscheiding van stikstof, dienen in de vervolgstappen van het verwerkingsproces de nutriënten fosfaat en kalium van elkaar gescheiden te worden in een logische stap. De scheiding van fosfaat en kalium kan in principe worden bewerkstelligd door middel van scheiding in een dikke, fosfaat rijke deelstroom en een dunne, kaliumrijke deelstroom van de vergiste mest.

2.3 Aanzuring vóór of na de vergisting

Zoals in figuur 1 is weergegeven kan aanzuring van het ontsloten materiaal zowel voor als na de vergister plaatsvinden. Aanzuring vóór de vergister dient met name te geschieden als de verzurende werking in de vergister onvoldoende is om de sterk basische instroom te neutraliseren. Immers, het pH interval waarbinnen een vergister goed kan worden bedreven ligt rond neutrale tot licht basische pH (pH waarden tussen 6.5 - 8).

In de verdere uitwerking van de massabalansen wordt aangenomen dat de hoeveelheid geproduceerd CO₂ in de vergister via de vorming van carbonaat (HCO₃⁻) voldoende bufferende capaciteit zal hebben om de binnenkomende stroom ontsloten mest (pH 11) te neutraliseren. Mocht dit in de praktijk niet haalbaar zijn, dan kan alsnog besloten worden om deze basische stroom (deels) vervroegd te neutraliseren door middel van de additie van zwavelzuur (H₂SO₄, gestippelde ovaal figuur 1). Zoals aangegeven kan neutralisatie ook plaatsvinden met de retourstroom aangezuurde dikke fractie.



Figuur 1 Processchema voor Mestverwerking zoals beschreven in het projectvoorstel. Aangegeven zijn ingaande stromen (groen) en uitgaande stromen (grijs). Zie § 2.3 voor een toelichting over de ingetekkende additie H₂SO₄ vóór de vergister (lichtgroen, gestippeld). Aangegeven is een warmtewisselaar voor eventuele terugwinning van warmte na de ontsluitingsstap (§ 2.4).

Bij afname van de biomassa in de vergister als gevolg van een ongunstige pH kan eventueel een deel van de mest rechtstreeks, zonder voorbehandeling, worden toegevoegd aan de vergister. Ontsluiting bij een pH lager dan 10 is geen alternatief

Tenslotte zal het waarschijnlijk noodzakelijke zijn om een kleine deelstroom van de ingaande mest rechtstreeks naar de vergister te leiden om het vergistingsproces te enten met bacteriën. Een pH verhoging van 11 zal namelijk tot gevolg hebben dat de in de mest aanwezige bacteriën voor een groot deel zullen worden afgedood.

2.4 Warmteterugwinning na ontsluiting

Het proces kan energetisch worden verbeterd door toevoeging van een warmtewisselaar voor de terugwinning van de warmte na de ontsluiting. Deze warmte kan worden ingezet voor het opwarmen van de ingaande meststroom. Mest is echter een moeilijke matrix om te verpompen door standaard warmtewisselaars, vanwege de vaste delen in de mest. Als zou worden uitgegaan van covergisting, dan is de belasting van vaste delen hoger en zullen er meer problemen optreden in de warmtewisselaar. Samengevat kan de terugwinning van de warmte na ontsluiting een kostbare aangelegenheid worden door de aanwezigheid van vaste delen in de mest.

2.5 Plan van aanpak

Om te komen tot een globale energiebalans van het systeem voor mestverwerking wordt in eerste instantie een massabalans van het systeem berekend. Hiermee kan de warmte-inhoud van de deelstromen worden geschat. Tevens geeft het een indicatie van de hoeveelheid biogas die in de vergister geproduceerd zal worden. Met verdere aannames over de omzetting van het biogas in warmte en kracht zijn dan de warmtestromen in figuur 1 uit te rekenen.

Tijdens het opstellen van de massabalans voor het deel van het systeem dat na de vergister is geplaatst, kunnen er ook uitspraken gedaan worden over de technische en fysisch-chemische mogelijkheden en onmogelijkheden van het systeem. Deze worden behandeld in de discussie.

3 Opstellen massabalansen

De massabalansen en bijbehorende tabellen met aangenomen waarden zijn opgesteld in het spreadsheet programma Excel. Deze gegevens zijn één-op-één overgenomen als tabel in deze rapportage, en gaan uit van de behandeling van 1 ton ingaande varkensmest. De gebruikte kleur-codering van de gegevens is als volgt:

95	Waarde die ingevuld mag worden en wordt gebruikt in berekeningen
165.9	Berekende waarde (veld met formule in het bijbehorende Excel werkblad)

Een rood kader rond de waarden geeft aan dat de waarde wordt gebruikt als input in of als output van een aanvullend Excel werkblad.

Achtereenvolgens zullen de verschillende stappen in het systeem voor mestverwerking nader worden uitgewerkt.

3.1 Dekastripp systeem

In het Dekastripp systeem wordt CO₂ uit de mest gestript door de mest te verwarmen. Het uitgangspunt voor de berekeningen was 1 ton varkensmest. De samenstelling hiervan werd gebruikt voor het berekenen van de hoeveelheid carbonaat die bij een gegeven efficiency uit de mest gehaald kon worden. De aannames die zijn gebruikt bij het doorrekenen van het systeem zijn weergegeven in tabel 1. In bijlage 1 is de massabalans over dit deelsysteem opgenomen.

Tabel 1 Aannames Dekastripp systeem

Dekastripp systeem		
Verwijdering CO ₂	80	%
Warmteverlies	20	%
Energie nodig	171	MJ
Verlies waterdamp	1	%
Ammoniakverlies	1	%
T _{in}	15	°C
T _{uit}	50	°C

Het systeem is zodanig opgezet dat het ook gebruikt kan worden als andere aannames worden gemaakt. De gele velden in tabel 1 zijn variabel, het grijze veld wordt berekend.

3.2 Thermische ontsluiting en strippen ammoniak

Het Dekastripp systeem maakt de volgende stap in het systeem voor mestverwerking mogelijk: de ontsluiting van de biomassa door toevoeging van Ca(OH)₂. Immers, als er nog een grote hoeveelheid carbonaat in de mest aanwezig zou zijn, dan zou deze toevoeging gepaard gaan met de vorming van veel onoplosbaar kalk (CaCO₃). Het Dekastripp proces zorgt ervoor dat de carbonaat voorafgaande aan deze stap uit de mest is gestript. De aannames die zijn gebruikt bij het doorrekenen van dit deel van het systeem zijn weergegeven in tabel 2. In bijlage 2 is de massabalans over dit deelsysteem opgenomen.

De samenstelling van de mest zoals deze uit het Dekastripp deelsysteem komt (tabel 3) werd gebruikt voor het berekenen van de hoeveelheid Ca(OH)₂ dat nodig is voor het bereiken van de gewenste (ingestelde) pH verhoging. Hiertoe werd met behulp van het Curtipot pH modellering systeem een titratiecurve berekend voor mest van de ingaande samenstelling (figuur 2). De pH van de ingaande en de uitgaande stromen zijn weergegeven in deze figuur met twee verticale, rode lijnen. De afstand tussen deze lijnen is gelijk aan de hoeveelheid Ca(OH)₂ welke moet worden toegevoegd om de pH van het eindproduct te bereiken.

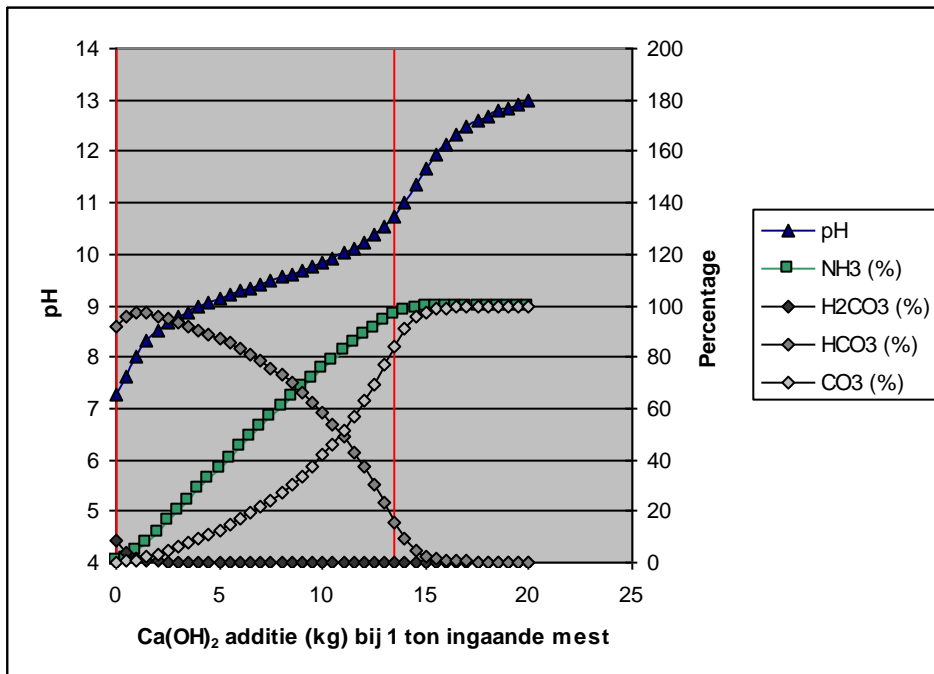
Het percentage vrij ammonium (NH₃% in figuur 2) geeft inzicht over de hoeveelheid ammoniak er in de mest aanwezig is. Het blijkt dat onder de gekozen eindcondities na het thermisch strippen (pH = 11) 96% van de ammoniak als NH₃ in oplossing zal zijn. Door de voorgestelde verwarming van het mestmengsel tot 90°C zal ertoe leiden dat dit deel ammoniak relatief eenvoudig kan worden verwijderd.

Tabel 2 Aannames thermische ontsluiting

Thermische ontsluiting		
Verwijdering CO ₂	80	%
Warmteverlies	20	%
Energie nodig	193	MJ
Waterdamp	2	%
pH ingaande stroom	7.3	-
pH uitgaande stroom	11	-
Ca(OH) ₂ gift	13.50	kg
Ammoniakverwijdering	96.1	%
T _{in}	50	°C
T _{uit}	90	°C

Tabel 3 Aannames berekening titratiecurve

Productsamenstelling in Mol/L		
Ammoniak	0.303	mol/l NH ₃
Carbonzuur	0.069	mol/l CO ₃
Fosforzuur	0.056	mol/l PO ₄
Hydroxide	variabel	
Ca ⁺⁺ initiëel	0.050	+ dosering
Cl ⁻	0.241	mol/l
K ⁺	0.141	mol/l
Volume	978.8	Liter



Figuur 2 Titratiecurve van het mestproduct uit het Dekastripp systeem met Ca(OH)₂ (blauwe driehoek linker-as) met aangegeven de relatieve hoeveelheid vrij ammoniak (groene vierkant, rechter-as) en de verdeling van de protonering van het aanwezige carbonaat (grijze bolletjes, rechter-as)

Voor behandeling van de mest in het Dekastripp proces is 161 MJoule energie nodig (exclusief verliezen). Er is 13.5 kg Ca(OH)₂ nodig om bij deze temperatuur de pH te kunnen verhogen tot waarde 11, de pH die nodig werd geacht voor de ontsluiting van het organische materiaal in de mest.

3.3 Vergisting

De opbrengst biogas werd berekend naar aanleiding van kengetallen voor de verschillende grondstoffen. Er werd aangenomen dat in minder dan 40 dagen tijd de ontsloten organische stof kon worden omgezet in biogas met een rendement van 95%. Dit is mogelijk, omdat naast de directe instroom, ook een retourstroom met restanten organische stof wordt teruggeleid naar de vergister (zie figuur 1). De aannames die zijn gebruikt bij het doorrekenen van de vergister zijn weergegeven in tabellen 3a, 3b en 3c. In bijlage 3 is de massabalans over dit deelsysteem opgenomen.

De mest na de ontsluitingsstap kan worden vergist tot maximaal 15 m³ biogas. Wordt deze gebruikt in een aggregaat (Warmte Kracht Koppeling), dan zal er 31.67 kWh elektrisch kunnen worden geleverd, en in totaal 162.9 MJoule thermische energie opgewekt kunnen worden. Dit is nét niet genoeg voor het Dekastripp proces in stap 1. Voor stap 2, de ontsluiting van de organische stof, blijft geen warmte uit de WKK meer over.

Tabel 3a Constanten

Biogas		
Dichtheid CH ₄	0.83	kg/m ³
Dichtheid CO ₂	1.98	kg/m ³
Dichtheid Biogas	1.35	kg/m ³
CH ₄ opbr./kg OS varkens	0.27	m ³
CH ₄ opbr./kg OS runderen	0.18	m ³
CH ₄ opbr./kg OS maïs	0.40	m ³
Gehalte CH ₄ in Biogas	55	%

Tabel 3b Aannames Vergister

Vergister		
Verblijftijd	< 40	dagen
Rendement CH ₄ omzetting	95	%
CH ₄	8.3	m ³
CO ₂	6.79	m ³
Biogas	15.08	m ³
	20.35	kg
T _{uit}	40	°C

Tabel 3c Aannames WKK

WKK motor		
Conversie Aggregaat (max)	2.10	kWh e / m ³ biogas
Thermische productie (max)	10.80	MJ / m ³ biogas
Aantal productiedagen/jr	340	dagen
Productietijd per jaar	7480	uur online
E _{thermisch}	162.9	MJ
E _{elektrisch}	31.67	kWe

3.4 Digestaatscheiding

De digestaatstroom uit de vergister bevat nog dezelfde hoeveelheid fosfaat als de ingaande meststroom. Door de toevoeging van calciumhydroxide in de ontsluitende stap is het ontstaan van een calciumfosfaat neerslag zeer waarschijnlijk, omdat de oplosbaarheid van Ca₃(PO₄)₂ in waterig milieu minder is dan 0.01 mol/liter. Ook het resterende carbonaat zal met de toegevoegde calcium neerslaan tot CaCO₃.

De hoeveelheid calcium die vastgelegd kan worden in de twee neerslagen is uit te rekenen met de gegevens over de samenstelling van het digestaat. In de massabalans wordt de totaal vastgelegde hoeveelheid uitgerekend en weergegeven in kg calcium. Deze hoeveelheid wordt vergeleken met de hoeveelheid calcium die daadwerkelijk beschikbaar is.

Uit de massabalans over de digestaatscheider, weergegeven in bijlage 4, blijkt dat er ruim voldoende calcium in het digestaat aanwezig is om zowel het carbonaat als het fosfaat te doen neerslaan. Deze stoffen komen daardoor terecht in de dikke fractie. De resterende hoeveelheid calcium zal zich met gelijke concentratie verdelen over de waterfase in de dikke en dunne fractie. Hierdoor is de hoeveelheid calcium in de dikke fase iets meer dan de in de neerslagen belegde hoeveelheid zoals is aangegeven in tabel 4.

Tabel 4 Aannames scheiding digestaat

Digestaatscheiding	dun	dik
Scheidingsrendement (%)	92	8
DS dikke fractie	30	%
OS in DS dikke fractie	50	%
T _{uit}	40	°C
Vastlegging Ca in Ca ₂ (PO ₄) ₃	3.294	kg Ca
Vastlegging Ca in CaCO ₃	0.544	kg Ca
Voldoende Ca beschikbaar?	Ja	

3.5 Aanzuring dikke fractie digestaat

De doelstelling van de aanzuring is het in oplossing brengen van het gevormde calciumfosfaat, zodat dit in de vloeibare fase komt voor verdere opwerking tot struviet.

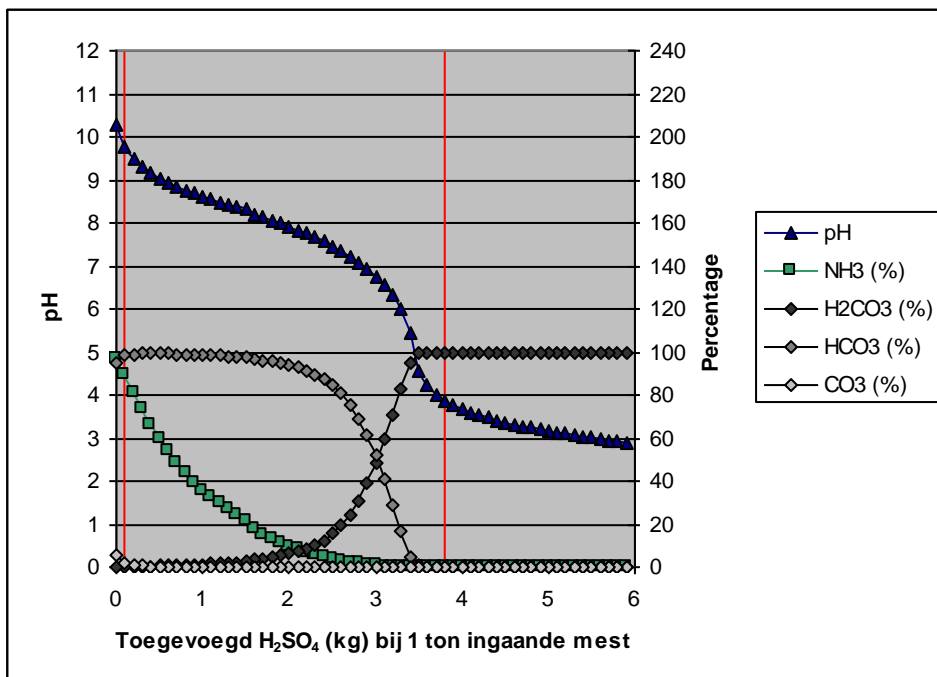
De samenstelling van het digestaat werd gebruikt voor het berekenen van de hoeveelheid H₂SO₄ welke nodig is voor het bereiken van de gewenste (ingestelde) pH verlaging (tabel 5a en 5b). Hiertoe werd met behulp van het Curtipot pH modellering systeem een titratiecurve berekend voor mest van de ingaande samenstelling (figuur 2). De pH van de ingaande en de uitgaande stromen zijn weergegeven in deze figuur met twee verticale, rode lijnen. De afstand tussen deze lijnen is gelijk aan de hoeveelheid H₂SO₄ die moet worden toegevoegd om de pH van het eindproduct te bereiken.

Tabel 5a Aannames aanzuring

Aanzuring		
pH dik in	10	
pH dik uit	4	
H ₂ SO ₄ toegevoegd	3.7	kg
Opgelost PO ₄	90	%
Waterdeel in H ₂ SO ₄	4	%

Tabel 5b Aannames berekening titratiecurve

Productsamenstelling in Mol/L		
Ammonia	0.009	mol/l
Carbonzuur	0.181	mol/l
Fosforzuur	0.729	mol/l
H ₂ SO ₄	variabel	mol/l
Ca ⁺⁺	1.380	mol/l
Cl ⁻	1.178	mol/l
K	0.108	mol/l
Volume	75.29	Liter



Figuur 3 Titratiecurve van het mestproduct uit de vergister met H₂SO₄ (blauwe driehoek linker-as) met aangegeven de deprotoneringsgraad van ammoniak (groene vierkant, rechter-as) en de verdeling van de protonering van het aanwezige carbonaat (grijze bolletjes, rechter-as)

De scheiding van digestaat levert 75.3 liter dikke fractie, welke met 2.85 kg 96%-ige H_2SO_4 kan worden geneutraliseerd tot pH 7. De doelstelling van de aanzuring is echter niet de neutralisatie van de deelstroom, maar het oplossen van het gevormde calciumfosfaat, zodat dit in de vloeibare fase komt voor verdere opwerking tot struviet. Calciumfosfaat afzettingen zijn berucht voor hun stabiliteit.¹ Verlaging van de pH kan in sommige gevallen uitkomst bieden. Voor een pH verlaging naar pH 4 zal er in totaal zo'n 3.7 kg H_2SO_4 moet worden toegevoegd aan de dikke fractie tot een totaal volume van 79 liter. Voor een verlaging naar pH 3 zal in totaal 5.25 kg H_2SO_4 moet worden toegevoegd.

De mengbaarheid van de dikke fractie zal niet erg toenemen met het toevoegen van deze relatief kleine hoeveelheden zuur. Dit houdt in dat er waarschijnlijk een zware menger gebruikt zal moeten worden om het zuur goed te kunnen mengen met de dikke fase. Door een deel van dunne fractie 2 (figuur 1) terug te leiden naar scheider 2 kan de mengbaarheid verhoogd worden. Het gevolg is wel dat scheider 2 navenant groter zal moeten worden uitgevoerd.

3.6 Scheider 2: Zeefbandpers

Uitgaande van de herverdeling van de inhoudsstoffen als gevolg van de aanzuring van de dikke fractie (paragraaf 3.5), kan de massabalans opgesteld worden over scheider 2. De aannames voor deze scheiding zijn weergegeven in tabel 6. De massabalans is opgenomen in bijlage 6 van dit rapport.

Tabel 6 Aannames scheiding 2

Zeefbandpers		
DS - ingaand	33.21	%
DS - uitgaand	40	%
Theoretisch mogelijk?	Ja	
Scheidingsrendment (%)	70	% DS in dik
Dikke fractie		
Minimale OS/as ratio	0.227	
OS/as ratio in DS	1.5	-
Maximale OS/as ratio	1.589	
T_{uit}	40	°C

Omdat struvietvorming in het volgende procesonderdeel een processtap is welke alleen uitgevoerd kan worden met relatief verdunde oplossingen ionogeen fosfaat in verband met controle van de kristalgroei, wordt de dikke fractie verder behandeld om fosfaat terug te winnen. Condities voor een succesvolle afbraak van reeds gevormde calciumfosfaat afzettingen zal in de praktijk nog moeten worden gevonden.

3.7 Struvietvorming

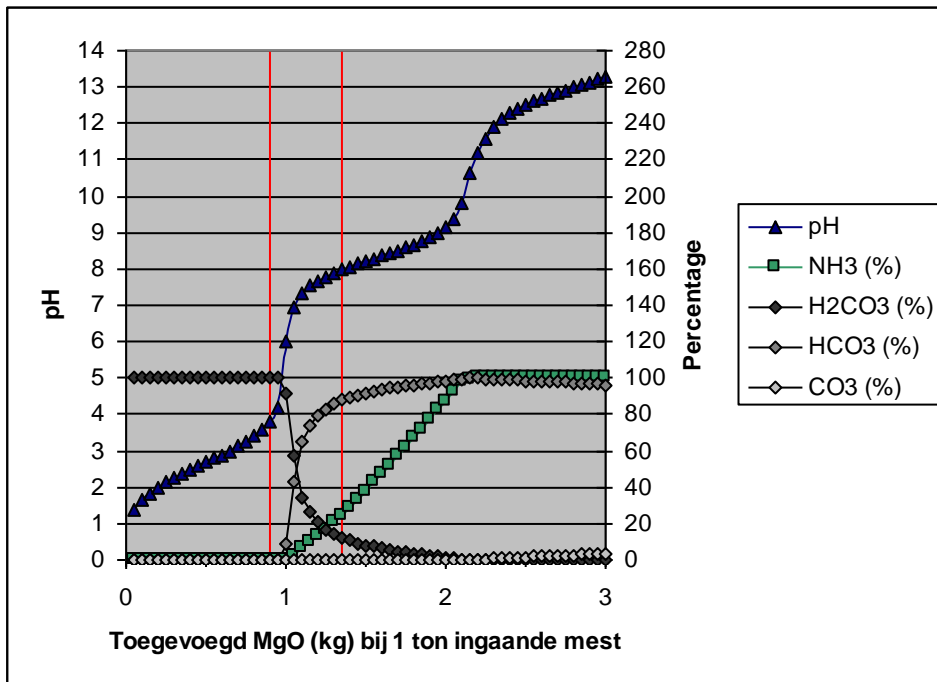
Door additie MgO aan dunne fractie uit de zeefbandpers wordt de pH in het juiste bereik gebracht voor de vorming van struviet. Toevoeging van MgO doet de pH stijgen van de initiële waarde van 4 tot boven de 8. In figuur 4 zijn deze waarden weergegeven in de titratiecurve door middel van de rode lijnen. Voor deze gewenste pH verandering is minimaal 0.45 kg MgO nodig (berekend voor de 33 kg dunne fractie wordt verkregen uit de zeefbandpers).

Wat opvalt in massabalans 6 is de lage concentratie ammoniak ten opzichte van de concentratie toegevoegd magnesiumoxide (op molbasis ruim 34 keer zoveel). De hoeveelheid fosfaat (mits goed opgelost in de voorgaande processtap) is ruim voldoende voor de toegevoegde hoeveelheid magnesium. Uitgaande van de hoeveelheid fosfor die in de dunne fractie aanwezig is, kan de totale opbrengst struviet (hexahydraat-vorm) worden berekend: 12.2 kg. Hiervoor is een toevoeging van in totaal 0.84 kg NH_3 en 2 kg MgO nodig.

¹ L. Garverick, "Corrosion in the petrochemical industry", 1994, ASM International, 501 p.

Uit het voorgaande blijkt dat de concentraties fosfaat en ammoniak ongunstig zijn ten opzichte van de toe te voegen hoeveelheid MgO die nodig is voor het verhogen van de pH. De optimale reactie verhoudingen kunnen alleen worden bereikt door toevoegingen van stikstof en additioneel magnesium (bijvoorbeeld magnesiumchloride). Een deel van de benodigde hoeveelheid stikstof kan vervangen worden door de hoeveelheid kalium in de dunne fractie. Er wordt dan kaliumstruviet, KMgPO_4 gevormd.

Uit figuur 4 blijkt dat bij pH 8 nog maar een kwart van de beschikbare (lage) hoeveelheid ammoniak geprotoneerd is. Het is deze hoeveelheid die in eerste instantie omgezet zal kunnen worden in struviet. Verdere aanloging leidt tot een betere protonering van de hoeveelheid ammoniak. Echter, boven pH 9 heeft geen verdere aanloging geen invloed meer op de concentratie geprotoneerd ammoniak, omdat boven pH 9 alle aanwezige ammoniak is geprotoneerd. Voor de aanloging tot pH 9 is in totaal 1 kg MgO nodig (aanloging van pH 4 tot pH 9).



Figuur 4 Titratiecurve van de dunne fractie uit de zeefbandpers met MgO (blauwe driehoek linker-as) met aangegeven de deprotoneringsgraad van ammoniak (groene vierkant, rechter-as) en de verdeling van de protonering van het aanwezige carbonaat (grijze bolletjes, rechter-as)

3.8 Nutriëntenbalans

Op basis van de voorgaande paragrafen kan tenslotte een balans worden opgesteld voor de belangrijkste nutriënten en voor de massa. In tabel 7 is deze balans weergegeven (zie figuur 1 voor de benaming van de verschillende productstromen).

Tabel 7 Nutriëntenbalans van het totale mestverwerkingsysteem

	Massa (kg)	N (kg)	P (kg)	K (kg)
<i>In:</i>				
Mest In	1000	7.2	1.7	5.4
<i>Uit:</i>				
CO ₂	12 (+ 9 kg H ₂ O)			
NH ₃	4 (+18 kg H ₂ O)	4		
Dun 1	899	2.4	0	5.2
Dun 3	35	0.2	0	0.2
Spui	5	0.6	0.02	0.02
Struviet	13.4		1.7	

Bij het opstellen van de balans is gebruik gemaakt van de volgende aannamen:

- Spuistroom = 1/10 van de recirculatiestroom die wordt teruggevoerd naar de vergister (deze waarde is sterk gerelateerd aan de conversie in de vergister)
- Opbrengst biogas in de vergister is 0.27 m^3 per kg organische stof.
- Biogas heeft een gehalte van 55% CH_4 .
- Door de mineralisatie in de vergister komt het merendeel van de (in eerste instantie organisch gebonden) stikstof terecht in Dun 1 (scheidingsrendement digestaat van 92% gebruikt).
- Omzetting en vrijmaken van de organisch gebonden P door verzuring is 100%.
- Het uitgaande drogestof gehalte van de zeefbandpers is 40%, en 70% van de organische stof komt in de dikke fractie terecht.

Uit tabel 7 volgt dat het merendeel van de stikstof (56% van totaal) uiteindelijk terecht komt in de NH_3 gasstroom. Daarnaast bevat de dunne fractie uit scheiding 1 nog een aanzienlijke hoeveelheid stikstof (33% van totaal) en ook het merendeel van de kalium (96% van totaal). Het overgrote deel van de fosfor (99%) wordt vastgelegd als struviet.

4 Discussie

4.1 Warmtehuishouding

Het processchema zoals gepresenteerd in het plan van aanpak (figuur 1) gaat uit van het feit dat de warmte uit de vergister / WKK installatie aangewend kan worden ten bate van het proces. Uit de warmtebalans van het systeem blijkt echter dat de warmtevraag het aanbod overstijgt. Er is voldoende warmte voor het Dekastripp proces, waarmee kooldioxide uit de meststroom wordt gehaald. Er blijft echter geen WKK warmte over voor verder gebruik.

Dit heeft als consequentie dat er een andere warmtebron gebruikt dient te worden voor de ontsluiting van de organische stof. Een voorbeeld van een dergelijke warmtebron kan niet gevonden worden in terugwinning van de warmte aanwezig in de mest die het Dekastripp systeem verlaat, omdat het juist deze stroom is, die verder verwarmd/behandeld moet worden.

Als warmtebron voor de verdere ontsluiting kan aardgas of een andere biobrandstof worden gebruikt. Voor de uitgangshoeveelheid van 1 ton mest die in de massabalansen wordt opgewerkt, is ongeveer 200 MJ tekort aan warmte. Deze kan geleverd worden door verbranding van een additionele hoeveelheid aardgas van 6.65 m³. In deze hoeveelheden komt dit neer op meer dan één euro extra kosten per ton verwerkte mest.

4.2 Chemicaliënhuishouding

Het processchema gaat uit van drie stappen waar chemicaliën worden toegevoegd aan de te verwerken hoofdstroom (hoeveelheden gebaseerd op de verwerking van 1 ton mest). Gebruikt worden chemicaliën die in bulkvorm normaal beschikbaar zijn.

Ca(OH)₂

Het toegevoegde calciumhydroxide (8.5 kg) zorgt voor een stijging van de pH. De basische condities zijn nodig voor het ontsluiten van de organische stof in de meststroom. Het is onbekend of een dergelijke stroom zonder verdere vorm van neutralisatie aan een vergister toegevoegd kan worden, zonder de karakteristieke bacteriewerking in de vergister negatief te beïnvloeden. Als gevolg van de hoeveelheid calcium zullen diverse calciumneerslagen ontstaan Ca₃(PO₄)₂ en een restant CaCO₃.

H₂SO₄

Het toegevoegde zwavelzuur (3.65 kg) zorgt voor een verlaging van de pH van de dikke fractie die uit het digestaat wordt afgescheiden, teneinde de oplosbaarheid van gevormde calciumfosfaat afzettingen te verhogen en het fosfaat te kunnen vrijmaken.

MgO / NH₃

Het toegevoegde magnesiumoxide (0.45 tot 1 kg, afhankelijk van de gekozen eind-pH) zorgt voor een verhoging van de pH en een verslechtering van de oplosbaarheid van tal van zouten, waaronder struviet. Echter, de hoeveelheid fosfaat, ammoniak en magnesiumoxide nodig voor deze aanloging zijn niet in de correcte mol-verhouding van 1:1:1 aanwezig. Hierdoor is het nodig om additioneel magnesium toe te voegen aan het mengsel, en kan het aanwezige kalium het tekort aan ammonium opvangen voor een optimale struvietvorming (een mengsel van zowel KMgPO₄ als NH₃MgPO₄).

Algemeen

De eerste twee chemicaliënaddities zorgen netto voor een verhoging van zowel het calcium- als het sulfaatgehalte, een matig oplosbaar zout in water (oplosbaarheid minder dan 0.1 mol/l, terwijl de concentratie calcium in het digestaat 0.25 mol/l bedraagt). Neerslagvorming van CaSO₄ is dan ook te verwachten.

Telkens als de pH verhoogd/verlaagd moet worden, gaat een deel van de chemicaliën verloren door de aanwezigheid van (restanten van) bufferende stoffen zoals carbonaat. De mate waarin dit optreedt zal afhankelijk zijn van de overall efficiëntie van het Dekastripp proces.

Als gevolg van alle chemicaliën die worden toegevoegd, zal het zoutgehalte (as) van de mest ongeveer verdubbelen.

4.3 Technische realiseerbaarheid

In de modelmatige uitwerking van het processchema zoals gepresenteerd in hoofdstuk 2 is een aantal aannamen gedaan met betrekking tot de technische realiseerbaarheid, welke van invloed zijn op de overall performance van het gehele processchema. Een aantal cruciale aannamen wordt achtereenvolgens bediscussieerd.

Aanname: Vergister heeft geen last van basische instroom

Literatuur² geeft aan dat vergisting van organische massa plaatsvindt in vier fasen met verschillende bacteriestammen die elkaar in hun werking opvolgen:

- De eerste afbraakfase is hydrolyse, waarbij langketenige stoffen, koolhydraten, eiwitten en vetten worden in deze fase afgebroken tot kortere fracties zoals enkelvoudige suikers, glycerine, vetzuren en aminozuren.
- De tweede fase is verzuring (acidogenese), waarbij geproduceerde tussenproducten door fermentatieve microorganismen omgezet in kortketenige vetzuren, zoals azijnzuur, propionzuur of boterzuur. Bovendien worden melkzuren, alcoholen, waterstof en kooldioxide gevormd.
- De derde fase is azijnzuurvorming (acetogenese) wordt de eerdere verzuring gecombineerd met methaanvorming. Uitgangssubstraten zijn enkele eindproducten van de verzuringsfase, d.w.z. kortketenige vetzuren, zoals propionzuur, polymere substraten (koolhydraten, vetten, eiwitten) en boterzuur. Samen met melkzuren, alcoholen en glycerine worden deze stoffen door de acetogene micro-organismen omgezet in azijnzuur, waterstof en CO₂.
- De laatste fase is de methaanvorming. De methaanbacteriën produceren biogas dat voor 70 % uit methaan bestaat.

Alle beschreven processen vinden in een biogasinstallatie vrijwel gelijktijdig plaats, waarbij er een kwetsbaar evenwicht (afhankelijk van pH en temperatuur) bestaat tussen deze processen. Als gevolg van een continue basische instroom kan de totale pH van de vergister oplopen, waardoor de efficiëntie van de omzettingen door het bacterieleven achteruit kunnen gaan. Om dit te voorkomen, is het mogelijk dat de ontsloten ingaande meststroom eerst nog moet worden aangezuurd met bijvoorbeeld zwavelzuur. Vooralsnog is er in de berekeningen binnen deze studie echter vanuit gegaan dat dit niet noodzakelijk is.

Aanname: Aanzuring zorgt voor snel oplossen calciumzouten

Neerslagen vormen zich op andere deeltjes en op (ruwe) oppervlakken, in bochten en spleten. Mechanismen voor het oplossen van calciumzouten in pijpleidingen zijn beschreven door Littlejohn en Grant.³ Zij vonden dat bij turbulente flow in buizen, afhankelijk van een voldoende lage pH (pH 2.85), neerslagen kunnen worden afgebroken binnen een tijdsperiode van een half uur tot een uur. Onder gelijkblijvende condities, maar bij een te hoge pH (pH=5) zijn de neerslagen na één uur voor nog minder dan 20% afgebroken. In de modellering zoals uitgevoerd voor deze rapportage is geen rekening gehouden met de tijd die nodig is voor de afbraak van de calciumneerslagen.

Aanname: Scheider 2 is in staat om uit een behandelde dikke fractie een dunne fractie te halen

De instroom van scheider 2 is een mengsel van de dikke fractie uit scheider 1 en het gebruikte zwavelzuur voor aanzuring van deze fractie. Een goede menging van deze stroom is cruciaal voor het eerder aangegeven oplossen van calciumzouten. Additioneel is het percentage vaste stof in deze stroom ook van invloed op de verdere ontwatering in scheider 2. Met de keuze van een zeefbandpers als tweede scheider wordt een dergelijke ontwatering als "mogelijk" ingeschat. Eventueel kan een deel van de dunne fractie 1 worden gebruikt voor een verbeterd (hydrodynamisch) menggedrag. Een deel van het scheidingsrendement van scheider 1 wordt daarbij opgeofferd, terwijl scheider 2 een grotere verwerkingscapaciteit zal moeten hebben.

² S. Op 't Eynde, "Vergisting van energiegewassen: Biogaspotentieel en afzet restproduct", Rapport Hogeschool West-Vlaanderen, 2007

³ F. Littlejohn, C.S. Grant, "Mechanisms for the removal of calcium phosphate deposits in turbulent flow", Industrial & Engineering Chemistry Research 39, 2000, p. 933-942

Algemeen

Verdere integratie van processtromen is wellicht mogelijk, met name als er gekeken wordt naar de warmtehuishouding. Vergaande integratie van processtromen maakt ook de beheersbaarheid van het totale proces minder eenvoudig. Hierdoor wordt het proces minder makkelijk inzetbaar op boerderijniveau.

5 Conclusies en aanbevelingen

Onderliggende bureaustudie richt zich richtte op de vaststelling van het processchema en de karakteristieken (doorvoer en gehalten) van de verschillende stromen (massabalansen) van het voorgestelde mestverwerkingsysteem, als eerste fase van een haalbaarheidsstudie.

Uit de uitgevoerde analyse en op basis van verdere literatuur kan geconcludeerd worden dat er nog een aantal onduidelijkheden bestaat met betrekking tot het processchema van het mestverwerkingsysteem. De belangrijkste hiervan betreffen:

1) Warmtevraag en warmteopbrengst

In de studie is aangenomen dat alleen mest wordt vergist. De warmte uit de vergister / WKK installatie is echter onvoldoende voor de beschreven voorbehandelingen. Door gebruik te maken van organische coproducten of anderszins koolstofrijke reststromen zou meer biogas gewonnen kunnen worden, waardoor de gevraagde warmte-input misschien wél gehaald zou kunnen worden; dit dient echter nader onderzocht te worden.

2) Vergisting bij hoge pH

In het processchema is aangegeven dat mest met een pH van 11 naar de vergister wordt geleid terwijl vergisting alleen mogelijk is bij een pH van 6 tot 8. Er wordt aangenomen dat er voldoende buffercapaciteit (CO₂) wordt geproduceerd tijdens de vergisting om de pH tot dit niveau te laten dalen, maar dit is een aspect wat nader onderzoek behoeft.

Wanneer het noodzakelijk mocht blijken dat het materiaal dat de vergister wordt ingepompt toch eerst (deels) geneutraliseerd moet worden, zou dit als bijkomend voordeel hebben dat vorming van afzettingen van calciumzouten in de vergister vermeden kan worden. Het zou wel inhouden dat de dunne fractie gewonnen uit het digestaat meer fosfaat bevat dan in eerste instantie bedoeld was.

Geconcludeerd kan worden dat de uitgevoerde studie voldoende aanknopingspunten geeft om het onderzoek naar de haalbaarheid van onderliggend mestverwerkingsysteem voort te zetten. In een volgende fase zou de technische haalbaarheid geëvalueerd kunnen worden, waarbij in het bijzonder aandacht wordt geschonken aan bovengenoemde twee aspecten.

Bijlagen

Bijlage 1 Massabalans Dekastripp proces

Thermische CO ₂ stripper (Dekastripp)															
	M _{totaal}	water	DS	OS	as	N _{min}	N _{org}	N _{tot}	P	K	Ca	CO ₃ als CO ₂	SO ₄ ⁻	T	Q*
In	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(°C)	(MJ)
VDM	1.000	0.922	0.078	0.0507	0.0273	4.2	3.0	7.2	1.7	5.4	2.0	15.0	0.0	15	63
Warmte															142
Uit															
VDM	0.979	0.913	0.066	0.039	0.027	4.2	3.0	7.2	1.7	5.4	2.0	3.0	0.0	50	205
CO ₂	0.012		0.012	0.012				0.0				12.0		50	0
H ₂ O	0.009	0.009	0.000					0.0						50	
NH ₃	0.000		0.000		0.000	0.0		0.0						50	0

Bijlage 2 Massabalans thermische ontsluiting en strippen ammoniak

Thermische Ontsluiting															
	M_{totaal}	water	DS	OS	as	N_{min}	N_{org}	N_{tot}	P	K	Ca	CO₃ als CO₂	SO₄⁻	T	Q*
In	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(°C)	(MJ)
VDM	0.979	0.913	0.066	0.039	0.027	4.2	3.0	7.2	1.7	5.4	2.0	3.0		50	205
Warmte															161
Ca(OH) ₂	0.007		0.007		0.007						7.3				
Uit															
VDM	0.961	0.895	0.067	0.032	0.035	0.2	3.0	3.2	1.7	5.4	9.2	0.6		90	362
CO ₂	0.002		0.002	0.002								2.4		90	0
H ₂ O	0.018	0.018	0.000											90	3
NH ₃	0.004		0.004	0.004		4.0		4.0						90	0

Bijlage 3 Massabalans vergister

Vergister															
	M_{totaal}	water	DS	OS	as	N_{min}	N_{org}	N_{tot}	P	K	Ca	CO₃ als CO₂	SO₄⁻	T	Q⁺
In	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(°C)	(MJ)
VDM	0.961	0.895	0.067	0.032	0.035	0.16	3.0	3.2	1.7	5.4	9.2	0.6		90	362
Uit															
Digestaa	0.941	0.895	0.047	0.012	0.035	0.16	3.0	3.2	1.7	5.4	9.2	0.6		40	157
Biogas	0.020		0.020	0.020	0										

Bijlage 4 Massabalans scheider 1: digestaat scheider

Scheider digestaat															
	M_{totaal}	water	DS	OS	as	N_{min}	N_{org}	N_{tot}	P	K	Ca	CO₃ als CO₂	SO₄⁻	T	Q*
In	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(°C)	(MJ)
Digestaa	0.941	0.895	0.047	0.012	0.035	0.16	3.0	3.2	1.7	5.4	9.2	0.6		40	157
Uit															
Dun	0.866	0.842	0.024	0.001	0.023	0.15	0.2	0.3	0.0	5.1	5.1	0.0		40	145
Dik	0.075	0.053	0.023	0.011	0.011	0.01	2.8	2.8	1.7	0.3	4.2	0.6		40	13

Bijlage 5 Massabalans aanzuring dikke fractie digestaat

Aanzuring															
	M_{totaal}	water	DS	OS	as	N_{min}	N_{org}	N_{tot}	P	K	Ca	CO₃ als CO₂	SO₄⁻	T	Q*
In	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(°C)	(MJ)
Dik	0.075	0.053	0.023	0.011	0.011	0.01	2.8	2.8	1.7	0.3	4.2	0.6		40	13
H ₂ SO ₄	0.004	0.000	0.004		0.0037								3.7		
Uit															
Mengsel	0.079	0.053	0.026	0.011	0.015	0.01	2.8	2.8	1.7	0.3	4.2	0.6	3.7	40	13

Bijlage 6 Massabalans scheider 2: zeefbandpers

Zeeffbandpers															
	M_{totaal}	water	DS	OS	as	N_{min}	N_{org}	N_{tot}	P	K	Ca	CO₃ als CO₂	SO₄⁻	T	Q*
In	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(°C)	(MJ)
Mengsel	0.079	0.053	0.026	0.011	0.015	0.01	2.8	2.8	1.7	0.3	4.2	0.6	3.7	40	13
Uit															
Dik	0.046	0.028	0.018	0.011	0.007	0.00	2.8	2.8	0.2	0.2	2.2	0.3	1.9	40	7
Dun	0.033	0.025	0.008	0.000	0.008	0.00	0.1	0.1	1.5	0.2	2.0	0.3	1.8	40	5



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl