

Onderzoeksrapport Pocket Power

Het project Pocket Power is een project van Inagro en Universiteit Gent dat wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Auteurs: Sander Vandendriessche¹, Inès Verleden¹, Anke De Dobbelaere¹, Jan Leenknecht¹, Tine Vergote^{2,3}, Erik Meers², Eveline Volcke², Jeroen Buysse³

¹ Inagro vzw, Ieperseweg 87, 8800 Rumbeke-Beitem

² Universiteit Gent, Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, Vakgroep Groene Chemie en Technologie, Coupure Links 653, 9000 Gent

³ Universiteit Gent, Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, Vakgroep Landbouweconomie, Coupure Links 653, 9000 Gent

Inhoudstafel

INHOUDSTAFEL	3
SAMENVATTING	6
INLEIDING	8
ONDERZOEKSLUIK 1: IMPACT OP BROEIKAS-GASEMISSIEREDUCTIE	9
1. MESTOPSLAG ALS BRON VAN BROEIKASGASEMISSIES	10
2. POCKETVERGISTING ALS MAATREGEL VOOR BROEIKASGASEMISSIES UIT MESTOPSLAG	12
2.1. Model	12
2.2. Metingen	13
2.3. Inschatting emissies aangepaste vergistingsconcepten	13
2.4. Verdere optimalisatie van kleinschalige vergisting in functie van broeikasgasemissiereductie en betere performantie	14
2.4.1. Mestopslag	14
2.4.2. Vergistingsproces	15
2.4.2.1. Vergiste biomassa	15
2.4.2.2. Lekverliezen	15
2.4.2.3. Overtollig biogas	15
2.4.2.4. Methaanslip	16
2.4.3. Digestaat	16
2.4.3.1. Digestaatopslag	16
2.4.3.2. Digestaatgebruik	16
2.4.4. Gasgebruik	17
ONDERZOEKSLUIK 2: UITBREIDING NAAR ANDERE SECTOREN	18
1. INLEIDING	19
2. WETGEVING	20
3. ENERGIE-INTEGRATIESCENARIO'S	20
3.1. Biogastractor	20
3.2. Maximale valorisatie vrijgekomen warmte	21
4. SECTOR SCAN	22
5. VARKENSSECTOR	23
5.1. Sector scan	23
5.2. Vergistingstechnische aspecten	23
5.2.1. Aangepast stalsysteem	24

5.2.2.	Labotesten	27
5.2.3.	Piloottest.....	28
5.3.	Blauwdruk.....	29
5.3.1.	Aannames	29
5.3.2.	Resultaten	31
6.	PREISECTOR.....	32
6.1.	Sector scan	32
6.2.	Vergistingstechnische aspecten.....	32
6.2.1.	Labotesten	32
6.2.2.	Verkleining	33
6.2.3.	Verwijderen onzuiverheden	33
6.2.4.	Opslag	34
6.3.	Blauwdruk.....	34
6.3.1.	Aannames	38
6.3.2.	Resultaten	40
7.	ALGEMENE CONCLUSIE BLAUWDRIJK.....	41
	ALGEMENE CONCLUSIE.....	42
	BIBLIOGRAFIE	43
	BIJLAGE 1: MAATREGELEN VOOR DE REDUCTIE VAN BROEIKASGASEMISSIES	45
	BIJLAGE 2: RAPPORT MET RICHTLIJNEN NAAR CONSTRUCTEURS VAN POCKETVERGISTERS EN STALLENBOUWERS.....	46
	BIJLAGE 3: VERBETERSTRATEGIEËN OP VLAK VAN ONTWERP EN STURING VAN EEN POCKETVERGISTER	47
	BIJLAGE 4: JURIDISCH RAPPORT	48
	BIJLAGE 5: BIOGASTRACTOR	49
	BIJLAGE 6: WARMTESTUDIE	50
	BIJLAGE 7: LITERATUURSTUDIE STALLENBOUW	51
	BIJLAGE 8: ECONOMISCHE DOORREKENING AANGEPAST STALSYSTEEM	52
	BIJLAGE 9: PILOOTTTEST MONOVERGISTING VARKENSMEEST	53
	BIJLAGE 10: TECHNISCHE TEKENING EN BUSINESS CASE VARKENS- EN PREIBEDRIJF.....	54
	BIJLAGE 11: LITERATUURSTUDIE VERGISTING PREIRESTEN.....	55
	BIJLAGE 12: VERKLEINEN GROENTERESTEN	56
	BIJLAGE 13: ZANDVERWIJDERING BIJ PREI	57
	BIJLAGE 14: INKUILPROEVEN PREI.....	58

OPMERKING: vanwege de visuele duidelijkheid worden de pagina's met de beslissingsbomen weergegeven op A3-pagina's. Dit betreft specifiek de pagina's 30 en 36-37. Hou er rekening mee dat dit voor aanpassingen of problemen kan zorgen bij het afprinten van dit document.

OPMERKING: dit onderzoeksrapport legt de linken tussen alle onderzochte zaken binnen het project. Voor meer gedetailleerde informatie verwijzen we via voetnoten telkens naar de wetenschappelijke publicaties voortvloeiend uit dit project of naar de volledige rapporten in bijlage.

De belangrijkste conclusies van dit project werden bovendien ook samengevat in een modulaire brochure. In zes verschillende modules kunnen landbouwers of andere geïnteresseerden in kleinschalige vergisting een leidraad vinden over de verschillende stappen die genomen moeten worden. De brochure is te raadplegen via <https://www.inagro.be/brochurekleinschaligevergisting>. Ook werden op het einde van het project [drie webinars](#) georganiseerd om de belangrijkste conclusies per deelsector (melkvee-, varkens- en groentesector) te illustreren.

Samenvatting

Kleinschalige vergisting of pocketvergisting is een techniek om bedrijfseigen mest of andere biomassastromen om te zetten naar enerzijds biogas en anderzijds digestaat (de resterende vergiste biomassa). Methaan uit het biogas kan in een warmte-krachtkoppeling (WKK) verbrand worden en zo omgezet worden naar benutbare energie onder de vorm van warmte en elektriciteit. Het digestaat kan op het bedrijf als meststof gebruikt worden.

20% van de broeikasgasemissies uit landbouw in Vlaanderen is afkomstig uit mestopslag. Wanneer de mest vers kan afgevoerd worden naar een vergistingsinstallatie, dan maken we nuttig gebruik van deze gassen en kunnen we de broeikasgasemissies uit mestopslag verlagen. Pocketvergisting kende de voorbije jaren vooral ingang op melkveebedrijven. Binnen het project Pocket Power werd via modellering en simulering, alsook via metingen op een digestaatopslag onderzocht hoeveel deze technologie binnen de melkveehouderij kan bijdragen als klimaatmaatregel. Onderzoek binnen het project toonde aan dat methaanemissies tot wel 70% verlaagd kunnen worden in de stal. Als het totaalplaatje van de pocketvergister in rekening wordt gebracht, dan helpt kleinschalige vergisting om 50% van de mest- en energiegerelateerde broeikasgasemissies te reduceren mits aan de nodige randvoorwaarden (correcte uitvoering, voldoende robuustheid, voldoende verblijftijd, goede uitbating, beperking van gasverliezen) wordt voldaan. Deze kwantificering illustreert dat kleinschalige vergisting een positieve impact kan hebben naar het klimaat toe. Vanuit het project werden diverse aanbevelingen geformuleerd naar constructeurs, uitbaters en stakeholders om dit nog verder te verbeteren. Het onderzoek toonde aan dat het voldoen aan randvoorwaarden (bv. m.b.t. verblijftijd en beperken van lekverliezen) essentieel is. Kleinschalige vergisting en het project Pocket Power staan in het Vlaams Energie- en Klimaatplan 2021-2030 vermeld als potentiële strategie om de uitstoot van methaan bij mestopslag substantieel te verminderen.

Gezien het potentieel dat kleinschalige vergisting kan bieden op vlak van bedrijfseigen energieproductie en besparing van broeikasgasemissies uit mestopslag focuste het project Pocket Power ook op een tweede onderzoeksruimte waarin werd onderzocht hoe pocketvergisting verder kan uitgebreid worden naar andere agrarische subsectoren, naast de melkveesector. Een sectorscan schetste welke typebedrijven meest potentieel hebben voor bedrijfseigen vergisting. Het project focuste op uitbreiding naar de groente- (focus op valorisatie van preiresten) en varkenssector.

Kleinschalige vergisting van preiresten op bedrijven die telen voor de versmarkt (waar preiresten op het bedrijf op hopen tijdelijk worden bewaard) leek bij de aanvang van Pocket Power een interessante piste gezien de problematiek die deze reststroom meebrengt op vlak van geurhinder. Het dagvers vergisten van deze resten en vervolgens stockeren van het digestaat in een afgesloten opslag, zou ervoor moeten zorgen dat de geurproblematiek wordt gereduceerd en bovendien dat de nutriënten, die anders als stinkende gewasresten op het land teruggebracht worden, nu teruggebracht worden onder de vorm van een vloeibare meststof op een moment dat een vervolggewas er nuttig gebruik van zal kunnen maken. Onderzoek in Pocket Power toont aan dat preiresten als enkelvoudige stroom vergistingstechnisch stabiel kunnen vergist worden. De uitdaging situeert zich op het logistieke gebied: het vinden van kostenefficiënte onderdelen die de preiresten kunnen van zand ontdoen, verkleinen, evt. tijdelijk opslaan en in de vergister brengen (bv. verpompen). Binnen Pocket Power werden hieromtrent verschillende testen (inkulttesten preiresten) en studies (marktstudie & uittesten verkleiners gewasresten) uitgevoerd. Het praktijkvoorbeeld van Uienchilbedrijf Ongena toont aan dat het technisch moet lukken, maar dat het geen evidentie is om goedkope randapparatuur te vinden die vlot op elkaar aansluit en voldoende robuust blijkt voor de klus. Om tot een rendabel concept te kunnen komen zal bovendien een voldoende jaarrond volume aan preiresten noodzakelijk zijn (enkele m³/dag), wat het aantal bedrijven waar dit

concept interessant voor is eerder beperkt. Gezien de uniciteit vergt dit meer maatwerk en verdere experimenten met de nodige apparatuur.

Monovergisting van varkensdrijfmest vormt op diverse gebieden een geheel andere uitdaging dan monovergisting van runderdrijfmest. Ten eerste is het aantal mogelijkheden om de mest dagvers af te voeren op heden beperkt. Binnen Pocket Power werden diverse brainstorms gehouden en werd een literatuurstudie uitgevoerd naar diverse maatregelen voor dagverse afvoer van varkensmest in combinatie met een reductie van (broeikasgas)emissies in de stal. De meest interessante scenario's voor dagverse afvoer werden doorgerekend voor twee stalgroottes op vlak van hun kostprijs, dit zowel voor bestaande als voor nieuwbouwstallen. Ten tweede is het ook vergistingstechnisch omwille van de samenstelling van de mest geen evidentie om varkensdrijfmest als monostroom te gaan vergisten. Binnen het project werden een aantal strategieën (al dan niet scheiden, thermofiel vergisten, thermische voorbehandeling, verschillende verblijftijden) uitgetest op laboschaal met als doel verse varkensmest stabiel te kunnen vergisten. Hoewel het op laboschaal zeer moeilijk bleek een stabiel vergistingsproces te bekomen, toonde praktijkvoorbeeld Akivar waar varkensdrijfmest deels gescheiden dagvers wordt afgevoerd, dat het technisch mogelijk moet zijn. Binnen het project toonden praktijktesten bij de vergister van Inagro met verse VeDoWS-mest en (oudere) varkensdrijfmest aan dat met een menging op maat en mits sturing in de samenstelling er wel mogelijkheden moeten te vinden zijn om verse varkensmest stabiel te vergisten. Vervolgonderzoek en activiteiten zijn nodig om de randvoorwaarden verder uit te diepen en het grote potentieel voor de sector op vlak van klimaat verder te gaan uitrollen en benutten. Tegen 2030 zullen alle varkensstallen ammoniakemissiearm moeten zijn om hun vergunning te kunnen behouden, wat ook naar dagverse afvoer perspectieven biedt in functie van plannen die wel/niet zullen gemaakt worden om te (ver)bouwen.

Als algemene conclusie kan gesteld worden dat een aantal belangrijke, mooie stappen gezet werden om kleinschalige vergisting verder uit te rollen binnen Vlaanderen. Het broeikasgasemissiereductieplaatje oogt heel positief voor melkveebedrijven met een pocketvergister (-50% broeikasgasemissiereductie). Een gelijkaardige emissiereductie kan verwacht worden in de intensieve veehouderij, al werd dit binnen Pocket Power niet onderzocht en dient dit dus nog gekwantificeerd te worden. Het potentieel om deze technologie verder uit te breiden is vooral aanwezig in de varkenssector, mits de mest voldoende vers en/of gestabiliseerd verzameld zal kunnen worden. Voor de groentesector is het potentieel op vandaag minder groot wegens vooral logistieke moeilijkheden en de noodzaak om in extra randinfrastructuur te investeren.

Naar de toekomst toe kan het dus voornamelijk interessant zijn om verder onderzoek uit te voeren op het gebied van verse varkensmestvergisting. Pocket Power illustreerde namelijk dat het kan, dus het loont om verder te onderzoeken welke omstandigheden en parameters helpen het proces stabiel te houden. Een tweede onderzoekspiste die de moeite waard is om verder te onderzoeken is het coöperatieve aspect. Kunnen landbouwbedrijven samenwerken om samen hun reststromen op een rendabele manier te gaan vergisten? Op die manier kan ook het potentieel voor de groentesector mogelijk stijgen, waardoor een verdere uitrol zou kunnen plaatsvinden.

Inleiding

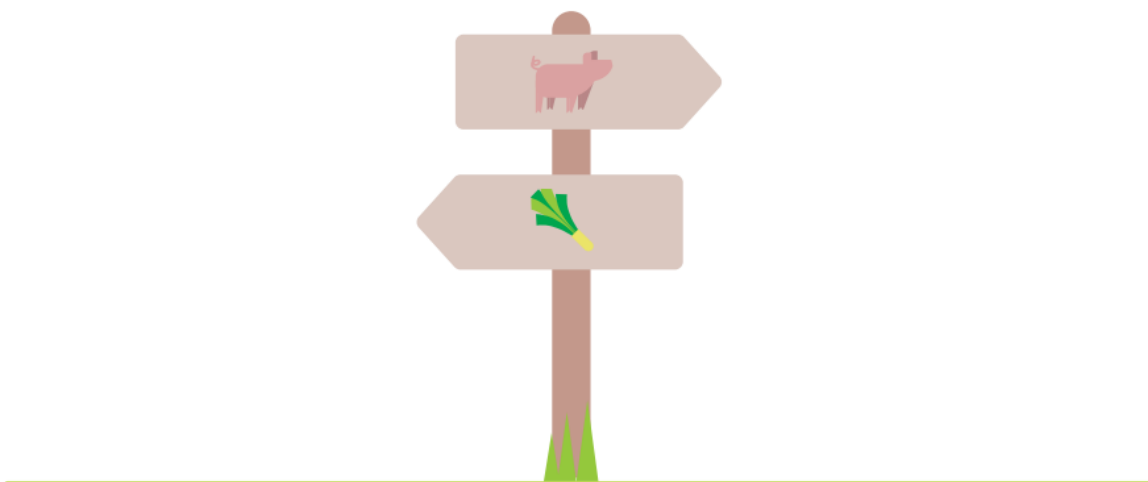
Door stijgende prijzen vormt energie een steeds bepalendere kostenpost in het economisch plaatje van land- en tuinbouwbedrijven. Tegelijkertijd blijven veel reststromen op landbouwbedrijven onbenut (mest, groenteresten, ...) en kunnen ze voor overlast zorgen, bv. geur, nutriëntuitloging en broeikasgasemissies. Pocketvergisting van deze reststromen kan zorgen voor invulling van de energievraag van het bedrijf op vlak van elektriciteit en voor een deel ook van warmte via warmte-krachtkoppeling (WKK). Tegelijkertijd wordt kleinschalige vergisting ook als maatregel genoemd voor de aanpak van broeikasgasemissies uit de mestopslag. Door zijn lokaal karakter en beperkte schaalgrootte zorgt de pocketvergister voor een beperking van transport, minimale verstoring van het landschap (en dus betere acceptatiegraad door de omgeving), onafhankelijkheid van de marktprijzen, geen concurrentie voor inputstromen, ... Vandaag vindt pocketvergisting in Vlaanderen grotendeels plaats op melkveebedrijven, waardoor varkenshouders en groentetelers die iets met hun reststromen willen aanvangen beperkt zijn in mogelijkheden. Aan het begin van het project werd een ruwe inschatting gemaakt om te bepalen met welke subsectoren verder gewerkt zouden worden tijdens het verdere verloop van het project.

Dit project had daarom twee doelstellingen:

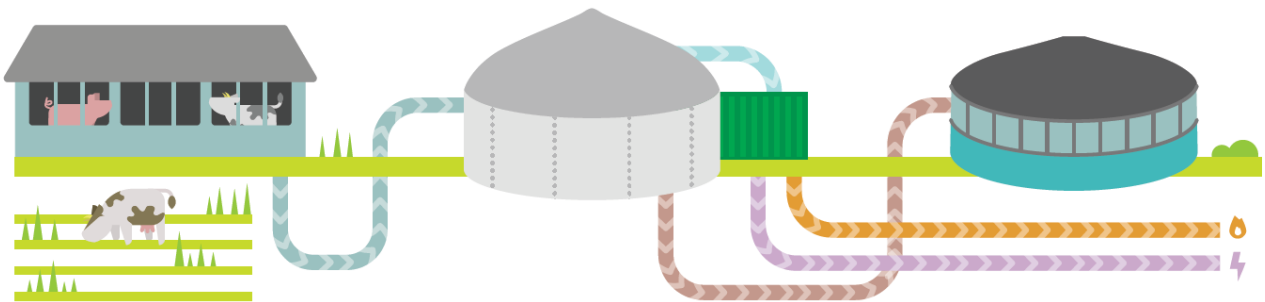
- (1) het kwantificeren van de impact die kleinschalige vergisting heeft op vlak van broeikasgas(BKG-)emissies, alsook het formuleren van strategieën die de reducerende impact kunnen vergroten.
- (2) de uitbreiding mogelijk maken van kleinschalige vergisting naar min. 1 andere deelsector van de twee die werden onderzocht (varkens- en groentesector), en

Doelstelling 1 kwantificeerde door modellering, simulering & metingen hoe sterk pocketvergisting bijdraagt aan de reductie van BKG-emissies. Op basis hiervan werden strategieën ontwikkeld die deze reductie nog kunnen versterken.

Doelstelling 2 ging door modellering en simulatie de geschiktheid van verscheidene agrarische subsectoren voor kleinschalige vergisting na. Verder werden de kansen en knelpunten naar toekomstige markttuitbreiding toe blootgelegd. Voor de twee deelsectoren met het hoogste (te verwachten) potentieel werd verder in het project een ontwerp gerealiseerd voor een aangepaste pocketvergister in de vorm van een blauwdruk.

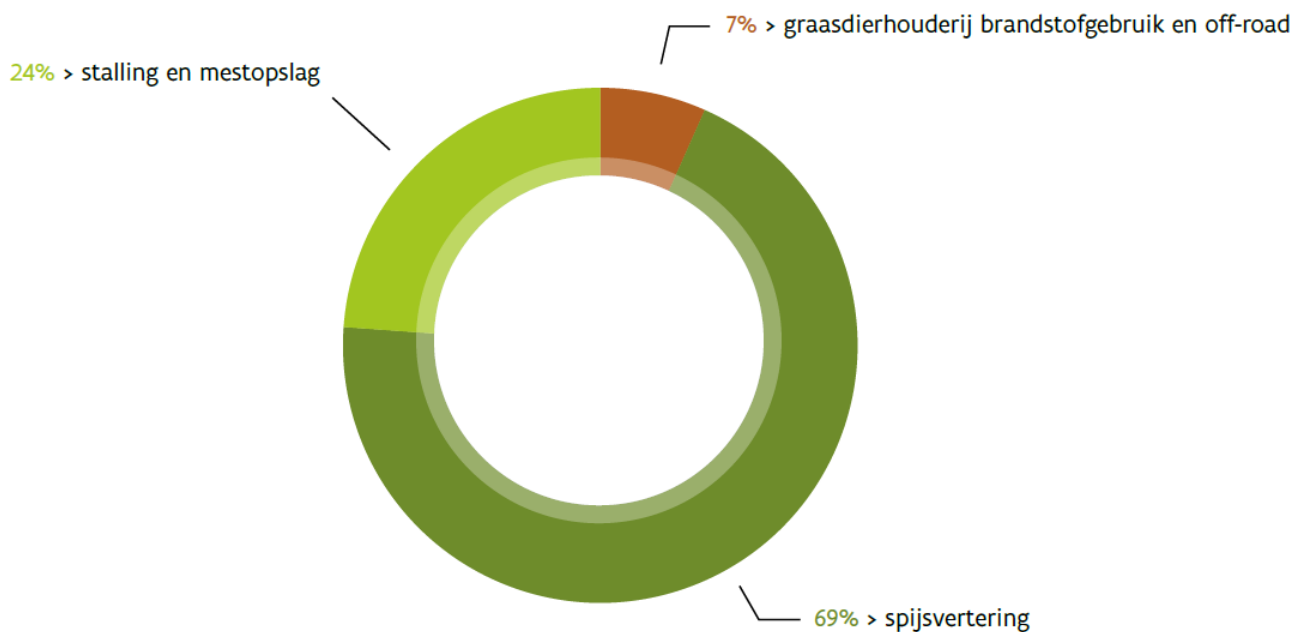


ONDERZOEKSLUIK 1: IMPACT OP BROEIKAS- GASEMISSIEREDUCTIE



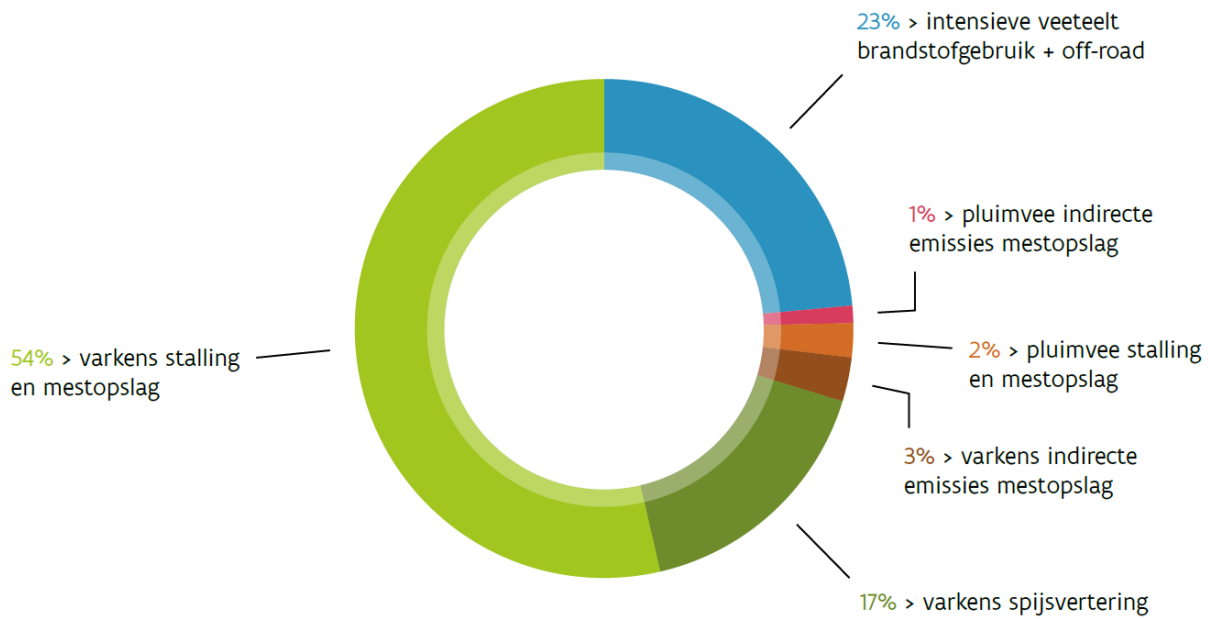
1. Mestopslag als bron van broeikasgasemissies

In 2010 bedroegen de totale broeikasgasemissies van alle koeien en varkens in West-Europa bijna 1,8 biljoen kilogram aan CO₂-equivalenten (FAO, 2017). Ongeveer 7,3% van de globale broeikasgasemissies is dus afkomstig van koeien en varkens. Methaan heeft een belangrijk aandeel in deze broeikasgasemissies, namelijk zo'n 47,1%. CO₂ en lachgas (N₂O) zijn verantwoordelijk voor respectievelijk 28,2 en 24,7% van de totale broeikasgasemissies (FAO, 2017). In Vlaanderen bedraagt het aandeel van de landbouw ca. 10% in de totale broeikasgasemissies, of een uitstoot van 7,4 Mton CO₂-equivalenten. De rundveesector en intensieve veehouderij (varkens en pluimvee) zijn verantwoordelijk voor respectievelijk 44% of 3.215 kton CO₂-equivalenten (Figuur 1) en 18% of 1.337 kton CO₂-equivalenten (Figuur 2) van de totale broeikasgasemissies in de Vlaamse land- en tuinbouw (Platteau et al., 2018). Emissies uit de groentesector zijn afkomstig van het kunstmestgebruik en bestaan dus voornamelijk uit N₂O-emissies. Dit aandeel is echter aanzienlijk kleiner. Het reduceren van de methaanemissies uit de veehouderij is dus van groot belang, aangezien methaan een globaal opwarmingspotentieel heeft dat ongeveer 30 keer hoger is als dat van CO₂ (Eurostat, 2019). Deze methaanemissies zijn voornamelijk afkomstig van zowel het verteringsproces van het dier zelf, als van de mestopslag (Figuur 3).



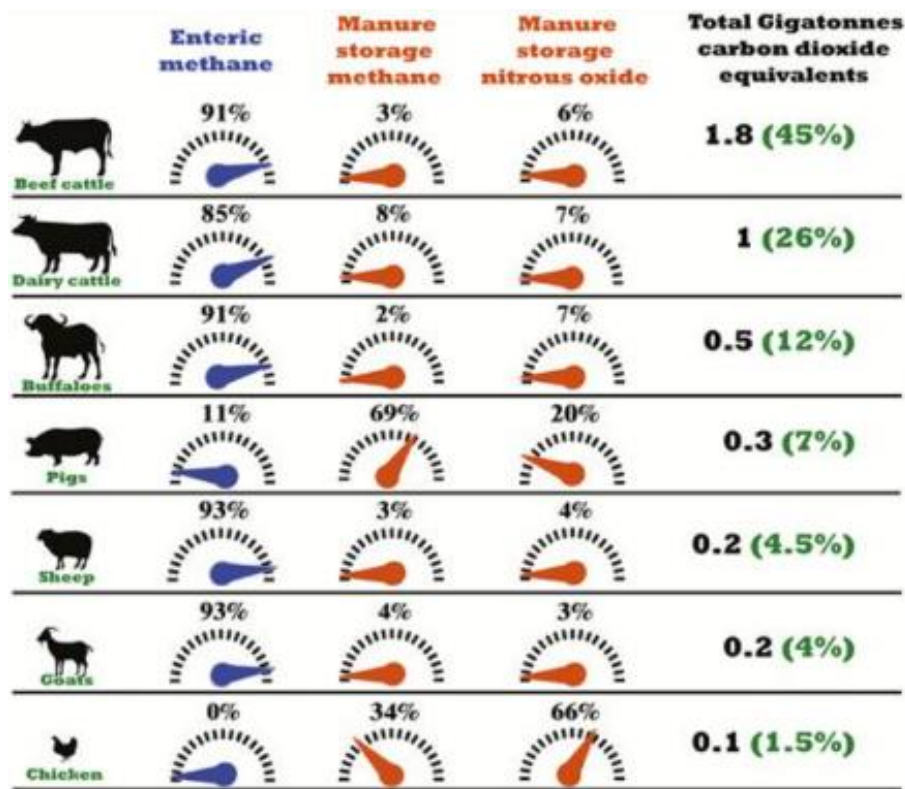
Bron: VMM

Figuur 1: Oorsprong van de broeikasgasemissies bij de rundveehouderij in Vlaanderen (Platteau et al., 2018).



Bron: VMM

Figuur 2: Oorsprong van de broeikasgasemissies bij de intensieve veehouderij in Vlaanderen (Platteau et al., 2018).



Figuur 3: De verschillende percentages van de oorsprong van methaan en lachgas (via spijsverteringsstelsel – methaan uit mestopslag – lachgas uit mestopslag – totaal gigaton aan CO₂-equivalenten) per veeteelt (Grossi et al., 2019).

2. Pocketvergisting als maatregel voor broeikasgasemissies uit mestopslag

Pocketvergisting wordt al sinds 2006 genoemd als maatregel met veel potentieel om broeikasgasemissies uit de mestopslag te gaan beperken (FAO, 2006). Het Vlaams Klimaatfonds erkende vervolgens in 2015 kleinschalige vergisting als een interessante technologie om broeikasgasemissies uit de mestopslag op een voor de landbouwer economisch interessante manier te gaan verlagen. Ook in het Vlaams Klimaatbeleidsplan voor 2021 – 2030 (Overheid, 2018) wordt vergisting van mest op varkens- en melkveebedrijven vermeld als maatregel voor de potentiële vermindering van de methaanuitstoot bij mestopslag. De mest dient zo vers mogelijk in de vergister gebracht te worden voor optimale biogasproductie (Coppolecchia et al., 2015). Door zijn lokaal karakter en beperkte schaalgrootte zorgt de pocketvergister voor een beperking van transport, een minimale verstoring van het landschap (en dus betere acceptatiegraad door de omgeving), onafhankelijkheid van de marktprijzen, geen concurrentie voor inputstromen, ...

Er is echter nog niet concreet geweten wat de exacte impact is van pocketvergisting op vlak van broeikasgasemissiereductie in vergelijking met een landbouwbedrijf zonder pocketvergister. Daarom wilde het project Pocket Power niet alleen inzetten op kwantificatie van de broeikasgasemissiereductie door pocketvergisting, maar ook het formuleren van maatregelen ter verdere reductie van broeikasgasemissies bij uitbating. Er kan rekening gehouden worden met deze strategieën door zowel de constructeurs van pocketvergisters, als door uitbaters met een installatie.

2.1. MODEL

Het broeikasgasemissiereductiepotentieel van pocketvergisting en de factoren die dit potentieel kunnen beïnvloeden werden onderzocht via enerzijds modelbouw en simulatie en anderzijds een volleschaalmeetcampagne. Door simulatie van het anaerobe vergistingsproces met fysisch gebaseerde modellen kunnen verschillende scenario's op een tijds- en kostenefficiënte manier worden vergeleken. In jaar 1 en 2 van het project werd een anaeroob vergistingsmodel opgesteld en toegepast om zowel de gewenste methaanproductie in de vergister als methaanemissies door opslag van (vergiste) mest in te schatten. Een sensitiviteitsanalyse, gebaseerd op steady state simulaties, toonde aan dat de mate van (al dan niet gewenste) methaanvorming sterk afhankelijk is van de opslagtemperatuur, de opslagduur, het ingaande organisch en biodegradeerbaar gehalte uitgedrukt in chemische zuurstofvraag (CZV) en de hydrolyseconstante.

Ter identificatie van bijkomende invloedsfactoren, werd de carbon footprint, en meer specifiek de mest- en energiegerelateerde broeikasgasemissies van verschillende mestbeheersscenario's voor melkveebedrijven, geanalyseerd door waarden voor methaanemissie en -productie, verkregen via dynamische simulaties, te combineren met literatuur- en praktijkwaarden voor emissies door elektriciteitsconsumptie, de werking van de vergister en bemesting. De analyse toonde aan dat buitenopslag van mest bij een lagere omgevingstemperatuur, het verlagen van het organisch en dus het biodegradeerbaar CZV-gehalte van mest door vergisting en het beperken van het opgeslagen mestvolume door verse mest te voeden aan de vergister, de carbon footprint van het landbouwbedrijf verlaagt, omdat het de methaanuitstoot door opslag vermindert en, in geval van vergisting, resulteert in hernieuwbare energie.

Verse mestvergisting bleek de carbon footprint van melkveebedrijven met meer dan 50% te kunnen reduceren op basis van de onderzochte scenario's. Echter, de analyse toonde ook aan dat vergistingsgerelateerde emissies, d.w.z. emissies door opslag van digestaat en door de werking van de

vergister, het broeikasgasemissiereductiepotentieel aanzienlijk zouden kunnen verlagen wanneer de vergister niet correct is gedimensioneerd of niet correct wordt uitgbaat.

2.2. METINGEN

De bevinding dat langdurige opslag van digestaat aanzienlijk zou kunnen bijdragen tot de carbon footprint van melkveebedrijven werd nagegaan door continue monitoring van methaan- en lachgasemissies van mono-vergiste runderdrijfmest in een boerderijschaal digestaatopslag, gedurende drie maanden in de herfst. Voor de volleschaalmeetcampagne werd een meetmethode ontwikkeld om betrouwbare continue online monitoring van methaan en lachgas mogelijk te maken. Verder werden de heersende condities, zoals de digestaattemperatuur en het opslagniveau in de digestaatopslagtank, continu gemeten om het effect van temperatuur en opgeslagen volume op de dynamiek van de gemeten methaan- en lachgasemissies te kunnen bepalen.

Tijdens de drie maanden durende meetcampagne varieerde de temperatuur van het digestaat tussen 14,6 en 24,9 °C, het opgeslagen volume tussen 186 en 480 m³. De daggemiddelde hoeveelheid methaanemissies per volume opgeslagen digestaat varieerde van 4,6 tot 14 g CH₄ m⁻³ d⁻¹, equivalent aan 3,9% tot 8,2% van het methaan geproduceerd in de vergister. Lachgasemissies schommelden tussen 0,004 en 0,13 g N₂O m⁻³ d⁻¹ en bedroegen tot 10% van de totale gemeten CO₂-equivalente emissie. Zowel de uitstoot van methaan als lachgas bleken positief gecorreleerd te zijn aan de digestaattemperatuur en het opgeslagen digestaatvolume. Samen met de gekarakteriseerde mest- en digestaatsamenstelling en de aangeleverde vergisterspecifieke data (Bioelectric vergister van 9.7 kWe), werden de gemeten digestaatopslagcondities gebruikt voor numerieke simulaties met het ontwikkelde anaerobe vergistingsmodel. Deze simulaties toonden aan dat snelle conversie van mest naar biogas plaatsvond in de beschouwde vergister, aangezien de ingeschatte hydrolyseconstante hoog was. Hierdoor kon een hoge energierugwinning verkregen worden bij een vrij lage vergisterverblijftijd (15 dagen) en een residueel methaanproductiepotentieel dat 40% bedroeg van dat van mest. Verder bleven de emissies door digestaatopslag beperkt, ondanks de hoge digestaattemperaturen. De gas-vloeistofoverdrachtcoëfficiënt was immers laag, zoals bevestigd door de simulaties, aangezien er tijdens opslag geen actieve of passieve menging van het digestaat plaatsvond.

Zowel de monitoringsmethode als de resultaten en conclusies bekomen op basis van de volleschaalmeetcampagne werden uitgebreid beschreven in het artikel dat over dit topic werd gepubliceerd in het wetenschappelijk tijdschrift *Biosystems Engineering*^{1,2}.

2.3. INSCHATTING EMISSIES AANGEPASTE VERGISTINGSCONCEPTEN

Het uitgevoerde onderzoek (modellering en metingen) toonde aan dat verscheidene parameters op mest-, vergister- en digestaatniveau de methaanvorming op melkveebedrijven sterk beïnvloeden. De focus op de melkveesector werd gedreven door de huidige Vlaamse situatie op het gebied van pocketvergisting, zijnde bijna alle kleinschalige installaties in de landbouw zijn actief op melkveebedrijven. Verschillen in absolute methaanproductie- en broeikasgasemissiewaarden

¹ Vergote T.L.I., Vanrolleghem W.J.C., Van der Heyden C., De Dobbelaere A.E.J., Buysse J., Meers E., Volcke E.I.P. (2019). Model-based analysis of greenhouse gas emission reduction potential through farm-scale digestion. *Biosystems Engineering*, 181, 157-172. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.005>.

² Vergote T.L.I., Bodé S., De Dobbelaere A.E.J., Buysse J., Meers E., Volcke E.I.P. (2020). Monitoring methane and nitrous oxide emissions from digestate storage following manure mono-digestion. *Biosystems Engineering*, 196, 159–171.

gerelateerd aan vergisting van drijfmest uit andere diercategorieën zijn te verwachten, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van meer / actieve methanogenen in mest van herkauwers (zoals melkkoeien) (Kim et al., 2014) en de hogere mate van biologisch afbreekbare verbindingen in mest van niet-herkauwers (zoals varkens) (IPCC, 2006) in relatie tot hun spijsverteringskanaal. Echter, ondanks die verschillen zullen de verhoudingen tussen productie en emissie onder dezelfde bedrijfs- en opslagomstandigheden waarschijnlijk vergelijkbaar zijn, en daarbij de relatieve cijfers bekomen met het model. Deze veronderstelling moet echter worden bevestigd door meer metingen of experimenten ter plaatse (gekoppeld aan modellering), dewelke niet meer konden worden opgenomen binnen dit project. Dergelijk onderzoek zou eventueel kunnen uitgevoerd worden in een vervolgproject om zo ook binnen andere agrarische subsectoren een representatiever beeld te krijgen van hun broeikasgasemissiereductiepotentieel.

2.4. VERDERE OPTIMALISATIE VAN KLEINSCHALIGE VERGISTING IN FUNCTIE VAN BROEIKASGASEMISSIEREDUCTIE EN BETERE PERFORMANTIE

Modellering (2.1) maakte duidelijk dat op melkveebedrijven de carbon footprint met meer dan 50% gereduceerd kan worden door pocketvergisting toe te passen. Echter toonde het model ook aan dit cijfer snel kan afnemen wanneer niet aan de optimale omstandigheden wordt voldaan. Daarom werd binnen Pocket Power een rapport opgesteld met algemene maatregelen ter reductie van broeikasgasemissies door pocketvergisting³. Deze emissies worden opgesplitst in vier grote categorieën.

2.4.1. Mestopslag

Allereerst heeft het stalsysteem, dat rechtstreeks in verband staat met de mestopslag, reeds een invloed op de emissies en het biogas- en methaanpotentieel. Via roostervloeren komt de mest terecht in een mestkelder die vaak niet gemixt wordt. In een niet-gemixte, diepe kelder zijn er veel meer bacteriën aanwezig, waardoor er veel meer emissies worden geproduceerd in vergelijking met een volle vloer met mestschuif (Coppolecchia et al., 2015). Als de mestkelder dan toch gemixt wordt, zet dit grote hoeveelheden emissies vrij (Liebetrau et al., 2017). Zeker de emissie van ammoniak en lachgas, dat een globaal opwarmingspotentieel heeft dat 298 keer hoger is dan dat van CO₂ (Eurostat, 2019), kan vermeden worden door de mestopslag gesloten te houden (Paolini et al., 2018). Bovendien is ook de biogasproductie van mest afkomstig uit een mestkelder lager dan van mest afgeschaapt van een volle vloer (Coppolecchia et al., 2015) en biedt een volle vloer met mestschuif dus niet alleen een voordeel naar emissiereductie toe, maar zorgt het ook voor een hoger vergistingsrendement.

De eerste pocketvergisters werden geplaatst bij relatief kleine melkveebedrijven. Het geïnstalleerde vermogen van de installaties werd dan ook afgestemd op de bedrijfseigen energievraag. Nu het terugdraaiende teller-principe verdwijnt, worden er meer en meer installaties geplaatst bij bedrijven met een groter aantal melkkoeien. Als er bij die bedrijven een vergistingsinstallatie wordt geplaatst, gebaseerd op de energievraag, maar de reactor niet wordt vergroot op basis van de beschikbare mest, kan vaak niet alle mest in de reactor worden vergist als er rekening wordt gehouden met de minimale verblijftijd van dertig dagen.

Een te kleine reactor betekent dus dat een deel van de mest niet kan worden vergist en de emissies bij de mestopslag van dit deel van de mest niet worden gereduceerd. Als deze mest rechtstreeks wordt verpompt naar de digestaatopslag wordt de mest gemixt met het digestaat en in contact gebracht met

³ Het volledige rapport kan geraadpleegd worden via Bijlage 1: Maatregelen voor de reductie van broeikasgasemissies.

de vergistingsbacteriën. Hierdoor kunnen extra emissies vrijkomen.

Een te grote reactor of installatie heeft als nadeel dat dit een grotere investering was dan nodig. De motor zal niet continu kunnen draaien, waardoor er minder rechtstreeks verbruik van de opgewekte energie zal plaatsvinden, maar de emissies bij mestopslag worden door het kunnen vergisten van alle mest wel gereduceerd.

Als de broeikasgasemissies optimaal gereduceerd willen worden, wordt de reactor en daarmee gekoppeld geïnstalleerd vermogen best afgestemd op de beschikbare hoeveelheid mest op het bedrijf.

2.4.2. Vergistingsproces

Het vrijkomen van methaan tijdens of na het vergistingsproces moet zoveel mogelijk vermeden worden. Methaanemissies bij een vergistingsinstallatie komen voornamelijk voor door het ontsnappen van methaan via eventuele lekken, via het overdrukventiel, door navergisting in de open digestaatopslag of via methaanslip.

2.4.2.1. Vergiste biomassa

Administratief gezien is het voor pocketvergisters makkelijker om aan mono-vergisting te doen. De huidige installaties zijn aangepast aan de mono-vergisting van mest. Het vergisten van mest heeft ook de grootste invloed op het reduceren van de broeikasgasemissies. Wanneer aan co-vergisting wordt gedaan, zal er minder broeikasgasemissiereductie plaatsvinden des te groter het aandeel aan energiegewassen wordt (Liebetrau et al. 2017).

2.4.2.2. Lekverliezen

De kans is reëel dat er bij de vergister of gashoudende installatieonderdelen onopmerkbare lekken aanwezig zijn. Eerder onderzoek toont aan dat lekken vaak voorkomen bij componenten zoals dubbele membranen, aanpasbare roerwerken, de bevestiging van membranen, vaste muren of de voedingsinstallatie (Liebetrau et al. 2017). Waar membranen of roerwerken bevestigd worden of de voeding in de vergister terecht komt, zijn nu eenmaal zwakkere punten. Lekken in de liners van de pocketvergisters kunnen zoveel mogelijk vermeden worden door correct gebruik. Membranen zijn echter nooit helemaal perfect gasdicht, maar kunnen via diffusie methaan afgeven aan de atmosfeer. Regelmatig onderhoud en vernieuwing van gashoudende onderdelen kunnen lekverliezen reduceren, maar nooit helemaal vermijden. Een jaarlijkse infrarood gaslekdetectie kan dienen als controle op eventuele aanwezige lekken. Deze methode toont echter enkel aan waar er lekken zijn, maar niet de kwantiteit van het gas dat ontsnapt.

2.4.2.3. Overtollig biogas

Voor de veiligheid beschikt elke installatie over een overdrukventiel. In het geval dat de gasdruk binnenin de installatie te hoog wordt, gaat deze open om het overtollige gas, grotendeels methaan, de lucht in te sturen. Dit voorkomt dat de installatie explodeert of het membraan scheurt. Bij pocketvergisters opent het overdrukventiel meestal bij een overdruk van 4 mbar. Het opengaan van het overdrukventiel komt voornamelijk voor wanneer er meer biogas wordt geproduceerd dan er rechtstreeks door de WKK kan worden verbrand, of wanneer de WKK stilligt en het gas zich accumuleert in de installatie (Liebetrau et al. 2017). Een fakkel aan het overdrukventiel koppelen, dat het methaan verbrandt tot het minder schadelijke CO₂ alvorens het in de atmosfeer te blazen, is hiervoor een oplossing (Paolini et al. 2018).

Daarnaast zou het overtollige geproduceerde biogas tijdelijk kunnen opgeslagen worden in een externe biogasopslag. Ook hierbij kan een fakkel worden voorzien in het geval van overdruk. Het rendement hiervan is echter sterk afhankelijk van hoe vaak dit gebruikt wordt. Bij kleinschalige installaties zal het gebruik van een externe biogasopslag beperkt zijn. De biogasreserve zal niet kunnen worden aangesproken als de WKK stilligt of als er al meer biogas geproduceerd wordt dan er verbrand kan

worden. Hiervoor een extra WKK voorzien laat het rendement aanzienlijk dalen. Bovendien zijn ook deze membranen of zakken niet perfect gasdicht, maar geven deze in mindere mate gas vrij aan de atmosfeer door middel van diffusie.

2.4.2.4. Methaanslip

Ook bij de WKK kunnen lekverliezen voorkomen, maar deze zijn verwaarloosbaar in vergelijking met het methaanslip. Afhankelijk van WKK tot WKK wordt niet alle methaan verbrand en gaat deze verloren via de uitlaat. Dit bedraagt gemiddeld 1,89% (Liebetrau et al. 2017). Een regelmatig onderhoud van de WKK kan dit methaanslip reduceren, maar niet compleet vermijden.

2.4.3. Digestaat

Hoe het digestaat na vergisting wordt opgeslagen en gebruikt, maakt ook een belangrijk deel uit van de broeikasgasemissies gelinkt aan vergisting.

2.4.3.1. Digestaatopslag

Ook bij de digestaatopslag is het mogelijk dat er methaan vrijkomt door onvolledige vergisting in de reactor (Weiland 2006). Allereerst is het bij pocketvergisters dus belangrijk om de minimale verblijftijd van 30 dagen in de vergister te respecteren. Niet alleen wordt hierdoor flushing van de vergistingsbacteriën vermeden, maar is het biogaspotentieel na vergisting lager dan bij kortere verblijftijden. Wanneer de digestaatopslag niet volledig dicht is, kan dit vrijgekomen methaan in de lucht ontsnappen, tenzij de opslag op een gasdichte manier wordt afgesloten. Het gasdicht maken van de digestaatopslag kan de broeikasgasemissies van een vergistingsinstallatie verder reduceren van -23,7% tot -36,5% (Battini et al. 2014). De digestaatopslag kan dan als navergistingstank gebruikt worden en het resterende gas dat geproduceerd wordt kan nog worden gevaloriseerd in de WKK, of afgefakkeld. Een bijkomend voordeel is dat een gasdichte opslag van het digestaat ook een positieve invloed heeft op de geuroverlast (Paolini et al. 2018). Hou ook hier opnieuw rekening met het feit dat het membraan dat gebruikt wordt om de opslag af te sluiten, gas zal vrijgeven aan de atmosfeer via diffusie.

Het biogaspotentieel van het digestaat is ook significant hoger bij hogere temperatuur (Liebetrau et al. 2017). Als het dus niet mogelijk is om de digestaatopslag gasdicht te maken, is het beter om de temperatuur binnenin zo laag mogelijk te houden. De methaanproductie wordt significant gereduceerd bij temperaturen lager dan 17°C (Holmgren 2019). De methaanproducerende bacteriën kunnen ook worden geremd door zuurstof in de digestaatopslag te brengen, door bijvoorbeeld het digestaat regelmatig te roeren.

2.4.3.2. Digestaatgebruik

Digestaat dat na vergisting uitgevoerd wordt op landbouwgrond kan nog steeds aanzienlijke broeikasgasemissies veroorzaken, ware het niet dat deze over het algemeen lager zijn dan wanneer ruwe mest op het land wordt gebruikt (Oshita et al. 2014). Daarentegen kan het gebruik van digestaat als meststof wel een hogere ammoniakemissie veroorzaken en ook nitraatuitspoeling kan hoger zijn bij digestaat dan bij ruwe mest (Paolini et al. 2018). Hoe groot dit effect is, is afhankelijk van wat er wordt vergist (Johansen et al. 2013). Ook de manier van toediening kan de hoeveelheid emissies beïnvloeden. Directe injectie in de grond is de beste manier voor toediening van digestaat, dat op deze manier van toediening voornamelijk ammoniakvervluchtiging tegengaat (Misselbrook et al. 2019).

Maar ook verdere bewerking van het digestaat kan bijdragen aan significante broeikasgasverliezen wanneer de producten worden toegepast op het land.

Het scheiden van digestaat in een dikke en dunne fractie zorgt ervoor dat de hoge stikstofinhoud in de dikke fractie ook voor meer stikstofverlies kan zorgen via het vervluchten van ammoniak, nitraatuitspoeling en nitrificatie/denitrificatie door het in contact komen met zuurstof tijdens opslag en

gebruik (Möller and Müller 2012). Deze dikke fractie moet dus zo snel mogelijk na scheiding op het land worden gebracht om emissies tijdens opslag zo laag mogelijk te houden. Ofwel wordt er best een zuurstofvrije opslag voorzien van de dikke fractie van digestaat.

Het drogen van digestaat om het transport ervan economisch interessanter te maken, zorgt ook voor stikstofverlies via ammoniak. Ook compostering zorgt voor ammoniakvervluchtiging en het vrijkomen van lachgas en N₂ door nitrificatie/denitrificatie (Möller and Müller 2012). Aangezien compostering van de dikke fractie van het digestaat bovendien een negatieve invloed heeft op de bemestingswaarde wordt compostering als nabehandeling ten zeerste afgeraden.

2.4.4. Gasgebruik

Het spreekt voor zich dat de geproduceerde elektriciteit en warmte nuttig aangewend moeten worden om de broeikasgasemissiereductie te maximaliseren. Het gebruik van de elektriciteit bij pocketvergisting is vanzelfsprekend. Als de elektriciteit niet rechtstreeks op het landbouwbedrijf wordt verbruikt, wordt deze op het net gestoken. De warmte daarentegen kan niet op elk landbouwbedrijf volledig benut worden. Een deel wordt gebruikt voor het op temperatuur houden van de reactor. Afhankelijk van het seizoen blijft er daarnaast nog een deel over dat gebruikt kan worden voor het opwarmen van de boiler, die gebruikt wordt als reinigingswater van de melkinstallatie en/of melkrobot, sanitair warm water of als vloerverwarming in de gebouwen. Dit zorgt voor een reductie in het gebruik van fossiele grondstoffen. Warmte die niet gebruikt wordt, wordt afgeblazen.

Opwaardering van biogas tot biomethaan kan de broeikasgasemissiereductie nog significant verder verhogen, indien methaanslip gelimiteerd kan worden tot 0,05%. Wanneer een waarde van 4% wordt bereikt, is de opwaardering niet langer duurzaam (Paolini et al., 2018). De hoeveelheid broeikasgasemissiereductie door het gebruik van biomethaan is afhankelijk van welke brandstof wordt vervangen, maar lijkt het meest kost-efficiënt te zijn bij vervanging van diesel door bio-CNG (gecomprimeerd aardgas) of bio-LNG (vloeibaar aardgas) (Kampman et al., 2016).

Op basis van deze bevindingen voor een verdere optimalisatie van kleinschalige vergisting werd vervolgens een rapport samengesteld dat de belangrijkste bevindingen voor constructeurs van pocketvergistingsinstallaties bundelt, dit met als doel om zo performant mogelijk te laten draaien met een maximale broeikasgasemissiereductie⁴. Algemene richtlijnen kunnen als volgt benaderd worden, maar voor meer info verwijzen we graag naar het volledige rapport:

- Installeer een fakkelt;
- Zorg voor een voldoende lange verblijftijd;
- Zorg voor voldoende ontzwaveling en ontwatering van het biogas;
- Zorg voor een correct gebruik van de folie.

Deze zaken werden besproken met de constructeur(s) en uitbaters, waarna een aantal strategieën effectief werden uitgevoerd bij uitbaters. Ook werden enkele strategieën intussen opgenomen in het ontwerp en de bouw van de huidige installaties. Deze zaken werden beschreven in een rapport.⁵

⁴ Het volledige rapport kan geraadpleegd worden via Bijlage 2: Rapport met richtlijnen naar constructeurs van pocketvergisters en stallenbouwers.

⁵ Het volledige rapport kan geraadpleegd worden via Bijlage 3: Verbeterstrategieën op vlak van ontwerp en sturing van een pocketvergister.

ONDERZOEKSLUIK 2: UITBREIDING NAAR ANDERE SECTOREN



1. Inleiding

Pocketvergisting wordt op vandaag in Vlaanderen hoofdzakelijk toegepast binnen de melkveesector. Dit op bedrijven die beschikken over voldoende kwalitatieve mest komend van een minimum aantal (80) productieve dieren.

Heel wat runderdrijfmest (uitgaande van min. 80 dieren) op ruwweg 2/3 van het totaal aantal melkveebedrijven in Vlaanderen, kan binnen de sector nog niet op kleine schaal worden vergist, omdat deze bedrijven over te weinig kwaliteitsvolle mest beschikken om een pocketvergister met minimum vermogen van 10 kW te plaatsen. Toch zijn er mogelijkheden om ook deze mest te gaan vergisten: denk maar aan het combineren van mest met andere reststromen op het bedrijf (bv. grassnedes in het najaar met lagere voederwaarde en andere maaisels, gewasresten, ...), of het clusteren van runderdrijfmest van verschillende landbouwers. Ook op bedrijven die groot genoeg zijn om aan pocketvergisting te doen, is er vaak te veel mest volgens wat energetisch via de WKK-motor met gelimiteerd vermogen (vanaf ca. 10 kW) op het bedrijf onmiddellijk kan worden gevaloriseerd. Binnen de melkveesector is er op het vlak van de beschikbare hoeveelheid biomassa (mest) dus duidelijk nog potentieel voor uitbreiding van kleinschalige vergisting.

Ook binnen andere landbouwsectoren (vleesvee, varkens, pluimvee, tuinbouw, akkerbouw) is er heel wat biomassa beschikbaar die momenteel niet (energetisch) wordt gevaloriseerd. Deze biomassa kan lokaal ook voor overlast zorgen, denk bijvoorbeeld aan de nutriëntenproblematiek (bv. kool- & preiresten die achterblijven op het land of teruggevoerd worden), geuroverlast (bv. rottende preiresten) en de grote bijdrage van de opslag van biomastromen (bv. varkensmest) aan de emissie van broeikasgassen. Aan elke sector en type biomassa zijn echter specifieke uitdagingen verbonden om deze biomassa lokaal te kunnen gaan valoriseren. Er is vandaag vanuit verschillende instanties en projecten algemeen zicht op de hoeveelheden biomassa die aanwezig zijn in Vlaanderen. Hiervoor worden gaandeweg beleidsmatig ook gerichtere lijnen uitgestippeld, waarbij duidelijk wordt dat er een ruim potentieel weggelegd is voor pocketvergisting als decentrale valorisatie-optie. Het is echter niet duidelijk op welke biomassa en voor welke bedrijfstypes of deelsectoren pocketvergisting (prioritair) ingezet moet worden, waardoor technologische innovaties en bijgevolg ook investeringen achterop hinken. Pocket Power probeerde daarom duidelijk te maken wanneer er op pocketvergisting zou kunnen ingezet worden. Een eerste screening illustreerde dat er op het eerste zicht veel potentieel weggelegd was voor de varkens- en de preisector, waardoor op deze stromen gefocust werd.

Analoog als bij melkveebedrijven zou kleinschalige vergisting op varkensbedrijven een meerwaarde kunnen betekenen door mogelijke bijdrage aan broeikasgasemissiereductie en groene energieproductie. Op die manier kunnen emissies uit de mestopslag mogelijk sterk gereduceerd worden en wordt er tegelijk groene energie geproduceerd. Gescheiden en/of verse varkensmest is bovendien erg energierijk t.o.v. vloeibare niet-verse drijfmest, waardoor het potentieel om deze technologie uit te breiden naar de varkenssector erg prominent is. Ook mono-vergisting van groenteresten zou kunnen helpen om een aantal problemen die gepaard gaan met dergelijke stromen (zoals bv. nutriëntenverliezen, geurhinder) op te lossen.

De grote uitdaging naar beide deelsectoren toe is het technisch gerealiseerd krijgen van een concept dat economisch rendabel is en vervolgens naar meerdere bedrijven kan vertaald worden. Daarom werd in dit onderzoeksluik via een sector scan het potentieel voor deze deelsectoren onderzocht. Bovendien werd er ingegaan op een aantal technische vraagstukken, zowel op vergistingstechnisch als op logistiek vlak. Deze output werd gebruikt om een aantal aannames te definiëren die als (meest) plausibel worden beschouwd, om op die manier een blauwdruk te ontwikkelen die toelaat een idee te schetsen van hoe een vergistingsinstallatie er zou kunnen uitzien op varkens- en preibedrijven en onder welke omstandigheden dit al dan niet rendabel zou kunnen zijn.

2. Wetgeving

Aangezien monovergisting van mest momenteel hoofdzakelijk bij melkveehouders voorkomt, is het juridisch kader hierrond duidelijk voor de meeste uitbaters. Een uitbreiding van pocketvergisting naar monovergisting van varkensmest, of naar co-vergisting van rundermest met oogstresten kan echter ook belangrijke verschillen hebben op het vlak van wetgeving. Door middel van twee cases⁶ lichtte het adviesbureau DLV volgende zaken uit:

- Wettelijke verplichtingen voorafgaand aan de bouw van de installatie
- Wettelijke verplichtingen m.b.t. afzet digestaat
- Wettelijke verplichtingen m.b.t. uitbating
- Administratieve verplichtingen

3. Energie-integratiescenario's

Een pocketvergister wordt voornamelijk gedimensioneerd op het energieverbruik van het landbouwbedrijf. Op sommige bedrijven is het elektriciteitsverbruik te laag om een installatie rendabel te rekenen; op andere bedrijven is er dan weer nog mest (of reststromen) over voor uitbreiding van de biogasproductie. Het is echter niet rendabel om meer elektriciteit te produceren dan men zelf nodig heeft. Elektriciteit geïnjecteerd op het net levert namelijk een kleinere vergoeding op dan de gemiddelde energiekost waardoor het aangewezen is het energieverbruiksprofiel zo veel mogelijk af te stemmen op het productieprofiel (Enerpedia, 2015). Zeker met het op de helling staan van de terugdraaiende teller wordt dit nu steeds belangrijker.

3.1. BIOGASTRACTOR

Het gebruik van een tractor aangedreven door biogas zou deze extra energiestroom mogelijk wel op een efficiënte manier kunnen valoriseren.⁷ Hierdoor zou biogasproductie met behulp van een pocketvergister voor meer bedrijven van toepassing kunnen zijn. Bovendien kan er meer bespaard worden op fossiele energie aangezien het dieselgebruik gereduceerd wordt. Daarom werd in deze scenario-analyse onderzocht hoe dit biogas verder gevaloriseerd kan worden door gebruik ervan in een biogastractor. Algemeen kan geconcludeerd worden dat een biogastractor een interessante denkpiste is, maar dat er nog veel verder onderzoek vereist is. Bovendien is het kostenplaatje op dit moment ook nog niet volledig rond. Een volledig energie-onafhankelijk landbouwbedrijf behoort praktisch gezien wel zeker tot de mogelijkheden. Echter dient er voldaan te worden aan de volgende voorwaarden vooraleer het ook effectief op de markt zou kunnen komen:

- Er moet voldoende vermogen beschikbaar zijn om de tractor aan te drijven. Dit zou zeker bij zware veldwerken een probleem kunnen geven als men beschikt over een pocketvergister van slechts 10 kW. 10 kW staat namelijk slechts gelijk aan 14 pk.
- De autonomie moet voldoende lang zijn om vlot werken uit te kunnen voeren zonder dat er continu getankt moet worden.

⁶ Het juridische rapport kan worden nagelezen in Bijlage 4: Juridisch rapport.

⁷ Het volledige rapport kan geraadpleegd worden via Bijlage 5: Biogastractor.

- Het lijkt bovendien beter om een constant verbruik te hebben aangezien een pocketvergister ook constant produceert. Hierdoor wordt het moeilijk om zaai- en oogstwerken uit te voeren aangezien dit om piekperiodes gaat. Voor constante verbruiken (zoals bijvoorbeeld wielladers of voedermixwagens) lijkt er meer potentieel te zijn.

3.2. MAXIMALE VALORISATIE VRIJGEKOMEN WARMTE

Extra valorisatie van energie is ook mogelijk door alle vrijgekomen warmte nuttig te gaan gebruiken. Dit kan de kostprijs van anders benodigde brandstof aanzienlijk doen dalen, waardoor het valoriseren van deze warmte dus zeker interessant is. Na feedback van de Gebruikersgroep werd deze studie wat kleiner opgevat dan initieel het geval was. Desalniettemin werd een rapport opgesteld dat oplijst hoe deze warmte best gebruikt kan worden en welke kostenbesparing dit met zich kan meebrengen.⁸

Op varkensbedrijven kan de geproduceerde warmte van een pocketvergister aangewend worden voor volgende mogelijkheden:

- Warm water voor het wassen van zeugen of reinigen van de stal
- Warmtebenutting voor stallenverwarming
- Toepassingen voor hygiënisatie op het bedrijf (zowel voedingswaren als mestproducten)
- Agrarische droogtoepassingen
- Grondverwarming voor de kraamstallen
- Innovaties bij brijvoerbereiding (verhitting voor verhoogde ontsluiting voedingswaarde)

Op groentebedrijven daarentegen kan deze vrijgekomen warmte benut worden door volgende activiteiten:

- Warm water voor was- en spoelactiviteiten van groenten
- Toepassingen voor hygiënisatie van voedingswaren op het bedrijf
- Agrarische droogtoepassingen
- Grondverwarming (bv. teeltvervroeging bij asperges)
- Verwarming voor ruimtes of serres
- Innovaties bij brijvoerbereiding (verhitting voor verhoogde ontsluiting voedingswaarde)

⁸ Het volledige rapport kan geraadpleegd worden via Bijlage 6: Warmtestudie.

4. Sector scan

De mogelijke toepassing van pocketvergisting van verschillende landbouwreststromen, en dus binnen verschillende agrarische subsectoren, is momenteel onvoldoende gekend. Een wiskundig programmeermodel werd dan ook opgesteld en toegepast om, op basis van de mogelijke winst op de vergisteractiviteit, de agrarische subsectoren met economisch potentieel voor pocketvergisting te identificeren en een inschatting te maken van het aantal bedrijven dat voordeel uit deze technologie zouden kunnen halen. De gebruikte steekproef, dewelke gebaseerd is op de boekhouddataset van Boerenbond, bevatte gegevens van 1172 unieke Vlaamse landbouwbedrijven van verschillende agrarische subsectoren over meerdere jaren, resulterend in 4315 datapunten. Het model maximaliseerde de winst van deze landbouwbedrijven door de optimale vergistermix per bedrijf te bepalen, rekening houdend met de beschikbare landbouwreststromen en de te verwachten inkomsten en kosten gerelateerd aan (vergisting van) deze reststromen. Als het landbouwbedrijf winst kon maken op de vergisteractiviteit, werd het verondersteld potentieel te hebben voor pocketvergisting. Enkele praktische scenario's werden onderzocht om mogelijke knelpunten en kansen voor toekomstige marktuitbreiding te identificeren. Deze scenario's gingen na in welke mate een scheidingsstap, een verandering in de vergisterverblijftijd of een wijziging in zelfconsumptie het economisch potentieel zal beïnvloeden.

Verschiede agrarische subsectoren bleken economisch potentieel te hebben voor pocketvergisting, hoofdzakelijk die met een groot aandeel dieren (varkens, rundvee,...). Het potentieel van agrarische subsectoren die overwegend afhankelijk waren van groenteresten als vergisterinput was laag. Er werd winst gemaakt op de vergisteractiviteit wanneer de elektriciteitsvraag van het landbouwbedrijf voldoende hoog was, wanneer voldoende reststromen beschikbaar waren om schaalvoordelen op bedrijfsniveau te kunnen benutten en voordeel te kunnen halen uit de huidige subsidies voor hernieuwbare energieproductie, en/of wanneer de extra kosten voor voorbehandeling van landbouwreststromen of nabehandeling van digestaat beperkt bleven.

Varkensbedrijven bleken het meeste potentieel te hebben voor pocketvergisting, zelfs wanneer een (noodzakelijke) scheidingsstap werd verondersteld met oog op stabiele vergisting. Bovendien wezen de onderzochte scenario's op het belang van schaalvoordelen op bedrijfsniveau en de huidige ondersteunende regeling voor hernieuwbare energieproductie. Het potentieel voor pocketvergisting nam immers toe over de jaren heen door toename van de bedrijfsomvang, en dus van de hoeveelheid landbouwreststromen per bedrijf, als gevolg van schaalvergroting van de bedrijfsactiviteiten. Verder bleek de voortzetting van subsidies cruciaal om een toekomst voor pocketvergisting te kunnen blijven garanderen.

Meer details van deze analyse werden beschreven in het doctoraat van Tine Vergote (Hoofdstuk 4)⁹. Dit hoofdstuk werd ook ingediend als artikel ter publicatie in het wetenschappelijk tijdschrift *Agricultural Systems* en doorloopt momenteel de publicatieprocedure.

⁹ Farm-scale anaerobic digestion of agricultural waste as potential greenhouse gas abatement measure. PhD thesis, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Ghent, Belgium.

5. Varkenssector

Beperkte opslag van varkensdrijfmest door vergisting zou, gezien zijn aandeel in het broeikaseffect van de landbouw (Figuur 2), sterk kunnen bijdragen aan emissiereductie. Uit de sectorscan blijkt ook dat de varkenssector een groot potentieel vertoont om pocketvergisting te integreren. Omschakeling van mono-vergisting van runderdrijfmest naar mono-vergisting van varkensmest klinkt als een kleine verandering. Echter, door enkele belangrijke verschillen tussen vergisting van runderdrijfmest en varkensmest, blijkt dit toch niet zo evident te zijn. Varkensmest is bijvoorbeeld rijk aan stikstof, waardoor het risico op ammoniakinhibitie toeneemt (Chen et al., 2008, Hashimoto, 1983). Bovendien kan het veel zwavelhoudende componenten bevatten, afhankelijk van het voederrantsoen van het varken (Chen et al., 2008, Trabue et al., 2019), en is het gevoelig voor schuimvorming (Lindorfer et al., 2016), allemaal factoren die de stabiliteit en de efficiëntie van het vergistingsproces kunnen beïnvloeden. Via onderzoek werden enkele mogelijkheden en knelpunten met betrekking tot varkensmestvergisting blootgelegd.

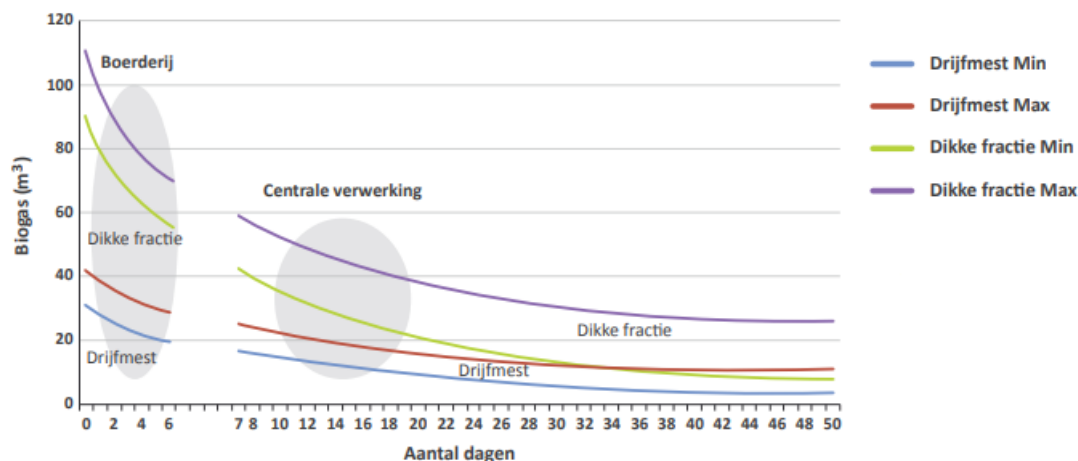
5.1. SECTOR SCAN

Gemiddeld gezien bleek 62% van de varkensbedrijven in de steekproef economisch potentieel te hebben voor pocketvergisting. Deze waarde geldt voor het referentiescenario waar stabiele vergisting van (varkensdrijf)mest werd verondersteld alsook een vergisterverblijftijd van 30 dagen en 100% zelfconsumptie (= er wordt op elk moment in de elektriciteitsvraag van het landbouwbedrijf voorzien, indien de elektriciteitsproductie door vergisting hoger is dan de elektriciteitsvraag). De varkenssector bleek de agrarische subsector te zijn met het meeste potentieel voor deze technologie. Indien scheiding aan de bron werd verondersteld, om zo stabiele vergisting mogelijk te maken, bleef het economisch potentieel hoog, namelijk 44% van de varkensbedrijven konden winst maken op de vergisteractiviteit.

Maar wat betekent dit nu naar het aantal pocketvergisters toe die zouden kunnen verwacht worden op varkensbedrijven in de toekomst? Voor die ruwe berekening werd gebruik gemaakt van het gesimuleerd potentieel dat het best aansloot bij de toekomstige praktijksituatie, het aantal varkensbedrijven in Vlaanderen in 2018 en de huidige implementatiegraad van pocketvergisting in de melkveesector. Deze zaken in acht nemend, komt dit op zo'n 110 vergisters. Dit potentieel zal vermoedelijk niet direct worden benut, aangezien niet elke varkensbedrijf toe is aan een bepaalde herinvestering. Echter, het toont wel het niet te onderschatten potentieel binnen de varkenssector.

5.2. VERGISTINGSTECHNISCHE ASPECTEN

Zo vers mogelijke aanvoer van mest naar een vergistingsinstallatie is cruciaal voor een maximalisatie van het biogaspotentieel en een minimalisatie van ammoniak- en broeikasgasemissies zoals methaan (CH_4) en lachgas (N_2O). De broeikasgassen CH_4 en N_2O hebben een CO_2 -equivalent van respectievelijk 25 en 298 (Klimaat, No date) en dienen dus vermeden te worden. Momenteel is het zo dat in de meeste bestaande stalsystemen de mest gedurende een langere tijd in de mestopslag wordt gestockeerd. Uit onderzoek (de Buisonjé and Verheijen, 2014, Voncken, 2014) blijkt echter dat het biogaspotentieel van drijfmest vooral in de eerste dagen na uitscheiding sterk daalt, terwijl daaraan gekoppeld de BKG-emissies op dat ogenblik hoog zijn (Figuur 4). Bovendien heeft de dikke fractie een significant hoger biogaspotentieel (m^3 biogas/ton mest) dan varkensdrijfmest.



Figuur 4: Afname van het biogaspotentieel van varkensmest in functie van de ouderdom (Voncken, 2014).

5.2.1. Aangepast stalsysteem

Het is zaak om in het ontwerp van de stallenbouw voldoende aandacht te schenken aan minimale emissies en een maximaal biogaspotentieel, bijvoorbeeld door frequente afvoer of stabilisatie van de mest. Om hier meer inzicht in te verkrijgen werd in een eerste fase een literatuurstudie¹⁰ uitgewerkt waarin onderzocht wordt wat de impact van diverse factoren is op het biogaspotentieel en BKG- en NH₃-emissies. Hierin werden enkele van de momenteel meest voorkomende stalsystemen beschreven. Bij het formuleren van adviezen naar landbouwers toe op vlak van stalontwerp en -aanpassing is het namelijk van belang om van de juiste Ausgangssituatie uit te gaan. Daarnaast is het ook belangrijk rekening te houden met eventuele uitbreidingsplannen en het al dan niet aanwezig zijn van voldoende opslagcapaciteit. Uit deze literatuurstudie bleek dat er een aantal scenario's zijn die interessant kunnen zijn naar emissiereductie en biogaspotentieel toe (Tabel 1).

Tabel 1: Impact van diverse brongerichte maatregelen op emissiereductie (ingeschat voor vleesvarkens), op het stalklimaat (++: erg positieve impact; +: positieve impact; +/-: neutraal; -: negatieve impact; --: erg negatieve impact). Ook de mate van renovatie van bestaande stallen wordt ingeschat (Geen = geen verbouwkosten; Klein = geringe verbouwkosten; Middel = middelgrote verbouwkosten; Groot = grote verbouwkosten (vraag moet gesteld worden of nieuwbouw niet voordeliger is)). Combinaties van meerdere maatregelen zijn ook mogelijk om de emissiereductie te versterken (Aarnink et al., 2019).

Brongerichte maatregel	NH ₃ -red.	Geurredd.	CH ₄ -red.	Stalklimaat	Mate van renovatie
Mestschuif over gecoate vlakke/hellende vloer	60%	60%	90%	++	Groot
Mestbanden van polyethyleen of polypropyleen	60%	60%	90%	++	Groot
Mestpannen met schuine wanden; wekelijks mest verwijderen	40%	40%	80%	+	Groot
Foliepannen (continue mestverwijdering; 1x/dag sproeien met water en biocide)	50%	60%	90%	++	Groot
Opvang en spoelen met ammoniakvrije en geurarme vloeistof	65%	60%	90%	++	Middel

¹⁰ De volledige literatuurstudie kan geraadpleegd worden via Bijlage 7: Literatuurstudie stallenbouw.

Opvang en spoelen met zure vloeistof	65%	20%	90%	++	Middel
Opvang en spoelen met formaldehyde behandelde mestvloeistof	65%	20%	90%	++	Middel
Dagontmesting door spoelen met verse mest; verkleining emitterend oppervlak (67%); koeling (< 15°C)	60%	50%	90%	++	Groot
Aanzuren van mest (pH<6 ; Deens systeem)	70%	0%	90%	++	Middel
Verkleining emitterend oppervlak					
Water- en mestkanaal	35%	20%	20%	+	Klein
Schuine wanden in mestkanaal, eventueel in combinatie met waterkanaal	50%	25%	20%	+	Middel
Koelen van mest					
Alleen oppervlakte mest	55%	20%	20%	+	Middel
Volledige mest	55%	30%	20%	+	Middel
Oppervlaktebehandeling mest					
Olielaag	55%	50%	0%	++	Klein
Beluchting mest					
Bellenbeluchting mest	40%	20%	20%	+	Klein
Voermaatregelen					
Laag eiwitgehalte (verlaging met 25 g/kg); optimaal aminozurenpatroon	25%	30%	0%	+	Geen
Verzurende voeders; benzoëzuur	15%	0%	0%	+	Geen
Zeer goed verteerbare voeders met laag eiwitgehalte en optimaal aminozuren patroon	25%	40%	50%	+	Geen
Verdunnen van mest					
Opvang mest in water i.c.m. mestscheiding (dunne fractie eigen grond of zuiveren en hergebruiken)	55%	20%	30%	++	Middel
Schone vloeren					
Coaten vloeren en wanden	5%	5%	0%	+	Klein
Goed doorlatende metalen roosters	20%	20%	0%	+	Middel
Goede klimatisering en hokinrichting	20%	20%	0%	+	Middel
Watersproeien op roostervloer tijdens activiteitperiodes	20%	10%	0%	++	Middel

Uiteindelijk werden op basis van deze literatuurstudie en na diverse individuele brainstormsessies met experts op vlak van stallenbouw een aantal scenario's beschreven die maximaal kunnen voldoen aan

de randvoorwaarden voor een pocketvergister, welke economisch werden doorgerekend door Yzersterk bvba¹¹. De belangrijkste conclusies worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 1: Meerkost van diverse **nieuwbouwconcepten** voor verse mestafvoer ten opzichte van een referentiestal zonder verse mestafvoer. Alle scenario's zijn incl. externe opslag digestaat (en dunne fractie van mest waar van toepassing). ^aScenario's uitgaande van geen luchtwasser: €35/MVplaats uitgespaard, opgelet enkel VeDoWS is hier reeds erkend als AEA. (*) Niet verder bekeken wegens niet beloftevol.

Meerkost t.o.v. referentie (€/MV _{plaats})	1680 MV _{plaats}	2520 MV _{plaats}
Transportband	222 ^a	168 ^a
Mestschuiven		
• Vedows	83 ^a	81 ^a
• 'Akivar 2.0'	81 ^a	68 ^a
• Kelderloos	53 ^a	38 ^a
• Kelderloos, niet gescheiden	62	49
Mestrobot	82	84

Tabel 2: Kost van diverse **verbouwconcepten** voor verse mestafvoer. Alle scenario's zijn incl. externe opslag van digestaat (en waar van toepassing dunne fractie van mest) en excl. leegstand. (*) Niet verder bekeken wegens niet beloftevol.

Meerkost t.o.v. referentie (€/MV _{plaats})	1680 MV _{plaats}	2520 MV _{plaats}
Transportband	Niet evident	Niet evident
Mestschuiven		
• Vedows	Niet evident	Niet evident
• 'Akivar 2.0'	Niet evident	Niet evident
• Kelderloos	Niet evident	Niet evident

¹¹ Het volledige rapport kan geraadpleegd worden via Bijlage 8: Economische doorrekening aangepast stalsysteem.

• Kelderloos, niet gescheiden	254	Niet evident
Mestrobot	98	96

5.2.2. Labotesten

Als eerste screening werden vergistingstesten uitgevoerd met uitsluitend de fecale fractie van varkensmest, en dit in semi-pilootschaal continu geroerde tankreactoren, ter beschikking gesteld door het biogaslabo Innolab. Deze fecale fractie werd verkregen via een VeDoWS-varkensstalconstructie dewelke bronscheiding, d.w.z. primaire scheiding van vers uitgescheiden mest in een fecale en urinefractie, mogelijk maakt met oog op het verminderen van ammoniakemissies. De stabiliteit van varkensmestvergisting werd nagegaan in zowel het mesofiele (32–42 °C) als thermofiele (48-55 °C) temperatuursregime, om te achterhalen onder welke omstandigheden deze het meest gunstig is. Onder thermofiele condities werden uiteindelijk de beste resultaten bekomen. Meer specifiek bleek het digestaat minder viskeus te zijn, wat resulteerde in een betere ontgassing en het risico op schuimvorming verlaagde (Stuer et al., 2018). Ondanks dat mesofiele vergisting voornamelijk wordt toegepast in Vlaanderen op kleine schaal, werd dus voor het thermofiele pad gekozen voor verdere testen. Thermofiele vergisting kan immers nog enkele bijkomende voordelen opleveren ten opzichte van mesofiele vergisting wanneer een stabiel proces kan worden verzekerd. Onder thermofiele omstandigheden zal een verhoogde microbiële groeisnelheid worden bekomen en dus een versnelde energieopwekking, evenals een verbeterde verteerbaarheid (Seadi et al., 2008), wat belangrijk is voor reststromen zoals mest, dewelke voornamelijk bestaan uit moeilijk biologisch afbreekbare verbindingen (Vavilin et al., 1996).

Tijdens de tweede testronde werden opnieuw mono-vergistingsexperimenten uitgevoerd in semi-pilootschaal continu geroerde tankreactoren met als doel de processtabiliteit van varkensmestvergisting verder te onderzoeken. Zowel verse vloeibare varkensmest (drijfmest), dewelke voorhanden is op standaard varkensbedrijven, als de verse fecale fractie werden thermofiel vergist. Het effect van scheiding op de processtabiliteit werd onderzocht door thermofiele mono-vergisting van verse drijfmest (niet-gescheiden) en van de verse fecale fractie (gescheiden) te vergelijken. Daarnaast werd het effect van een thermische voorbehandeling, bij 70 °C voor een uur, op de processtabiliteit onderzocht. De insteek was dat door deze thermische voorbehandeling bepaalde schuimvormers, zoals eiwitten, en andere (inhiberende) componenten al omgezet kunnen worden voor het vergistingsproces, waardoor het risico op instabiliteit tijdens vergisting zou kunnen beperkt worden. Merk op dat de voorgestelde voorbehandeling ook pasteurisatie garandeert, waardoor export van digestaat mogelijk wordt (Europese Commissie, 2009b).

Varkensdrijfmest bleek niet geschikt voor thermofiele mono-vergisting omdat te hoge concentraties aan ammoniak en zwavelhoudende componenten resulteerden in een onstabiel vergistingsproces. Een thermische voorbehandeling verbeterde deze stabiliteit niet. De fecale fractie had op massabasis een hoger energiegehalte dan varkensdrijfmest, omdat de energiearme urinefractie gedeeltelijk werd verwijderd. Bovendien was thermofiele mono-vergisting van deze fecale fractie stabiel, mits voldoende tijd voor vergisting. Zwavelhoudende componenten leken de belangrijkste oorzaak van instabiliteit, aangezien de H₂S-concentratie in het biogas veel lager was bij mono-vergisting van de fecale fractie dan van de drijfmest. De vergistingsstabiliteit van de fecale fractie verbeterde verder door een thermische voorbehandeling, hoewel een invloed leek op te treden van het (organische) drogestofgehalte. Samengevat bleek scheiding (aan de bron), eventueel gevolgd door een thermische behandeling, een veelbelovende strategie met oog op stabiele thermofiele mono-vergisting van varkensmest.

De experimenten van de tweede testronde worden meer in detail besproken in het wetenschappelijk artikel dat hieromtrent werd gepubliceerd in *Frontiers in Energy Research*¹².

5.2.3. Piloottest

Vergistingstesten op pilotschaal kunnen een ander beeld en resultaten geven van de haalbaarheid van vergisting dan vergistingstesten op laboschaal. Vergisting is namelijk een zeer complex proces dat van vele verschillende factoren afhankelijk is. Daarom werd geopteerd om ook een piloottest uit te voeren binnen het project¹³.

De aanpak van deze vergistingstest op pilotschaal bestond uit verschillende onderdelen. Er werd geopteerd voor een piloot-vergistingstest om te bekijken tot welk meest gunstig vergistingsscenario in de praktijk kan gekomen worden mits sturing in de verhouding VeDoWS- vs. varkensdrijfmest, aanpassing van de verblijftijd en vooral gerichte menging. De installatie is een klassieke CSTR-reactor (200 m³ met een gevuld volume van circa 150 m³) die wordt aangestuurd door Inagro in het mesofiele temperatuurgebied (38 °C). De mixer (11 kW) gaat zijwaarts in de vergister. De test werd gedurende 2 verblijftijden aangehouden en liep gedurende het eerste kwartaal van 2020.

Het vergistingsproces verloopt zo optimaal mogelijk wanneer procesparameters zo stabiel mogelijk worden gehouden. Daarom werden heel wat analyses uitgevoerd om te kijken waar er variatie optrad. Micro-organismen kunnen zich wel aanpassen aan nieuwe omgevingsfactoren, maar dit gebeurt slechts geleidelijk. Daarom is het belangrijk de verschillende procesparameters zoals pH, droge stofgehalte, organische belasting, temperatuur, ... zo stabiel mogelijk te houden.

Na twee verblijftijden mono-vergisting van varkensmest in de pilootinstallatie van Inagro kan geconcludeerd worden dat het vergisten van varkensmest stabiel lijkt te kunnen gebeuren. Hierbij is het echter belangrijk het proces goed op te volgen en gericht te gaan mengen. Op die manier kan schuimvorming onder controle gehouden worden. Het digestaat bleek wel nog een vrij hoog uitgistingspotentieel te hebben, wat impliceert dat de verblijftijd verlengd dient te worden onder mesofiele omstandigheden. Dit werd bevestigd via een BMP-test van de VeDoWS-mest, waaruit bleek dat slechts na 45 dagen het volledige biogaspotentieel benut was. Echter, aangezien na 10 dagen reeds zo'n 70% van het biogaspotentieel was benut, zou het mogelijks economisch interessanter kunnen zijn om een kortere verblijftijd te hanteren, of digestaat terug te sturen naar de reactor om zo dit restpotentieel ook te benutten. Verder onderzoek is vereist om de haalbaarheid hiervan na te gaan.

Het doel van deze test was in de eerste plaats om te kijken of het vergistingsproces van varkensmest stabiel kan verlopen. Wanneer echter vanuit economisch oogpunt gekeken wordt, is het belangrijk te zoeken naar een economisch optimum om zo veel mogelijk energie te produceren in een zo kort mogelijke tijd, met de nodige aandacht om broeikasgasemissies zo veel mogelijk te reduceren. Daarom kan het mogelijks interessant zijn om in vervolgonderzoek het effect van een kortere verblijftijd te testen, specifiek voor VeDoWS-mest. Hierbij dienen alle besproken parameters nauwkeurig opgevolgd te worden én dienen broeikasgasemissies gemonitord te worden.

Ondanks niet-ideale procesparameters (te lage temperatuur, probleempjes bij afpompen digestaat, schommelende C/N-verhouding), kan algemeen geconcludeerd worden dat mono-vergisting van

¹² Vergote T.L.I., De Dobbelaere A.E.J., Willems B., Leenknecht J., Buysse J., Volcke E.I.P., Meers E. (2020). Stability of thermophilic pig manure mono-digestion: effect of thermal pre-treatment and separation. *Front. Energy Res.* 8:40, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00040>.

¹³ Het volledige rapport kan geraadpleegd worden via Bijlage 9: Piloottest monovergisting varkensmest.

varkensmest vergistingstechnisch stabiel te krijgen is binnen de pilootinstallatie van Inagro. Ook de actieve installatie op het varkensbedrijf Akivar bevestigt dit.

5.3. BLAUWDRIUK

Op basis van de in voorgaande hoofdstukken verzamelde informatie werd een flowchart (Figuur 5) opgesteld. Dit dient als basis voor een blauwdruk uitgewerkt door het Vlaamse bedrijf Bioelectric, constructeur van kleinschalige biogasinstallaties. Deze blauwdruk bestaat uit een bouwschema, een mogelijke kostprijsberekening en bijhorende inschatting van de rendabiliteit bij de plaatsing van een kleinschalige vergister op een standaard varkensbedrijf. De blauwdruk is zo algemeen mogelijk weergegeven zodat deze ruimte laat voor verdere toepassing en ontwikkeling.

5.3.1. Aannames

Voor de uitwerking van de businesscase werd uitgegaan van een aantal aannames, die gebaseerd zijn op cijfers verzameld doorheen het project en na afstemming met Bioelectric:

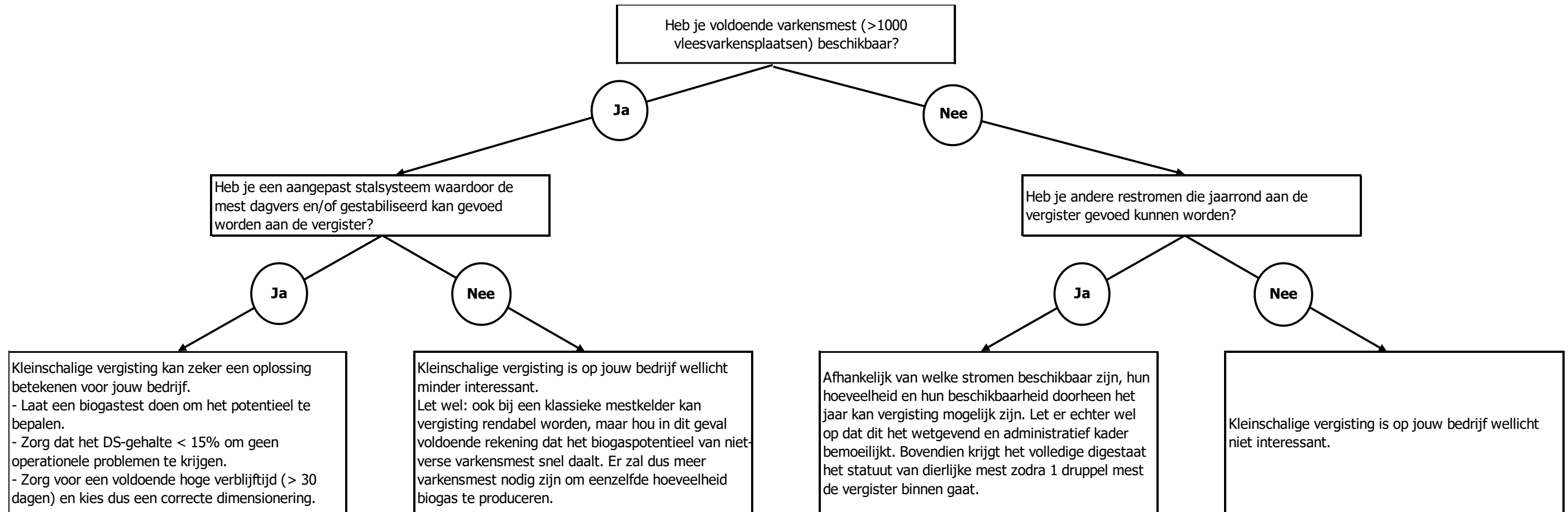
- Bedrijf: 1500 vleesvarkens die huizen in een VeDoWS-systeem en waarvan de mest dus vers verzameld kan worden, en 1500 vleesvarkens waarvan de mest niet primair gescheiden wordt en ook niet dagvers aangeleverd kan worden. Er werd geopteerd om te vertrekken van een mix tussen VeDoWS mest en gewone drijfmest, naar analogie van de vergistingstest die op pilotschaal doorging in de biogasinstallatie van Inagro. De verpompbaarheid van varkensmest daalt namelijk naarmate het droge stofgehalte stijgt. Echter is verder onderzoek over het voeren van varkensmest vereist, aangezien het op langere termijn niet de bedoeling kan zijn om oudere mest (met dus een lager biogaspotentieel) te gaan vergisten.
- Biogaspotentieel¹⁴
 - VeDoWS-mest: 110 m³ biogas/ton mest
 - Varkensdrijfmest: 25 m³ biogas/ton mest
- Beschikbare hoeveelheid mest:
 - VeDoWS: 1/3^{de} ton per varken per jaar¹⁵
 - Varkensdrijfmest: 1 ton per varken per jaar¹⁶
- Elektriciteitsverbruik bedrijf: 110.000 kWh/jaar, met een aankooprij van 0,21 €/kWh¹⁷

¹⁴ Cijfers bekomen via vergistingstesten binnen Pocket Power (cfr. Bijlage 9: Piloottest monovergisting varkensmest), ervan uitgaande dat de varkensdrijfmest niet vers kan aangeleverd worden.

¹⁵ Informatie verkregen van een landbouwer met een VeDoWS-stal.

¹⁶ Inschatting Bioelectric

¹⁷ Inschatting Bioelectric op basis van facturen >10 Vlaamse varkenshouders.



Figuur 5: Beslissingsboom of kleinschalige vergisting interessant kan zijn op jouw varkensbedrijf.

5.3.2. Resultaten

Voor de doorgerekende businesscases en technische tekeningen van Bioelectric wordt verwezen naar Bijlage 10: Technische tekening en business case varkens- en preibedrijf.

Uitbreiding van kleinschalige vergisting naar de varkenssector lijkt een realistisch scenario te zijn (cfr sector scan). Wanneer er voldoende energierijke varkensmest voorhanden is (door bv. scheiding aan de bron), kan het economisch plaatje van dergelijke varkensbedrijven er ook positief uitzien, wat ook wordt geïllustreerd in de doorgerekende business case van Bioelectric. Belangrijk hierbij is dat de mest zo vers mogelijk moet ingezameld kunnen worden om de biogasopbrengst te maximaliseren. Een aangepast stalsysteem is hierbij dus wel van cruciaal belang, met als aandachtspunt dat het geheel verpompbaar moet blijven. Daarom zou Bioelectric werken met een voormengput om de dikke fractie van varkensmest op voorhand te mengen met varkenschrijfmest. In de pilootinstallatie van Inagro werd namelijk reeds opgemerkt dat een combinatie van VeDoWS-mest en varkenschrijfmest stabiel te krijgen is. Ook zou er in de reactor zelf nog een extra mixer voorzien worden voor bijkomende menging, aangezien uit de monovergistingstest van varkensmest die doorging op Inagro blijkt dat een goede menging erg belangrijk is.



6. Preisector

Groenteresten zijn op heel wat landbouwbedrijven beschikbaar. De vaak stikstofrijke resten vormen een verhoogd risico op stikstofverliezen en broeikasgasemissies. Bovendien kan de opslag ervan geurhinder veroorzaken. Het is dus beter om die agrarische reststromen te verwijderen van het veld. Dergelijke stromen hergebruiken kan helpen om nutriëntenkringlopen te sluiten. Kleinschalige vergisting kan daar een belangrijke rol in spelen, door groene energie te produceren, het geurprobleem op te lossen en het digestaat makkelijker af te kunnen zetten. Vanuit logistiek standpunt is dit echter niet zo evident: kleinschalige mono-vergisting van groenteresten vereist een andere aanpak dan bij mest, terwijl co-vergisting extra administratie met zich meebrengt. Bovendien zijn reststromen niet altijd jaarrond beschikbaar, moeten ze vlot verzameld kunnen worden en kunnen eventuele onzuiverheden de biogasproductie in de weg staan. Deze uitdagingen vergen vaak bijkomende investeringen, wat maakt dat kleinschalige vergisting op dergelijke bedrijven nog niet voorkomt. Pocket Power probeerde de knelpunten zo goed mogelijk in beeld te brengen, zodat ook deze sector kan genieten van de voordelen van kleinschalige vergisting.

6.1. SECTOR SCAN

De sector scan liet een laag potentieel noteren voor agrarische subsectoren die voornamelijk afhankelijk zijn van groenteresten als vergisterinput. Immers, de opbrengst gerelateerd aan vergisting van groenteresten is eerder laag door hun vaak seizoensgebonden en dus niet-continue beschikbaarheid, terwijl kosten voor het verzamelen, wassen en verkleinen van groenteresten alsook het verwerken van het digestaat vaak hoog oplopen. Echter, rendabele mono-vergisting zou mogelijk kunnen zijn als een aanzienlijke hoeveelheid groenteresten direct en continu beschikbaar is op het landbouwbedrijf, iets wat op dit moment atypisch is in Vlaanderen. Deze mogelijkheid wordt ook bevestigd door het uienchilbedrijf Ongena, dat recent een pocketvergister op uienchillen implementeerde.

6.2. VERGISTINGSTECHNISCHE ASPECTEN

Om zicht te krijgen op het belang en op de mogelijkheden die er zijn om prei te gaan vergisten werd in eerste fase een literatuurstudie uitgewerkt¹⁸. Vervolgens werden verschillende testen uitgevoerd om de haalbaarheid van deze vergisting in de praktijk na te gaan. Hierbij werden ook de verschillende logistieke uitdagingen onder de loep genomen.

6.2.1. Labotesten

Een mesofiele vergistingstest met preiresten werd uitgevoerd in semi-pilootschaal continu geroerde tankreactoren, ter beschikking gesteld door het biogaslabo Innolab. De preiresten werden voorafgaand aan het vergistingsproces vermalen door middel van een shredder.

Het vergisten van preiresten verliep vlot. Een vrijwel direct stabiel proces werd verkregen zonder enig teken van verstoring. Verder werden veelbelovende resultaten bekomen met betrekking tot het rendement van het biogaspotentieel, de biogasproductie ten opzichte van de toegevoegde hoeveelheid organisch droge stof en de samenstelling van het biogas.

¹⁸ De volledige literatuurstudie kan geraadpleegd worden via Bijlage 11: Literatuurstudie vergisting preiresten.

De grootste bottleneck in dit proces blijkt de vorming van een zandlaag. Verwijderingsmogelijkheden zullen dus moeten bekeken worden. Verder blijft aandacht voor de vermindering van geurhinder ook belangrijk (Stuer et al., 2018).

6.2.2. Verkleining

Vanwege de lange vezels in preiresten, is er een grotere kans dat er een drijfslag gevormd zal worden binnenin de reactor. Dit betekent minder contactoppervlak beschikbaar voor de micro-organismen en aldus een verlaagde biogasproductie. Het verkleinen van de preiresten, alvorens deze in de biogasinstallatie te brengen, vermindert de kans op vorming van een drijfslag en leidt tot een hogere biogasproductie (Rohstoffe eV, 2010). Maar ook wanneer er andere groenteresten vergist worden, zal een verkleiningsstap bijdragen aan het verhogen van de biogasproductie. Er bestaan verschillende types toestellen om verscheidene organische materialen te gaan verkleinen. Dit rapport¹⁹ vat verschillende types samen en lijst de voor- en nadelen op voor de verkleining van niet alleen preiresten, maar ook andere organische reststromen.

Op basis van de vergelijkingscriteria en de testen die met enkele installaties werden uitgevoerd, kunnen er enkele verkleiners in het algemeen worden aanbevolen. Maar zeker ook voor het verkleinen van preiresten kunnen volgende installaties gebruikt worden:

- Hakselaars zijn relatief goedkoop en kunnen bepaalde biomassa, waaronder preiresten, geschikt verkleinen. Het is echter aangeraden vooraf uit te testen of de installatie de gewenste biomassa voldoende verkleint. Ook is het aan te raden om bij deze types op te letten voor vreemde voorwerpen.
- Een hamermolen voert de verkleining voor de meeste stromen goed uit, maar er wordt aangeraden op te letten met vreemde voorwerpen.
- Shredders worden al snel duur, maar zijn dan meer all-round, kwalitatiever en meer bestand tegen vreemde voorwerpen. De X-ripper verkleint voor een hogere, maar haalbare prijs (€ 20.000) de meeste agrarische reststromen.

6.2.3. Verwijderen onzuiverheden

Vergistingstesten uitgevoerd in het project wijzen erop dat het vergisten van preiresten vergistingstechnisch gezien stabiel lukt (Subsectie 6.2.1). Er wordt echter wel opgemerkt dat er bij preiresten (en andere plantaardige reststromen) vaak resten aarde en/of zand aanwezig zijn. Daarom werd in een rapport²⁰ beschreven hoe onzuiverheden het best kunnen aangepakt worden. Testen toonden aan dat er 50 tot 80% asrest kan zijn op de droge stof bij preiresten, afhankelijk van de batch. Indien zand niet verwijderd wordt, kan dit gaan bezinken in de vergistingsreactor (Amon et al., 2016). Hierdoor wordt na verloop van tijd het actief volume van de reactor kleiner en daalt de verblijftijd en aldus het rendement. Bovendien kan dit zand ook een negatieve invloed hebben op het vergistingsproces. Hoe "vuiler" de reststroom, hoe lager het methaanpotentieel. Daarnaast zal er bv. meer gemixt moeten worden. Hierdoor wordt het eigen verbruik van de installatie hoger en het rendement lager.

Indien er reeds voorzieningen aanwezig zouden zijn om preiresten vooraf te kunnen wassen, kan hiervan gebruik gemaakt worden zonder al te veel extra kosten, of mits kleine aanpassingen. Gezien de huidige waterproblematiek lijkt het nieuw aankopen van wasinstallaties waarvoor water nodig is echter

¹⁹ Het volledige rapport kan geraadpleegd worden via Bijlage 12: Verkleinen groenteresten.

²⁰ Het volledige rapport kan geraadpleegd worden via Bijlage 13: Zandverwijdering bij prei.

niet de beste oplossing. Een bezinkbekken is de goedkoopste oplossing van de onderzochte scenario's (in vergelijking met het wassen en interne verwijdering), maar lost de problematiek mogelijks niet volledig op. Het kan zijn dat zand, weliswaar in mindere mate, toch nog in de vergister terecht komt, en na verloop van tijd de vergister toch moet geleidigd worden. Het gebruik van een grondschraper of conische bodem zou een heel drastische wijziging van de kleinschalige vergistingsinstallaties in België met zich meebrengen. De meerprijs die dit vraagt, zorgt ervoor dat deze installaties niet meer rendabel zouden zijn. De beste en goedkoopste oplossing lijkt niets te doen. Hou er dan rekening mee dat de installatie om de zoveel jaar wordt geopend, gekuist en opnieuw gevuld.

In het volledige rapport kan er meer info teruggevonden worden over de verschillende mogelijke oplossingsscenario's en hun kostenplaatje.

6.2.4. Opslag

Groenteresten zijn zeer seizoensgebonden waardoor ze niet continu beschikbaar zijn als input voor de vergister. Om de continue werking van een vergister op groenteresten te kunnen garanderen, is langdurige opslag dus noodzakelijk. Opdat opgeslagen groenteresten bruikbaar zouden blijven voor vergisting, moet zoveel mogelijk van het oorspronkelijke biogaspotentieel behouden blijven tijdens opslag. Decompositie van de oogstresten moet dus vermeden worden.

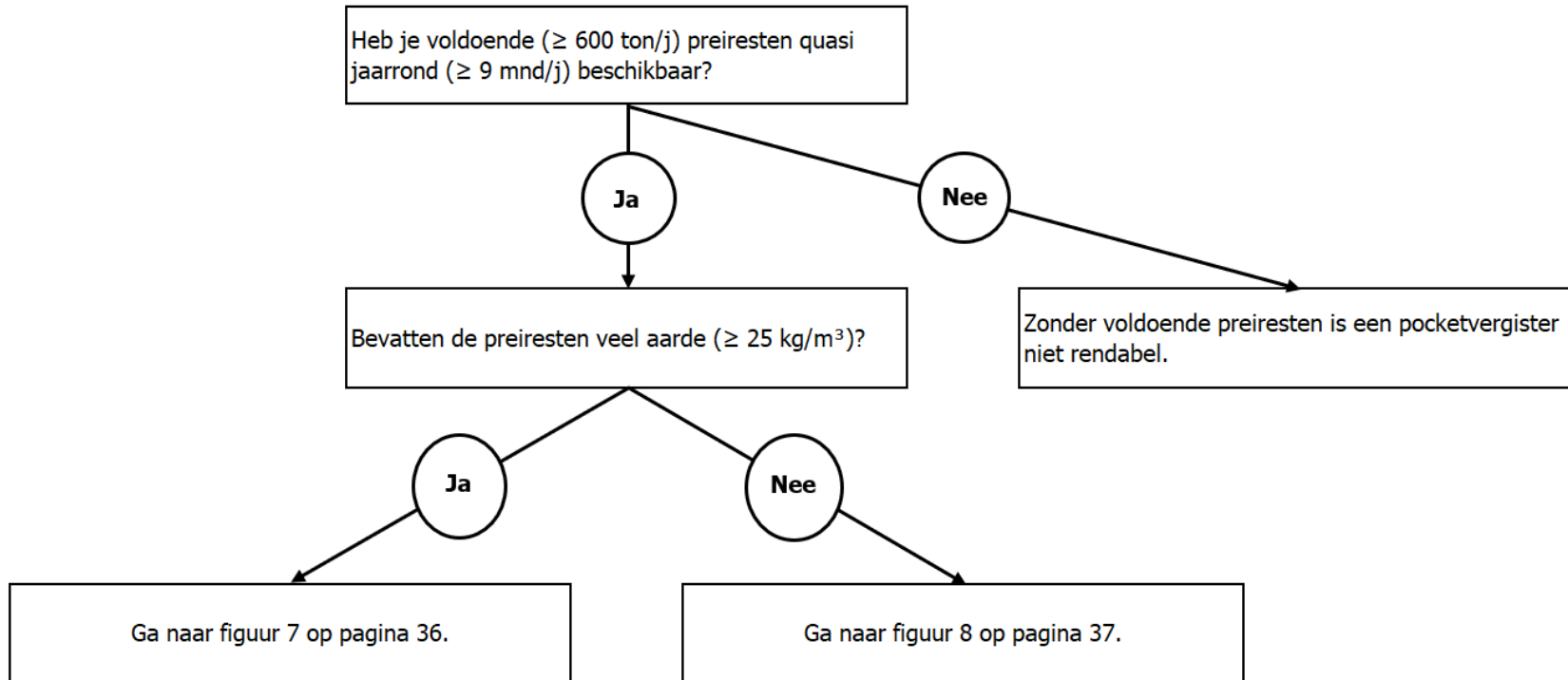
Om die problematiek aan te pakken, werd er via een literatuurstudie nagegaan welke manier van bewaren, hoofdzakelijk inkuilen, geschikt lijkt voor de opslag van preiresten. Daarna werd in de praktijk bekeken of preiresten via fermentatie gestabiliseerd kunnen worden. Gestabiliseerde prei is bovendien minder vatbaar voor rotting, waardoor geuroverlast gereduceerd zou worden. Deze literatuurstudie en inkuilproeven werden beschreven in een rapport²¹.

Uit deze fermentatieproeven bleek dat prei zonder problemen gedurende een langere termijn (tot 112 dagen) anaeroob kan worden bewaard. De prei verzuurt vlot, ondanks de erg vuile aard van het startmateriaal in deze proef(modder). Tijdens de eerste zeven dagen van de proef trad een snelle verzuring op. Dit kon niet voorkomen dat er tijdens deze periode een deel van het biogaspotentieel (tot 25 %) verdween. Na dit initiële verval trad er geen verder verlies aan biogaspotentieel op. De biomassa bleef overwegend stabiel, hoewel sommige vaten na verloop van tijd verval begonnen vertonen (door onvolledige afsluiting van sommige vaten); dit verval was waarneembaar als een ranzige geur bij het openen van het vat, een pH-stijging en schimmelvorming op de preiresten. Desondanks vertoonden vaten waarbij sporen van rotting optraden geen significant lager biogaspotentieel dan stabiele vaten.

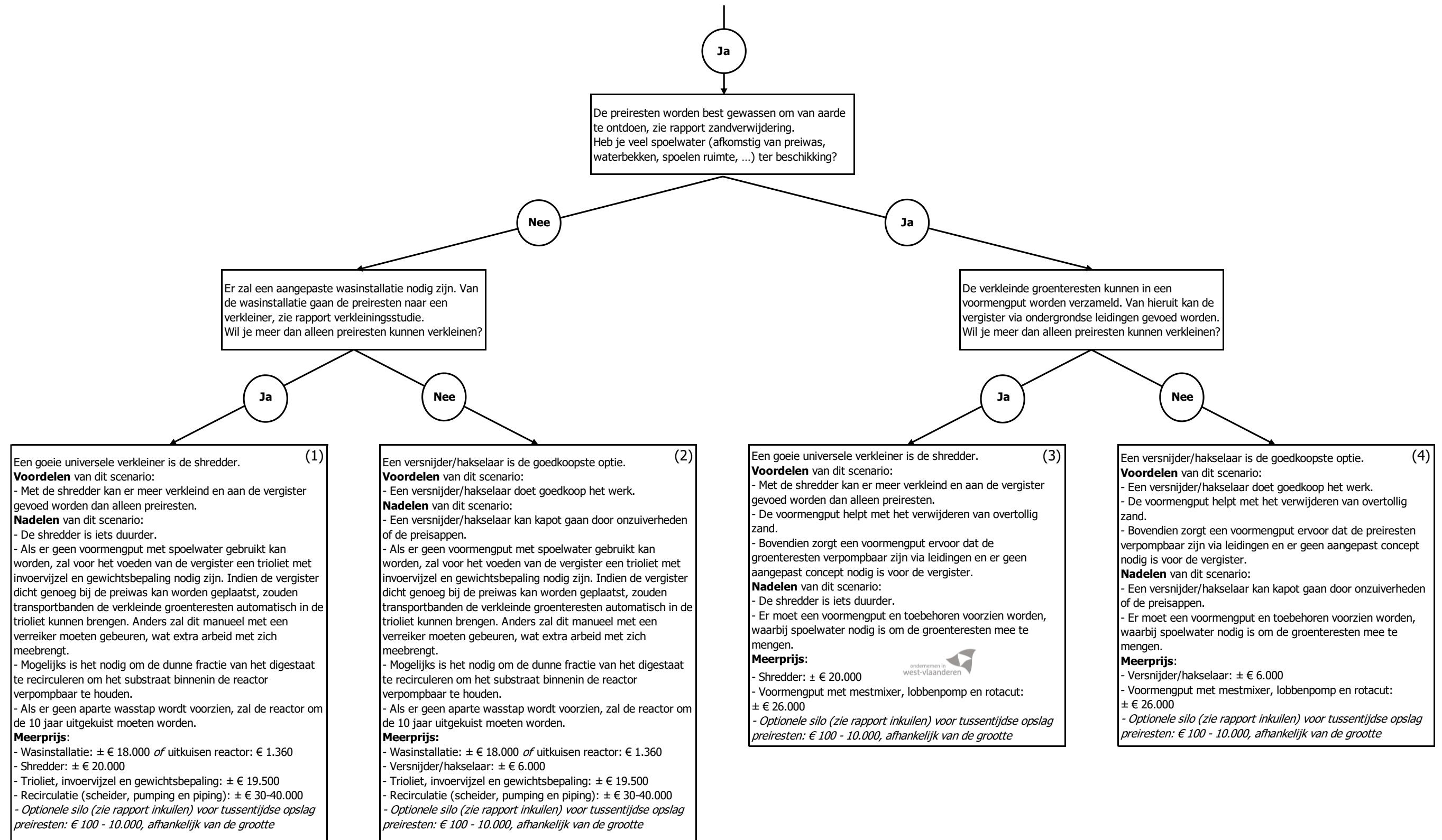
6.3. BLAUWDRIJK

Op basis van de in voorgaande hoofdstukken verzamelde informatie werd een flowchart (Figuur 6, Figuur 7, Figuur 8) opgesteld. Dit dient als basis voor een blauwdruk uitgewerkt door het Vlaamse bedrijf Bioelectric, constructeur van kleinschalige biogasinstallaties. Deze blauwdruk bestaat uit een bouwschema, een mogelijke kostprijsberekening en bijhorende inschatting van de rendabiliteit bij de plaatsing van een kleinschalige vergister op een preibedrijf. De blauwdruk is zo algemeen mogelijk weergegeven zodat deze ruimte laat voor verdere toepassing en ontwikkeling.

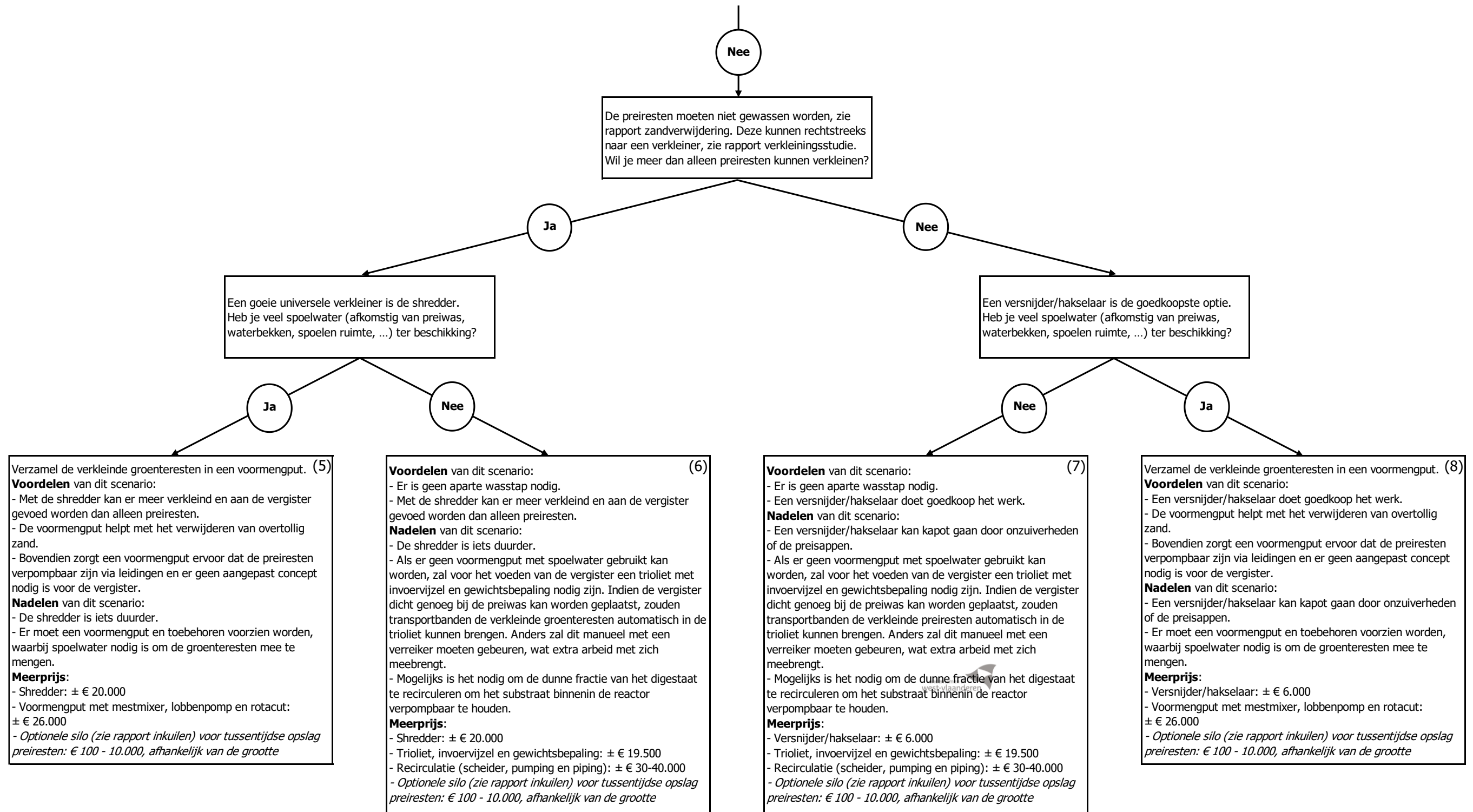
²¹ Het volledige rapport kan geraadpleegd worden via Bijlage 14: Inkuilproeven prei.



Figuur 6: Start van de beslissingsboom. Afhankelijk van de keuze bij de tweede vraag, volg je de beslissingsboom verder via Figuur 7 op pagina 36 of Figuur 8 op pagina 37.



Figuur 7: Vervolg van de beslissingsboom wanneer de preiresten veel ($\geq 25 \text{ kg/m}^3$) aarde bevatten.



Figuur 8: Vervolg van de beslissingsboom wanneer de preiresten **weinig** (< 25 kg/m³) aarde bevatten.

6.3.1. Aannames

Volgende aannames werden gebruikt in bovenstaande beslissingsboom (Figuur 6, Figuur 7 en Figuur 8):

- Het is belangrijk dat er quasi jaarrond voldoende preiresten ter beschikking zijn om de investering in een pocketvergister en alle benodigde randinfrastructuur rendabel te krijgen. Het kleinste vermogen dat geplaatst wordt, bedraagt 10 kW. Er is bij dit vermogen minstens 58.500 kWh elektriciteit per jaar nodig om van een goed draaiende, renderende installatie te spreken²². Voor deze elektriciteitsproductie is er jaarlijks 23.400 m³ biogas nodig, aangezien 1 m³ biogas ongeveer 2,5 kWh²³ elektriciteit produceert. Aangezien het biogaspotentieel van preiresten gemiddeld 46 m³ biogas/ton²⁴ verse preiresten bedraagt, zijn er jaarlijks min. 509 m³ preiresten nodig. De dichtheid van preiresten is 1,0194 ton/m³²⁵ en dus zijn er jaarlijks 519 ton preiresten nodig. Om wat veiligheidsmarge te voorzien, werd dit afgerond naar **600 ton preiresten/j**.
- Tijdens vergistingstesten op laboschaal werd al snel duidelijk dat preiresten nog vrij veel zand of aarde konden bevatten (Subsectie 6.2.3 Verwijderen onzuiverheden). In semi-continue reactoren kan zand voor problemen zorgen wanneer preiresten minder dan 80% organische droge stof bevatten. Dit komt ruwweg (met wat extra marge) overeen met zo'n **25 kg zand of aarde per m³ preiresten**. Afhankelijk van het bodemtype en de efficiëntie van de menging zullen de bodemdeeltjes sneller of trager bezinken. Een goede, efficiënte menging binnenin de reactor wordt hierdoor bij preiresten sowieso aangeraden. Zorg voor een voldoende krachtige mixer of meerdere kleinere mixers die het volledig reactorvolume (zowel bovenaan als beneden, over gans de reactor) in beweging kan/kunnen brengen. De mixer gedurende langere tijd op voldoende kracht laten draaien net na het inpompen van biomassa of net voor het uitpompen van digestaat kan helpen bij het in beweging houden van het zand. Op die manier zal bij het uitpompen van het digestaat ook telkens zand worden weggepompt.
- In het rapport zandverwijdering worden meerdere scenario's uitgewerkt om het zand of de aarde, indien nodig, al dan niet vooraf te verwijderen. Vanwege de verschillende bedrijfsvoering en mogelijke combinaties zijn twee scenario's hierbij interessant:
 - De goedkoopste oplossing is het gebruik van een bezinkput. Deze bezinkput kan echter als een **voormengput** worden beschouwd, waarin de preiresten vermengd worden met spoelwater afkomstig van het wascircuit, bezinkbekken, naspoelen van de prei of kuisen van de preiwasruimte. Deze combinatie zorgt er voor dat de preiresten verpompbaar zijn, waardoor er geen nood is aan een aangepast vergisterconcept waarbij de reactor via een stationaire menger gevoed wordt.
 - Is er geen spoelwater beschikbaar, dan is er een andere oplossing nodig. Uit het rapport zandverwijdering²⁶ bleek dat het na verloop van tijd verwijderen van de bezinkingslaag de goedkoopste oplossing was. Aangezien er minstens 600 ton preiresten jaarlijks aan de vergister gevoed moeten worden,

²² Voor pocketvergisters wordt verwacht dat er jaarlijks gemiddeld 6.500 draaiuren kunnen worden gerealiseerd. Constructeurs met onderhoudscontract garanderen 90% van het technisch rendement. Voor een installatie van 10 kWe betekent dit dus dat 65.000 kWh kan worden geproduceerd, waarvan 58.500 kWh zeker zou moeten worden behaald om van een rendabele installatie te spreken.

²³ Geraadpleegd op 28/08/2020, uit https://www.biogas-e.be/sites/default/files/2017-08/BiogasVoedingsindustrie_DIG%20BROCHURE_definitief_1.pdf

²⁴ Op basis van vergistingstesten.

²⁵ Gemiddelde uit <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10942910903079267?needAccess=true>, geraadpleegd op 27/08/2020.

²⁶ Het volledige rapport kan geraadpleegd worden via Bijlage 13: Zandverwijdering bij prei.

wat overeenkomt met 1,6 m³ prei per dag, en 25 kg zand of aarde per m³ prei voor problemen kan zorgen, wordt hierbij jaarlijks zo'n 9,81 m³ zand of aarde aan de vergister gevoed. De verblijftijd binnenin de reactor moet minstens 30 dagen bedragen voor een optimaal vergistingsproces, waardoor er bij een jaarlijkse voeding van 600 ton preiresten zeker 48,38 m³ netto volume nodig is. In een reactor van 176 m³²⁷ betekent dit dat de overige 127,62 m³ na 13 jaar verzand zal zijn. Dit is uiteraard sterk afhankelijk van de hoeveelheid jaarlijks gevoede preiresten, hoeveel zand of aarde deze bevatten en hoe snel deze zullen bezinken in de reactor (afhankelijk van het bodemtype en mixerefficiëntie). Daarom wordt er, om wat marge te voorzien, aangeraden elke **10 jaar** de vergister uit te kuisen. Aangezien de oudste draaiende pocketvergister momenteel 13 jaar oud is (31 kW_{el} te Inagro), wordt voorlopig gerekend dat de bezinklaag in de vergister éénmaal zal moeten verwijderd worden, wat een kost van ongeveer € 1.360 met zich meebrengt (zie rapport zandverwijdering). Anders is een **aangepaste wasinstallatie** voor de preiresten een oplossing, waarvoor een offerte van € 18.000 werd ontvangen voor een installatie (zie rapport zandverwijdering).

- **De inox silo voor opslag** van de preiresten om periodes zonder verse prei te overbruggen is optioneel, aangezien dit niet altijd nodig zal zijn, of de prijs zal zeer sterk variëren afhankelijk van de benodigde grootte en of het al dan niet tweedehands wordt aangekocht. Het wordt wel aangeraden opslag te voorzien voor de preiresten wanneer de vergistingsinstallatie tijdelijk stil ligt (vanwege bv. onderhoud).
- De **vermelde kosten** bij de meerprijs van de scenario's zijn gebaseerd op:
 - Wasinstallatie en uitkuisen installatie: Bijlage 13: Zandverwijdering bij prei
 - Shredder en versnijder/hakselaar: Bijlage 12: Verkleinen groenteresten
 - Trioliet, invoervijzel en gewichtsbepaling: offerte vergister Inagro
 - Recirculatie (scheider, pumping en piping): offerte vergister Inagro
 - Voormengput met mestmixer, lobbenpomp en rotacut: offerte uitbater
 - Optionele inox silo: tweedehandsprijzen afkomstig van het internet (bv. 2dehands.be, ...)

Volgende aannames werden gebruikt door Bioelectric om een businesscase door te rekenen:

- Bedrijfs grootte: 30 ha prei beschikbaar²⁸
- 25 ton reststromen per hectare²⁹
- Biogas potentieel: 46 m³ biogas/ton preiresten³⁰
- Extra nodige investeringen³¹: € 49.000

²⁷ Het kleinste reactorvolume aangeboden door de constructeurs.

²⁸ Hoewel het gemiddeld preibedrijf in Vlaanderen kleiner is, werd hier uitgegaan van een bedrijf met 30 ha prei, aangezien uit de sector scan ook bleek dat enkel bedrijven met voldoende oppervlakte in aanmerking zouden kunnen komen voor monovergisting van oogstresten.

²⁹ De Dobbelaere, A., Vervisch, B., Ryckaert, B., Lebuf, V., Van Driessche, J., 2015. Arbor: Case Study Report Development of agro-sidestreams for bioenergy.

³⁰ Op basis van vergistingstesten, zie hoofdstuk 6.2.1 Labotesten

³¹ Meerprijs ingeschat op basis van beslissingsboom. € 15.000 voor extra digestaatopslag; € 32.000 voor zandverwijdering & wassen; € 2.000 voor inkuilapparatuur.

- Elektriciteitsverbruik bedrijf: 200.000 kWh, met een aankoopprijs van 0,21 €/kWh³²

6.3.2. Resultaten

Voor de doorgeredende businesscases en technische tekeningen van Bioelectric wordt verwezen naar Bijlage 10: Technische tekening en business case varkens- en preibedrijf.

Implementatie van kleinschalige vergisting op preibedrijven daarentegen lijkt nog niet voor onmiddellijk, met uitzondering van enkele bedrijven. Dit bleek ook uit de sector scan en de doorgeredende business case van Bioelectric, waar de terugverdientijd te groot was om rendabel te kunnen zijn. Om vergisting op dergelijke bedrijven te laten renderen zijn er meer preiresten nodig dan aanwezig op een gemiddeld preibedrijf³³ en dienen deze bij voorkeur jaarrond beschikbaar te zijn om een continue voeding te kunnen garanderen. Ook zijn er op dergelijke bedrijven meer extra investeringen nodig, wat voor een meerprijs zorgt. Er zijn in Vlaanderen wel enkele bedrijven die potentieel vertonen, maar die zijn eerder een uitzondering. Bovendien bewijst het uienschilbedrijf Ongena dat het niet onmogelijk is om monovergisting van een groentestroom te verwezenlijken. Het oprichten van samenwerkingsverbanden, waardoor bedrijven met onvoldoende waardevol landbouwafval toch gebruik kunnen maken van de vergistingstechnologie, kan hier een oplossing betekenen en kan worden gestimuleerd door de voordelen voor kleinschalige vergisting op een individueel bedrijf door te trekken naar coöperatief niveau.



³² Inschatting Bioelectric

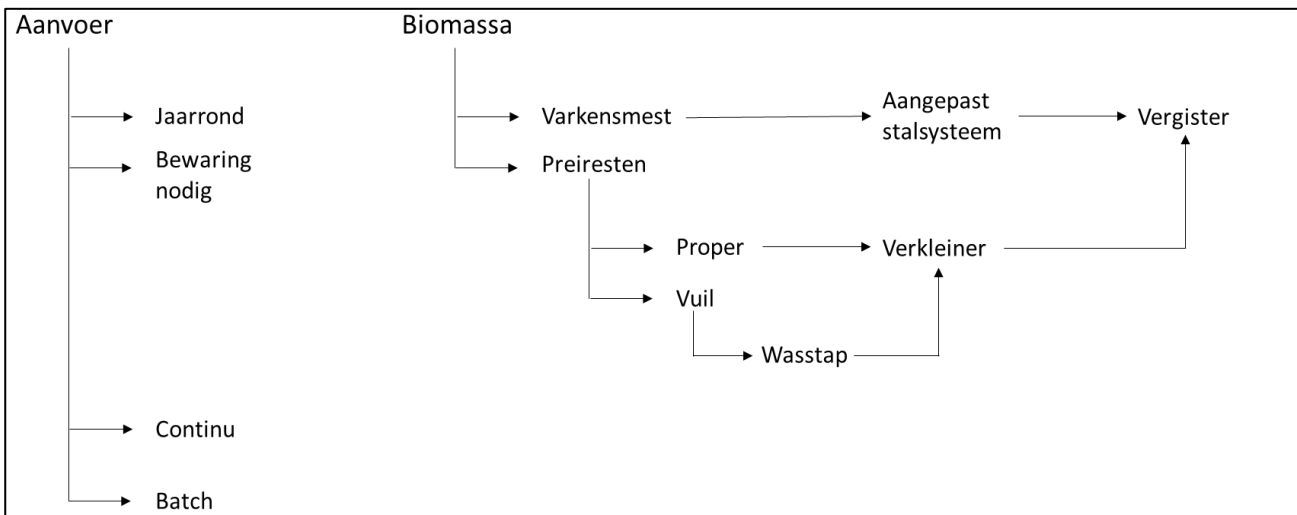
³³ https://www.ilvo.vlaanderen.be/Portals/68/documents/Mediatheek/Mededelingen/239_voedselverliezen.pdf

7. Algemene conclusie blauwdruk

Het uitbreiden van kleinschalige vergisting naar andere sectoren zoals de varkens- of preisector vraagt een aantal aanpassingen. Een korte flowchart hiervan wordt weergegeven in Figuur 9. Bij de aanvoer van de biomassa is het belangrijk om na te gaan of de biomassa jaarrond beschikbaar is en of er bewaring (zoals bv. inkuilen) vereist is. De biomassa kan continu of in batch beschikbaar komen. Het vergistingsstelsel moet hierop aangepast worden.

Als het om varkensmest gaat dient de mest minstens vers en/of gestabiliseerd te zijn zodoende een zo hoog mogelijk biogaspotentieel te bekomen. Een aangepast stalsysteem is dus een vereiste. Bemerkt hierbij wel op dat het belangrijk is dat de mest voldoende verpompbaar blijft.

Preiresten zijn vaak vuil en ondergaan bij voorkeur nog een wasstap alvorens ze naar de verkleiner gaan. Het verkleinen van preiresten is belangrijk om het geheel vlotter verpompbaar te maken, maar ook om de fermentatiestap van het vergistingsproces vlotter te laten verlopen.



Figuur 9: Flowchart bij het vergisten van varkensmest en groenteresten

Algemene conclusie

Kleinschalige vergisting komt in Vlaanderen op vandaag vooral voor op melkveebedrijven. In het project Pocket Power werd door Inagro en Universiteit Gent gekwantificeerd hoe veel broeikasgasemissiereductie kan optreden op melkveebedrijven door het toepassen van deze technologie. Bovendien werden enkele belangrijke stappen gezet om kleinschalige vergisting in Vlaanderen verder uit te breiden naar andere sectoren. Aan de hand van een primaire screening werd bepaald om het potentieel voor de varkenssector en de groentesector te onderzoeken.

Via modellering en emissiemetingen op een digestaatopslag blijkt dat pocketvergisting zeker kan helpen om broeikasgasemissies uit mestopslag te reduceren. Het model toonde aan dat methaanemissies in de melkveehouderij met wel 70% kunnen verlaagd worden in de stal. Als het totaalplaatje van de pocketvergister in rekening wordt gebracht, dan helpt kleinschalige vergisting om 50% van de mest- en energiegerelateerde broeikasgasemissies te reduceren mits aan de nodige randvoorwaarden (correcte uitvoering, voldoende robuustheid, voldoende verblijftijd, goede uitbating, beperking van gasverliezen) wordt voldaan. Deze kwantificering illustreert dat kleinschalige vergisting een positieve impact kan hebben naar het klimaat toe.

De vergistingstesten in de praktijk met verse VeDoWS-mest in combinatie met drijfmest (alsook op het bedrijf Akivar) tonen aan dat het moet mogelijk zijn om een manier te vinden waarop varkensdrijfmest als eenzijdige stroom kan worden vergist. Labotesten toonden aan dat we wel nog voorzichtig moeten zijn, gezien we nog niet exact de vinger kunnen leggen op welke parameters het proces stabiel houden. In elk geval is er economisch gezien potentieel weggelegd voor de varkenssector, gezien de sector scan uitwees dat 44% van de Vlaamse varkensbedrijven in aanmerking kunnen komen voor kleinschalige vergisting.

Voor groenteresten rekent het plaatje minder rendabel gezien er heel wat extra randinfrastructuur nodig is om de resten te verkleinen, evt. wassen of zand te verwijderen en tijdelijk te kunnen opslaan. Vergistingstechnisch gezien is het vergisten van preiresten geen probleem mits het zand voldoende kan verwijderd worden. Cases die jaarrond beschikken over grotere volumes inputstromen (bv. grootschalige preibedrijven, het uienchilbedrijf van Joeri Ongena, ...) kunnen een interessante case zijn mits de nodige randapparatuur mooi op elkaar kan aansluiten en (her)investeringen en extra kosten kunnen beperkt worden. Gezien de uniciteit vergt dit meer maatwerk en verdere experimenten met de nodige apparatuur.

Naar de toekomst toe zien we vooral potentieel weggelegd voor verder onderzoek op het gebied van verse varkensmestvergisting. We weten dat het kan, het loont om verder te onderzoeken welke omstandigheden en parameters helpen het proces stabiel te houden. Daarbij kunnen we ook op zoek gaan naar andere pistes dan het combineren van oude drijfmest met verse VeDoWS-mest, bv. recirculatie van digestaat.

Een tweede onderzoekspiste die de moeite waard is om verder te onderzoeken is het coöperatieve. Kunnen landbouwbedrijven samenwerken om samen hun reststromen op een rendabele manier te gaan vergisten?

Bibliografie

- AARNINK, A. J. A., DE GROOT, J. & OGINK, N. 2019. Brongerichte maatregelen voor beperking emissies uit bestaande varkensstallen. Wageningen: Wageningen University & Research.
- AMON, T., URS, P. B., DANIEL-GROMKE, J., DENYSENKO, V., DÖHLER, H., FALKE, I. & FISCHER, E. 2016. *Leitfaden Biogas - Von der Gewinnung zur Nutzung*, Gülzow-Prüzen, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR).
- CHEN, Y., CHENG, J. J. & CREAMER, K. S. J. B. T. 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. 99, 4044-4064.
- COPPOLECCHIA, D., GARDONI, D., BALDINI, C., BORGONOVO, F. & GUARINO, M. 2015. The influence on biogas production of three slurry-handling systems in dairy farms. *Journal of Agricultural Engineering*, 46.
- DE BUISSONJÉ, F. & VERHEIJEN, R. 2014. Drijfmest verliest snel zijn waarde voor biogas. *V-focus*.
- ENERPEDIA. 2015. *Investeren in pocketvergisting: enkele tips* [Online]. Available: <http://www.enerpedia.be/nl/nieuws/investeren-in-pocketvergisting-enkele-tips-1030/> [Accessed 14 06 2019].
- EUROSTAT 2019. Greenhouse gas emission statistics - emission inventories. Eurostat - Statistics Explained.
- FAO 2006. *Livestock's Long Shadow - environmental issues and options*, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO 2017. Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM). *In: FAO (ed.)*. Rome.
- GROSSI, G., GOGLIO, P., VITALI, A. & WILLIAMS, A. G. 2019. Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*, 9, 69-76.
- HASHIMOTO, A. G. J. A. W. 1983. Thermophilic and mesophilic anaerobic fermentation of swine manure. 6, 175-191.
- IPCC. 2006. *Emissions from livestock and manure management* [Online]. Available: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. [Accessed].
- KAMPMAN, B., LEGUIJT, C., SCHOLTEN, T., TALLAT-KELPSAITE, J., BRÜCKMANN, R., MAROULIS, G., LESSCHEN, J. P., MEESTERS, K., SIKIRICA, N. & ELBERSEN, B. 2016. Optimal use of biogas from waste streams - An assessment of the potential of biogas from digestion in the EU beyond 2020. *In: COMMISSION, E. (ed.)*.
- KIM, S. Y., PRAMANIK, P., BODELIER, P. L. & KIM, P. J. J. P. O. 2014. Cattle manure enhances methanogens diversity and methane emissions compared to swine manure under rice paddy. 9, e113593.
- KLIMAAT. No date. *De verschillende broeikasgassen* [Online]. Available: <https://klimaat.be/klimaatverandering/oorzaken/broeikasgassen> [Accessed 14 05 2019].
- LIEBETRAU, J., REINELT, T., AGOSTINI, A. & LINKE, B. 2017. *Methane emissions from biogas plants - Methods for measurement, results and effect on greenhouse gas balance of electricity produced*, IEA Bioenergy.
- LINDORFER, H., DEMMIG, C. J. C. E. & TECHNOLOGY 2016. Foam formation in biogas plants—a survey on causes and control strategies. 39, 620-626.
- OVERHEID, V. 2018. Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030. *In: VISSERIJ, D. L. & VLM (eds.)*.
- PAOLINI, V., PETRACCHINI, F., SEGRETO, M., TOMASSETTI, L., NAJA, N. & CECINATO, A. 2018. Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng*, 53, 899-906.
- PLATTEAU, J., LAMBRECHTS, G., ROELS, K. & VAN BOGAERT, T. 2018. Uitdagingen voor de Vlaamse Land- en Tuinbouw. *In: VISSERIJ, D. L. E. (ed.)*. Departement Landbouw en Visserij.
- ROHSTOFFE EV, F. N. 2010. *Leitfaden Biogas: Von der Gewinnung zur Nutzung*, Gülzow, Germany.
- SEADI, T., RUTZ, D., PRASSL, H., KOTTNER, M., FINSTERWALDER, T., VOLK, S. & JANSSEN, R. 2008. *Biogas Handbook*, University of Southern Denmark, Esbjerg, Denmark.
- STUER, L., DE GELDER, L. & MEERS, E. 2018. *Haalbaarheidsonderzoek naar processtabilisatie en sectorverbreiding bij pocketvergisting*. Master of Science in Biochemical Engineering Technology, Ghent University.

- TRABUE, S., KERR, B. & SCOGGIN, K. J. S. O. T. T. E. 2019. Swine diets impact manure characteristics and gas emissions: Part I sulfur level. 687, 800-807.
- VAVILIN, V., RYTOV, S. & LOKSHINA, L. Y. J. B. T. 1996. A description of hydrolysis kinetics in anaerobic degradation of particulate organic matter. 56, 229-237.
- VONCKEN, T. 2014. De bijdrage van monomestvergisiting aan grootschalige mestverwerking. *In: NEDERLAND, G. (ed.)*. Utrecht.

Bijlage 1: Maatregelen voor de reductie van broeikasgasemissies

Maatregelen voor de reductie van broeikasgasemissies

Inès Verleden

Pocket Power

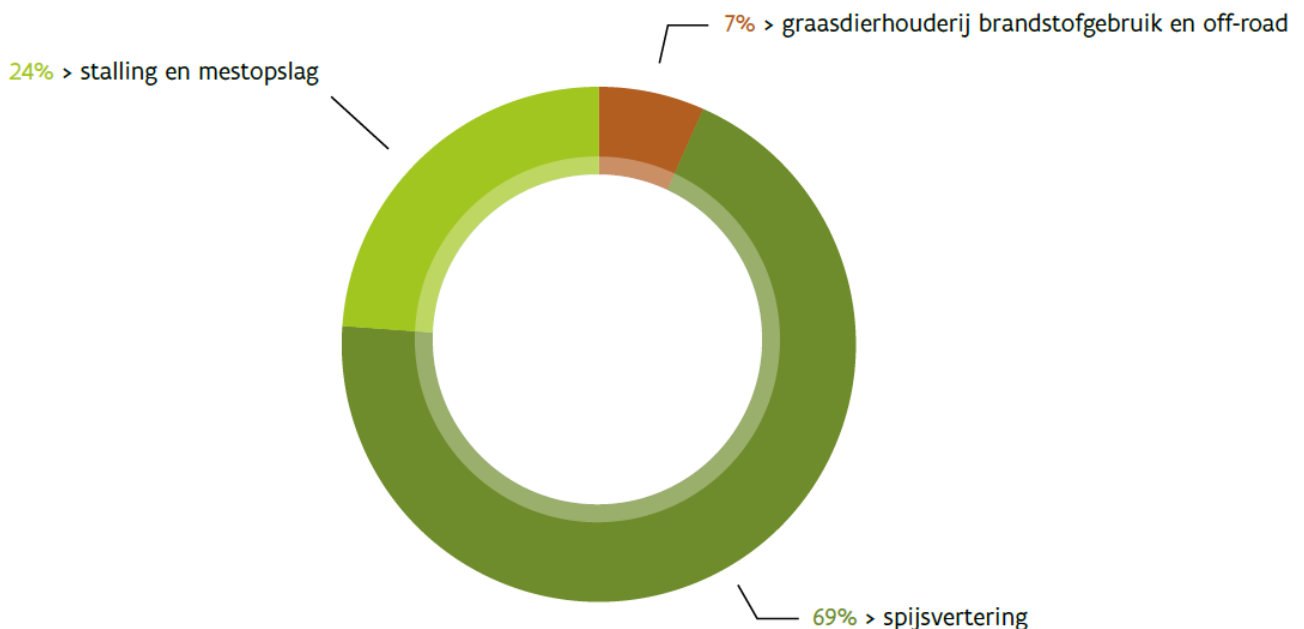


1. Inhoudsopgave

1. INHOUDSOPGAVE	2
2. INTRODUCTIE	3
3. MAATREGELEN	5
3.1. Mestopslag	5
3.2. Vergistingsproces	6
3.2.1. Vergiste biomassa	6
3.2.2. Lekverliezen	6
3.2.3. Overtollig biogas	7
3.2.4. Methaanslip	7
3.3. Digestaat	7
3.3.1. Digestaatopslag	7
3.3.2. Digestaatgebruik	8
3.4. Gasgebruik	8
4. CONCLUSIES	9
5. REFERENTIES	10

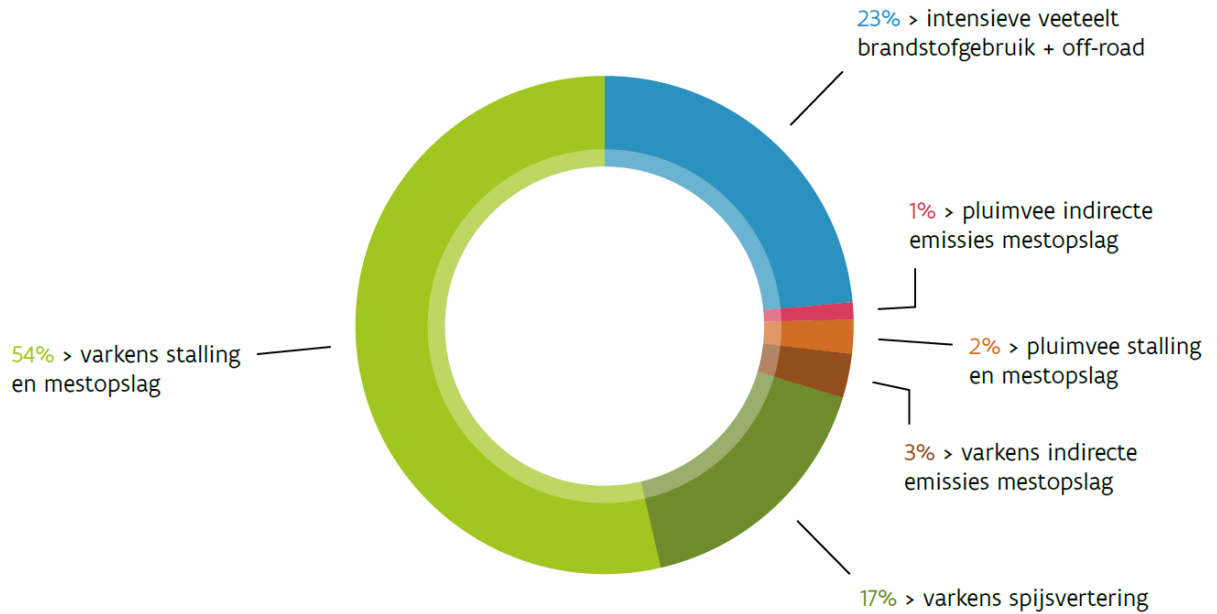
2. Introductie

Kleinschalige vergisting, ook wel pocketvergisting genoemd, wordt al sinds 2006 genoemd als maatregel met veel potentieel om broeikasgasemissies uit de mestopslag te gaan beperken (FAO 2006). In 2010 bedroegen de totale broeikasgasemissies van alle koeien en varkens in West-Europa bijna 1,8 biljoen kilogram aan CO₂-equivalenten (FAO 2017). Ongeveer 7,3% van de globale broeikasgasemissies is dus afkomstig van koeien en varkens. Methaan heeft een belangrijk aandeel in deze broeikasgasemissies, zo'n 47,1%. CO₂ en lachgas (N₂O) zijn verantwoordelijk voor respectievelijk 28,2 en 24,7% van de totale broeikasgasemissies (FAO 2017). In Vlaanderen bedraagt het aandeel van de landbouw ca. 10% in de totale broeikasgasemissies, of een uitstoot van 7,4 Mton CO₂-equivalenten. De rundveesector en intensieve veehouderij (varkens en pluimvee) zijn verantwoordelijk voor respectievelijk 44% of 3.215 kton CO₂-equivalenten (Figuur 1) en 18% of 1.337 kton CO₂-equivalenten (Figuur 2) van de totale broeikasgasemissies in de Vlaamse land- en tuinbouw (Platteau et al. 2018). Emissies uit de groentesector zijn afkomstig van het kunstmestgebruik en bestaan dus voornamelijk uit N₂O-emissies. Dit aandeel is echter aanzienlijk kleiner. Het reduceren van de methaanemissies uit de veehouderij is dus van groot belang, aangezien methaan een globaal opwarmingspotentieel heeft dat 25 maal hoger is dan dat van CO₂ (Eurostat 2019). Deze methaanemissies zijn voornamelijk afkomstig van zowel het verteringsproces van het dier zelf, als van de mestopslag (Figuur 3). Het reduceren van de emissies door het verteringsproces is moeilijk, maar er zijn reeds verschillende mogelijkheden om de broeikasgasemissies uit de mestopslag te gaan verlagen.



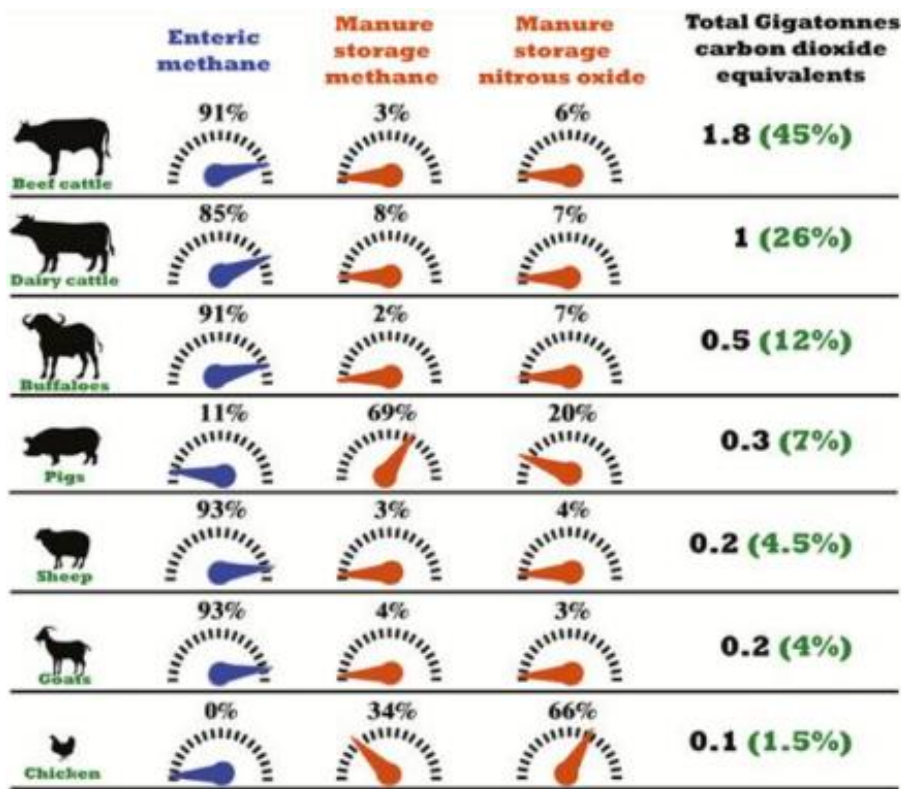
Bron: VMM

Figuur 1: Oorsprong van de broeikasgasemissies bij de rundveehouderij in Vlaanderen (Platteau et al. 2018).



Bron: VMM

Figuur 2: Oorsprong van de broeikasgasemissies bij de intensieve veehouderij in Vlaanderen (Platteau et al. 2018).



Figuur 3: De verschillende percentages van de oorsprong van methaan en lachgas (via spijsverteringsstelsel – methaan uit mestopslag– lachgas uit mestopslag– totale gigaton aan CO₂-equivalenten) per veeteelt (Grossi et al. 2019).

In 2015 erkende het Vlaams Klimaatfonds kleinschalige vergisting als een interessante technologie om broeikasgasemissies uit de mestopslag op een voor de landbouwer economisch interessante manier te gaan verlagen. Ook in het Vlaams Klimaatbeleidsplan voor 2021 – 2030 (Overheid 2018) wordt vergisting van mest op varkens- en melkveebedrijven opgenoemd als potentiële vermindering van de uitstoot van methaan bij mestopslag. De mest dient immers zo vers mogelijk in de vergister gebracht te worden voor optimale biogasproductie (Coppolecchia et al. 2015). Bovendien zorgt de pocketvergister door zijn lokaal karakter en beperkte schaalgrootte voor een beperking van transport, minimale verstoring van het landschap (en dus betere acceptatiegraad door de omgeving), onafhankelijkheid van de marktprijzen, geen concurrentie voor inputstromen, ...

Er is echter nog niet concreet geweten wat de exacte impact is van pocketvergisting op vlak van broeikasgasemissiereductie in vergelijking met een landbouwbedrijf zonder pocketvergister. Daarom wilt het project Pocket Power niet alleen inzetten op kwantificatie van de broeikasgasemissiereductie door pocketvergisting, maar ook het formuleren van maatregelen ter verdere reductie van broeikasgasemissies bij uitbating. Er kan rekening gehouden worden met deze strategieën door zowel de constructeurs van pocketvergisters, als door uitbaters met een installatie.

3. Maatregelen

Broeikasgasemissies, waaronder hoofdzakelijk methaan, kunnen voorkomen tijdens het ganse vergistingsproces en bij de randinfrastructuur. De grootste en best gekende emissies zijn bij:

- de opslag van de mest alvorens deze naar de vergister gaat,
- op en rond de vergister;
 - door de keuze van de vergiste biomassa,
 - door lekverliezen,
 - door een te lage verblijftijd,
 - door overtollig biogas dat ontsnapt via het overdrukventiel,
 - door methaanslip bij de WKK;
- en bij opslag en gebruik van het digestaat.
- Daarnaast heeft ook het biogasgebruik een invloed op de grootte van de broeikasgasemissiereductie.

3.1. MESTOPSLAG

Allereerst heeft het stalsysteem, dat rechtstreeks in verband staat met de mestopslag, reeds een invloed op de emissies en het biogas- en methaanpotentieel. Via roostervloeren komt de mest terecht in een mestkelder die vaak niet gemixt wordt. In een niet-gemixte, diepe kelder zijn er veel meer bacteriën aanwezig, waardoor er veel meer emissies geproduceerd vrijkomen in vergelijking met een volle vloer met mestschuif (Coppolecchia et al. 2015). Als de mestkelder dan toch gemixt wordt, zet dit grote hoeveelheden emissies vrij (Liebetrau et al. 2017). Zeker de emissie van ammoniak en lachgas, dat een globaal opwarmingspotentieel heeft dat 298 keer hoger is dan dat van CO₂ (Eurostat 2019), kan vermeden worden door de mestopslag gesloten te houden (Paolini et al. 2018). Bovendien

is ook de biogasproductie van mest afkomstig uit een mestkelder lager dan van mest afgeschraapt van een volle vloer (Coppolecchia et al. 2015) en biedt een volle vloer met mestschuif dus niet alleen een voordeel als emissiereductie, maar zorgt het ook voor een hoger vergistingsrendement.

De eerste pocketvergisters werden geplaatst bij relatief kleine melkveebedrijven. Het geïnstalleerde vermogen van de installaties werd dan ook afgestemd op de bedrijfseigen energievraag. Nu het terugdraaiende teller-principe verdwijnt, worden er meer en meer installaties geplaatst bij bedrijven met een groter aantal melkkoeien. Als er bij die bedrijven een vergistingsinstallatie wordt geplaatst, gebaseerd op de energievraag, maar de reactor niet wordt vergroot op basis van de beschikbare mest, kan vaak niet alle mest in de reactor worden vergist als er rekening wordt gehouden met de minimale verblijftijd van dertig dagen.

Een te kleine reactor betekent dus dat een deel van de mest niet kan worden vergist en de emissies bij de mestopslag van dit deel van de mest niet worden gereduceerd. Als deze mest rechtstreeks wordt verpompt naar de digestaatopslag wordt de mest gemixt met het digestaat en in contact gebracht met de vergistingsbacteriën. Hierdoor kunnen extra emissies vrijkomen.

Een te grote reactor of installatie heeft als nadeel dat dit een grotere investering was dan nodig. De motor zal niet continu kunnen draaien, waardoor er minder rechtstreeks verbruik van de opgewekte energie zal plaatsvinden, maar de emissies bij mestopslag worden door het kunnen vergisten van alle mest wel gereduceerd.

Als de broeikasgasemissies optimaal gereduceerd willen worden, wordt de reactor en daarmee gekoppeld geïnstalleerd vermogen best afgestemd op de beschikbare hoeveelheid mest op het bedrijf.

3.2. VERGISTINGSPROCES

Het vrijkomen van methaan tijdens of na het vergistingsproces moet zoveel mogelijk vermeden worden. Methaanemissies bij een vergistingsinstallatie komen voornamelijk voor door het ontsnappen van methaan via eventuele lekken, via het overdrukventiel, door navergisting in de open digestaatopslag of via methaanslip.

3.2.1. Vergiste biomassa

Administratief gezien is het voor pocketvergisters makkelijker om aan mono-vergisting te doen. De huidige installaties zijn aangepast aan de mono-vergisting van mest. Het vergisten van mest heeft ook de grootste invloed op het reduceren van de broeikasgasemissies. Wanneer aan co-vergisting wordt gedaan, zal er minder broeikasgasemissiereductie plaatsvinden des te groter het aandeel aan energiegewassen wordt (Liebetau et al. 2017).

3.2.2. Lekverliezen

De kans is reëel dat er bij de vergister of gashoudende installatieonderdelen onopmerkbare lekken aanwezig zijn. Eerder onderzoek toont aan dat lekken vaak voorkomen bij componenten zoals dubbele membranen, aanpasbare roerwerken, de bevestiging van membranen, vaste muren of de voedingsinstallatie (Liebetau et al. 2017). Waar membranen of roerwerken bevestigd worden of de voeding in de vergister terecht komt, zijn nu eenmaal zwakkere punten. Lekken in de liners van de pocketvergisters kunnen zoveel mogelijk vermeden worden door correct gebruik. Membranen zijn echter nooit helemaal perfect gasdicht, maar kunnen via diffusie methaan afgeven aan de atmosfeer.

Regelmatig onderhoud en vernieuwing van gashoudende onderdelen kunnen lekverliezen reduceren, maar nooit helemaal vermijden. Een jaarlijkse infrarood gaslekdetectie kan dienen als controle op eventuele aanwezige lekken. Deze methode toont echter enkel aan waar er lekken zijn, maar niet de kwantiteit van het gas dat ontsnapt.

3.2.3. Overtollig biogas

Voor de veiligheid beschikt elke installatie over een overdrukventiel. In het geval dat de gasdruk binnenin de installatie te hoog wordt, gaat deze open om het overtollige gas, grotendeels methaan, de lucht in te sturen. Dit voorkomt dat de installatie explodeert of het membraan scheurt. Bij pocketvergisters opent het overdrukventiel meestal bij een overdruk van 4 mbar. Het opengaan van het overdrukventiel komt voornamelijk voor wanneer er meer biogas wordt geproduceerd dan er rechtstreeks door de WKK kan worden verbrand, of wanneer de WKK stilligt en het gas zich accumuleert in de installatie (Liebetrau et al. 2017). Een fakkel aan het overdrukventiel koppelen, dat het methaan verbrandt tot het minder schadelijke CO₂ alvorens het in de atmosfeer te blazen, is hiervoor een oplossing (Paolini et al. 2018).

Daarnaast zou het overtollige geproduceerde biogas tijdelijk kunnen opgeslagen worden in een externe biogasopslag. Ook hierbij kan een fakkel worden voorzien in het geval van overdruk. Het rendement hiervan is echter sterk afhankelijk van hoe vaak dit gebruikt wordt. Bij kleinschalige installaties zal het gebruik van een externe biogasopslag beperkt zijn. De biogasreserve zal niet kunnen worden aangesproken als de WKK stilligt of als er al meer biogas geproduceerd wordt dan er verbrand kan worden. Hiervoor een extra WKK voorzien laat het rendement aanzienlijk dalen. Bovendien zijn ook deze membranen of zakken niet perfect gasdicht, maar geven deze in mindere mate gas vrij aan de atmosfeer door middel van diffusie.

3.2.4. Methaanslip

Ook bij de WKK kunnen lekverliezen voorkomen, maar deze zijn verwaarloosbaar in vergelijking met het methaanslip. Afhankelijk van WKK tot WKK wordt niet alle methaan verbrand en gaat deze verloren via de uitlaat. Dit bedraagt gemiddeld 1,89% (Liebetrau et al. 2017). Een regelmatig onderhoud van de WKK kan dit methaanslip reduceren, maar niet compleet vermijden.

3.3. DIGESTAAT

Hoe het digestaat na vergisting wordt opgeslagen en gebruikt, maakt ook een belangrijk deel uit van de broeikasgasemissies gelinkt aan vergisting.

3.3.1. Digestaatopslag

Ook bij de digestaatopslag is het mogelijk dat er methaan vrijkomt door onvolledige vergisting in de reactor (Weiland 2006). Allereerst is het bij pocketvergisters dus belangrijk om de minimale verblijftijd van 30 dagen in de vergister te respecteren. Niet alleen wordt hierdoor flushing van de vergistingsbacteriën vermeden, maar is het biogaspotentieel na vergisting lager dan bij kortere verblijftijden. Wanneer de digestaatopslag niet volledig dicht is, kan dit vrijgekomen methaan in de lucht ontsnappen, tenzij de opslag op een gasdichte manier wordt afgesloten. Het gasdicht maken van de digestaatopslag kan de broeikasgasemissies van een vergistingsinstallatie verder reduceren

van -23,7% tot -36,5% (Battini et al. 2014). De digestaatopslag kan dan als navergistingstank gebruikt worden en het resterende gas dat geproduceerd wordt kan nog worden gevaloriseerd in de WKK, of afgefakkeld. Een bijkomend voordeel is dat een gasdichte opslag van het digestaat ook een positieve invloed heeft op de geuroverlast (Paolini et al. 2018). Hou ook hier opnieuw rekening met het feit dat het membraan dat gebruikt wordt om de opslag af te sluiten, gas zal vrijgeven aan de atmosfeer via diffusie.

Het biogaspotentieel van het digestaat is ook significant hoger bij hogere temperatuur (Liebetrau et al. 2017). Als het dus niet mogelijk is om de digestaatopslag gasdicht te maken, is het beter om de temperatuur binnenin zo laag mogelijk te houden. De methaanproductie wordt significant gereduceerd bij temperaturen lager dan 17°C (Holmgren 2019). De methaanproducerende bacteriën kunnen ook worden geremd door zuurstof in de digestaatopslag te brengen, door bijvoorbeeld het digestaat regelmatig te roeren.

3.3.2. Digestaatgebruik

Digestaat dat na vergisting uitgevoerd wordt op landbouwgrond kan nog steeds aanzienlijke broeikasgasemissies veroorzaken, ware het niet dat deze over het algemeen lager zijn dan wanneer ruwe mest op het land wordt gebruikt (Oshita et al. 2014). Daarentegen kan het gebruik van digestaat als meststof wel een hogere ammoniakemissie veroorzaken en ook nitraatuitspoeling kan hoger zijn bij digestaat dan bij ruwe mest (Paolini et al. 2018). Hoe groot dit effect is, is afhankelijk van wat er wordt vergist (Johansen et al. 2013). Ook de manier van toediening kan de hoeveelheid emissies beïnvloeden. Directe injectie in de grond is de beste manier voor toediening van digestaat, dat op deze manier van toediening voornamelijk ammoniakvervluchtiging tegengaat (Misselbrook et al. 2019).

Maar ook verdere bewerking van het digestaat kan bijdragen aan significante broeikasgasverliezen wanneer de producten worden toegepast op het land.

Het scheiden van digestaat in een dikke en dunne fractie zorgt ervoor dat de hoge stikstofinhoud in de dikke fractie ook voor meer stikstofverlies kan zorgen via het vervluchten van ammoniak, nitraatuitspoeling en nitrificatie/denitrificatie door het in contact komen met zuurstof tijdens opslag en gebruik (Möller and Müller 2012). Deze dikke fractie moet dus zo snel mogelijk na scheiding op het land worden gebracht om emissies tijdens opslag zo laag mogelijk te houden. Ofwel wordt er best een zuurstofvrije opslag voorzien van de dikke fractie van digestaat.

Het drogen van digestaat om het transport ervan economisch interessanter te maken, zorgt ook voor stikstofverlies via ammoniak. Ook compostering zorgt voor ammoniakvervluchtiging en het vrijkomen van lachgas en N₂ door nitrificatie/denitrificatie (Möller and Müller 2012). Aangezien compostering van de dikke fractie van het digestaat bovendien een negatieve invloed heeft op de bemestingswaarde wordt compostering als nabehandeling ten zeerste afgeraden.

3.4. GASGEBRUIK

Het spreekt voor zich dat de geproduceerde elektriciteit en warmte nuttig aangewend moeten worden om de broeikasgasemissiereductie te maximaliseren. Het gebruik van de elektriciteit bij pocketvergisting is vanzelfsprekend. Als de elektriciteit niet rechtstreeks op het landbouwbedrijf wordt verbruikt, wordt deze op het net gestoken. De warmte daarentegen kan niet op elk landbouwbedrijf

volledig benut worden. Een deel wordt gebruikt voor het op temperatuur houden van de reactor. Afhankelijk van het seizoen blijft er daarnaast nog een deel over dat gebruikt kan worden voor het opwarmen van de boiler, die gebruikt wordt als reinigingswater van de melkinstallatie en/of melkrobot, sanitair warm water of als vloerverwarming in de gebouwen. Dit zorgt voor een reductie in het gebruik van fossiele grondstoffen. Warmte die niet gebruikt wordt, wordt afgeblazen.

Opwaardering van biogas tot biomethaan kan de broeikasgasemissiereductie nog significant verder verhogen, indien methaanslip gelimiteerd kan worden tot 0,05%. Wanneer een waarde van 4% wordt bereikt, is de opwaardering niet langer duurzaam (Paolini et al. 2018). De hoeveelheid broeikasgasemissiereductie door het gebruik van biomethaan is afhankelijk van welke brandstof wordt vervangen, maar lijkt het meest kost-efficiënt te zijn bij vervanging van diesel door bio-CNG (gecomprimeerd aardgas) of bio-LNG (vloeibaar aardgas) (Kampman et al. 2016).

4. Conclusies

De belangrijkste onderdelen waarbij methaanemissies vrijkomen zijn de mestopslag en het digestaatbeheer (- opslag en gebruik). Om de broeikasgasemissiereductie te optimaliseren is het dus aangewezen om zeker bij deze onderdelen rekening te houden met de voorgestelde maatregelen die de emissies kunnen reduceren. De mest gaat best zo vers mogelijk in de vergister en de digestaatopslag zou beter gasdicht worden afgesloten, al dan niet met valorisatie van het restbiogas. Regelmatig onderhoud, een correcte plaatsing en uitbating van de installatie kan er voor zorgen dat overige emissies al grotendeels gereduceerd worden.

Het project Pocket Power is een project van Inagro en Universiteit Gent dat wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.

5. Referenties

- Battini, F., A. Agostini, A. K. Boulamanti, J. Giuntoli, and S. Amaducci. 2014. "Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: case study of a dairy farm in the Po Valley." *Sci Total Environ* 481: 196-208.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.038>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24598150>.
- Coppolecchia, D., D. Gardoni, C. Baldini, F. Borgonovo, and M. Guarino. 2015. "The influence on biogas production of three slurry-handling systems in dairy farms." *Journal of Agricultural Engineering* 46 (1). <https://doi.org/10.4081/jae.2015.449>.
- Eurostat. 2019. *Greenhouse gas emission statistics - emission inventories*. Eurostat - Statistics Explained.
- FAO. 2006. *Livestock's Long Shadow - environmental issues and options*. |: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- . 2017. *Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM)*. edited by FAO. Rome.
- Grossi, Giampiero, Pietro Goglio, Andrea Vitali, and Adrian G. Williams. 2019. "Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies." *Animal Frontiers* 9 (1): 69-76. <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>.
- Holmgren, M. A. 2019. *Self-inspection of Methane Emissions*. Afvall Sverige's Development Initiative (Malmö: Afvall Sverige).
- Johansen, Anders, Mette S. Carter, Erik S. Jensen, Henrik Hauggard-Nielsen, and Per Ambus. 2013. "Effects of digestate from anaerobically digested cattle slurry and plant materials on soil microbial community and emission of CO₂ and N₂O." *Applied Soil Ecology* 63: 36-44.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.09.003>.
- Kampman, Bettina, Cor Leguijt, Thijs Scholten, Jurga Tallat-Kelpsaite, Robert Bruückmann, Georgios Maroulis, Jan Peter Lesschen, Koen Meesters, Natasa Sikirica, and Berien Elbersen. 2016. *Optimal use of biogas from waste streams - An assessment of the potential of biogas from digestion in the EU beyond 2020*. edited by European Commission.
- Liebetrau, Jan, Torsten Reinelt, Alessandro Agostini, and Bernd Linke. 2017. *Methane emissions from biogas plants - Methods for measurement, results and effect on greenhouse gas balance of electricity produced*. |, edited by Jerry D. Murphy: IEA Bioenergy.
- Misselbrook, T., S. Bittman, C. Cordovil, B. Rees, R. Sylvester-Bradley, J. Olesen, and A. Vallejo. 2019. *Field application of organic and inorganic fertilizers*. Task Force on Reactive Nitrogen (Brussels).
- Möller, Kurt, and Torsten Müller. 2012. "Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review." *Engineering in Life Sciences* 12 (3): 242-257.
<https://doi.org/10.1002/elsc.201100085>.
- Oshita, K., T. Okumura, M. Takaoka, T. Fujimori, L. Appels, and R. Dewil. 2014. "Methane and nitrous oxide emissions following anaerobic digestion of sludge in Japanese sewage treatment facilities." *Bioresour Technol* 171: 175-81.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.08.081>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25194911>.
- Overheid, Vlaamse. 2018. *Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030*. edited by Departement Landbouw & Visserij and VLM.
- Paolini, V., F. Petracchini, M. Segreto, L. Tomassetti, N. Naja, and A. Cecinato. 2018. "Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge." *J Environ Sci Health A Tox Hazard*

Subst Environ Eng 53 (10): 899-906. <https://doi.org/10.1080/10934529.2018.1459076>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29652205>.

Platteau, J., G. Lambrechts, K. Roels, and T. Van Bogaert. 2018. Uitdagingen voor de Vlaamse Land- en Tuinbouw. edited by Departement Landbouw en Visserij: Departement Landbouw en Visserij.

Weiland, P. 2006. "Biomass Digestion in Agriculture: A Successful Pathway for the Energy Production and Waste Treatment in Germany." *Engineering in Life Sciences* 6 (3): 302-309. <https://doi.org/10.1002/elsc.200620128>.

Bijlage 2: Rapport met richtlijnen naar constructeurs van pocketvergisters en stallenbouwers

Handleiding

*Rapport met richtlijnen naar constructeurs van
pocketvergisters & stallenbouwers*

Inès Verleden

WP2, T2.3 Y5: Een rapport met richtlijnen
naar constructeurs van pocketvergisters &
stallenbouwers

Pocket Power

1. Inhoudsopgave

1. INHOUDSOPGAVE	2
2. INLEIDING	3
3. RICHTLIJNEN VOOR CONSTRUCTEURS VAN POCKETVERGISTERS	3
3.1. Algemeen	3
3.1.1. Installeer een fakkel	3
3.1.2. Zorg voor een voldoende lange verblijftijd	3
3.1.3. Zorg voor voldoende ontzweveling en ontwatering van het biogas	4
3.1.4. Zorg voor een correct gebruik van de folie	4
3.2. Varkenssector	5
3.3. Groentesector	5
4. RICHTLIJNEN VOOR STALLENBOUWERS	6
5. CONCLUSIES	7

Deze handleiding werd geschreven in kader van het VLAIO LA-project Pocket Power. Dit project wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), met financiële steun van: Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.

2. Inleiding

Momenteel wordt pocketvergisting in Vlaanderen voornamelijk toegepast op melkveebedrijven. Nochtans zijn er heel wat varkenshouders en groentetelers die hun reststromen willen valoriseren. In het project Pocket Power wordt er gekeken of er potentieel is om pocketvergisting in deze sectoren te gaan toepassen. Nieuwe concepten vereisen echter ook aangepaste installaties of stalsystemen. Tips en kennis opgedaan tijdens het project op basis van het verrichte onderzoek worden gebundeld in deze richtlijnen aan constructeurs van pocketvergisters enerzijds en stallenbouwers anderzijds.

3. Richtlijnen voor constructeurs van pocketvergisters

3.1. ALGEMEEN

Algemene richtlijnen die gelden voor alle installaties en niet specifiek voor de verschillende sectoren worden in dit onderdeel samengevat.

3.1.1. Installeer een fakkel

Een goede uitbating van een pocketvergister is cruciaal voor het maximaliseren van de broeikasgasemissiereductie. Uit onderzoek naar de verschillende aandachtspunten blijkt dat het overdrukventiel bij sommige installaties regelmatig open staat. Dit komt voor als het biogas niet voldoende naar de warmte-krachtkoppeling (WKK) kan, doordat de WKK stil ligt voor bv. onderhoud of doordat er meer biogas wordt geproduceerd dan er naar de WKK kan. Het koppelen van een fakkel aan dit overdrukventiel, waarbij het methaan eerst wordt verbrand tot het minder schadelijke CO₂ alvorens het in de atmosfeer terecht komt, biedt een oplossing.

3.1.2. Zorg voor een voldoende lange verblijftijd

Een voldoende lange verblijftijd voorzien, de tijd die de biomassa in de reactor verblijft, heeft verschillende voordelen:

- Bij mesofiele vergisting (37 – 42°C) verhindert een verblijftijd van minstens dertig dagen dat de micro-organismen die instaan voor de biogasproductie worden uitgespoeld via het digestaat. Dertig dagen is immers ongeveer de reproductietijd van deze micro-organismen. Bij een kortere verblijftijd kunnen de micro-organismen dus niet snel genoeg voortplanten en verlaagt hun aantal.
- Bij een te korte verblijftijd wordt het biogaspotentieel van de gevoede biomassa onvolledig benut in de reactor. Het resterende biogaspotentieel tijdens de digestaatopslag zal nog vrij hoog zijn, waardoor er tijdens die opslag nog resterend biogas geproduceerd zal worden. Aangezien de digestaatopslag niet gasdicht is, zal dit biogas in de atmosfeer terecht komen. Hoe langer dus de verblijftijd, hoe minder biogas er tijdens de digestaatopslag zal vrijkomen en in de lucht terecht

komt. Dit is dus een belangrijk aandachtspunt voor de maximalisatie van de broeikasgasemissiereductie.

De grootte van de reactoren die worden geplaatst, wordt dus best afgestemd op de hoeveelheid biomassa die de landbouwer dagelijks wilt voeden. Op basis van volgende formule kan simpel berekend worden welk effectief gevuld reactorvolume er nodig is voor de gewenste dagelijkse hoeveelheid gevoede biomassa:

$$\text{Voeding (m}^3\text{/dag)} \times \text{gewenste verblijftijd (dagen)} = \text{Benodigde reactorvolume (m}^3\text{)}$$

Op basis van de bovenstaande formule toont volgend rekenvoorbeeld aan hoeveel het effectieve reactorvolume moet zijn om een verblijftijd van 30 dagen te garanderen bij een dagelijkse voeding van 5 m³:

$$\text{Bv. } 5 \text{ m}^3\text{/dag} \times 30 \text{ dagen} = 150 \text{ m}^3$$

3.1.3. Zorg voor voldoende ontzwaveling en ontwatering van het biogas

Het biogas bevat naast methaan en CO₂ in mindere mate H₂S en waterdamp. Deze stoffen kunnen echter zelfs in kleine hoeveelheden schadelijk zijn voor de WKK en de levensduur ervan verkorten. Daarom is het belangrijk dat het biogas wordt ontzwaveld en ontwaterd alvorens het in de WKK terecht komt.

Het biogas kan ontzwaveld worden door in de reactor een zwavelnet of andere hechting te voorzien, waarop zwavelbacteriën zich kunnen bevestigen. Lucht zal via een compressor in de biogasininstallatie moeten gebracht worden om een leefbare omgeving voor deze zwavelbacteriën te creëren. Vlak voor de WKK kan ook een actief koolfilter worden geplaatst dat de resterende zwavel in het biogas kan opslorpen.

Eenzijds kan het biogas makkelijk ontwaterd worden door de gasbuis van de reactor naar de WKK enkele meters ondergronds te laten aflopen, waardoor het waterdamp condenseert en kan aflopen. Anderzijds kunnen koelvinnen (Figuur 1) in de leiding ook helpen bij het ontwateren van het biogas.



Figuur 1: voorbeeld van koelvinnen voor het ontwateren van het biogas.

3.1.4. Zorg voor een correct gebruik van de folie

Afhankelijk van de constructeur en het type installatie wordt een folie gebruikt voor het bekleden van een silo of het maken van een mestzak.

Na persoonlijke communicatie met de constructeur van deze folie worden enkele algemene richtlijnen duidelijk voor het gebruik van hun folie. De folie is geschikt voor temperaturen tot 70°C als het gaat om omgevingstemperaturen. Voor contact met warmte vloeistoffen zoals mest wordt geadviseerd niet boven de 43°C te gaan om versnelde veroudering te vermijden. Als de folie tijdens de confectie moet worden samengenaaid of gelast, moeten alle naden afgeplakt worden met

weekmakerbestendige tape. Coating blijkt geen goede oplossing te zijn om een lek in de folie te verhelpen.

Op basis van deze instructies kunnen er verschillende richtlijnen voor de constructeurs worden opgesteld:

- Zorg ervoor dat het warmwatercircuit voor de verwarming van de reactor niet in contact komt met de folie, aangezien dit warmwatercircuit temperaturen kan halen tot 90°C.
- Limiteer de reactortemperatuur tot 43°C.
- Gebruik bij het samennaaien of lassen van folie weekmakerbestendige tape.
- Gebruik bij lekken in de folie geen coating om het lek te dichten.

3.2. VARKENSSECTOR

Tijdens vergistingstesten op laboschaal en in de praktijk bij de vergister van Akivar en Inagro werd ondervonden dat bij het vergisten van varkensmest in vergelijking met vergisting van runderdrijfmest meer schuim wordt geproduceerd. Het is dus interessant om extra voorzieningen te voorzien om het schuim aan te pakken:

- Een groter reactorvolume zorgt voor een grotere schuimbuffer, terwijl een voldoende hoge verblijftijd kan worden gegarandeerd.
- Een extra mixer kan helpen het schuim beter onder controle te houden.
- Een schuimklopper helpt mee het geproduceerde schuim sneller te doen verdwijnen.
- Het voorzien van een schuimklep die overloopt naar een externe citerne zorgt ervoor dat het schuim op een nette manier kan worden afgelaten.

Het vergisten van de mestfractie van varkensmest lijkt uit het project stabiel en rendabeler te zijn dan het vergisten van varkensdrijfmest. Deze mestfractie heeft echter een droge stofgehalte tussen 20 en 30 % en is dus weinig verpompbaar. De installatie zal dus ook aangepast moeten worden zodat deze fractie aan de reactor kan gevoed worden. Dit kan ofwel door middel van een invoervijzel, ofwel door een voormengput met mixer om de mestfractie met ruwe varkensdrijfmest te mengen, of experimenteel eventueel door middel van recirculatie van het digestaat, zodat het verpompbaar wordt.

3.3. GROENTESECTOR

Ook bij het vergisten van groenteresten is de droge stofgehalte hoger dan bij het vergisten van ruwe mest. Deze biomassa is dus niet zomaar verpompbaar, waardoor de installatie aangepast moet worden zodat deze biomassa aan de reactor kan gevoed worden. Dit kan ofwel door middel van een invoervijzel, ofwel door een voormengput met mixer om de biomassa met een vloeistof te mengen, of eventueel door middel van recirculatie van het digestaat, zodat het verpompbaar wordt.

Om periodes zonder verse groenteresten te overbruggen, zal extra opslag moeten voorzien worden voor de tijdelijke opslag van deze groenteresten. In de periode zonder verse groenteresten kan deze opslag aangesproken worden om de vergister mee te voeden.

Afhankelijk van de groenteresten kan er nog heel wat aarde of zand achterblijven. Dit zand kan in de reactor een bezinkingslaag vormen, dat het effectief gevulde reactorvolume na verloop van tijd

zal verlagen. Daarom kan er optioneel een bezinkput of dergelijke voorzien worden, waarbij het zand vooraf grotendeels bezinkt.

Hoe groter het contactoppervlak, hoe beter de micro-organismen in de reactor de biomassa kunnen vergisten. Daarom worden de meeste groenteresten best verkleind alvorens deze in de reactor worden gebracht. Afhankelijk van welke groenteresten verkleind moeten worden, kan een aangepaste verkleiner een oplossing bieden.

4. Richtlijnen voor stallenbouwers

Verse mest is cruciaal om een zo hoog mogelijk biogaspotentieel te bekomen, m.a.w. hoeveel biogas er theoretisch gezien geproduceerd kan worden door vergisting onder ideale omstandigheden voor de micro-organismen. Het is dus zeer belangrijk om de mest zo snel mogelijk in de vergister te brengen. Voor de huidige varkensstallen is dat geen evidentie. Vaak wordt de mest slechts om de zoveel weken uit de mestkelder getrokken. Het biogaspotentieel daalt al snel naar 32 m³/ton mest in vergelijking met de 56 m³ biogas/ton mest bij runderdrijfmest. Een oplossing voor dat probleem is een aangepast stalsysteem, waarbij de mest dagvers kan worden afgevoerd en waar er eventueel een scheiding bij de bron gebeurt. Een overgang naar stalsystemen met een verse afvoer van mest lijkt dus een veelbelovende strategie te zijn om pocketvergisting ook zijn ingang te doen vinden op varkensbedrijven.

Een voorbeeld van een stalsysteem waar er primaire scheiding van de mest en urine plaatsvindt, is de VeDoWS-stal. In dit stalsysteem wordt varkensmest bij de bron gescheiden met het oog op het verminderen van ammoniakemissies. Meer specifiek valt de vers uitgescheiden mest door de roostervloer op een licht hellende betonvloer. De urine stroomt weg naar het centrale urinekanaal en de mestfractie wordt meerdere malen per dag via een mestschuif weggeschraapt. Het biogaspotentieel van deze mestfractie is bovendien veel groter dan dat van varkensdrijfmest, namelijk ongeveer 110 m³ biogas/ton verse mestfractie. Een belangrijke kanttekening bij dit systeem is dat het drogestofgehalte van de mestfractie (varieert van 20% tot 30%) vaak te hoog is om te verpompen, wat mogelijks leidt tot operationele problemen in een standaard pocketvergister. Het is dus belangrijk rekening te houden met diverse factoren die een invloed kunnen uitoefenen op het vergistingsproces, zoals de verpompbaarheid.

Daarnaast zijn er ook nog andere, innovatieve stalsystemen die een groot potentieel zouden kunnen bieden voor verse afvoer, is gebleken uit de studie stallenbouw. De meest rendabele opties blijken een kelderloze stal te zijn, waar bij de mest al dan niet gescheiden wordt van de urine.

5. Conclusies

De richtlijnen voor constructeurs van pocketvergisters zijn hoofdzakelijk volgende punten:

- Installeer een **fakkel** voor de optimalisatie van de broeikasgasemissiereductie.
- Stem de reactorgrootte af op de hoeveelheid biomassa die de landbouwer dagelijks aan de vergister wilt voeden en zorg voor een **minimale verblijftijd van dertig dagen**.
- Zorg ervoor dat het **biogas voldoende ontzwaveld en ontwaterd** wordt vooraleer het de WKK bereikt.
- Volg de instructies van de constructeur voor een **correct gebruik van de folie**.
- Zorg bij de varkenssector voor voldoende **maatregelen om de schuimproductie aan te pakken**.
- Bij het vergisten van enkel de mestfractie van varkensmest of van groenteresten moet de **invoer** van de installatie aan het droge stofgehalte worden aangepast.
- Voor vergisting van preiresten wordt best **extra infrastructuur** voor opslag, verkleining en optioneel ook voor zandverwijdering voorzien.

De richtlijnen voor stallenbouwers is samen te vatten in volgende punten:

- Het is belangrijk te zorgen voor een aanvoer naar de reactor van **verse varkensmest**.
- Een **scheiding van bij de bron** waarbij de mestfractie wordt afgescheiden van de urine zorgt voor een hoger biogaspotentieel.

Het project Pocket Power is een project van Inagro en Universiteit Gent dat wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.

Bijlage 3: Verbeterstrategieën op vlak van ontwerp en sturing van een pocketvergister

Verbeterstrategieën op vlak van ontwerp en sturing van een pocketvergister

*Uittesten van enkele (min. 1) veelbelovende
strategieën door de constructeur*

Inès Verleden

Anke De Dobbelaere

Tine Vergote

Pocket Power

1. Inhoudsopgave

1. INHOUDSOPGAVE	2
2. INLEIDING	3
3. VERMIJDEN METHAANVERLIEZEN	3
Affakkelen	3
Verhogen verblijftijd	3
Minder voeden	4
Verhogen reactor	4
Navergisting	4
Lekverliezen	4
4. LEVENSDUUR WARMTEKRACHTKOPPELING	5
5. REFERENTIES	6

2. Inleiding

Onderzoek binnen het project Pocket Power (Vergote et al., 2019) naar de kwantificering van de broeikasgasemissies en de optimalisatie van de procesperformantie heeft geleid tot het voorstellen van enkele veelbelovende strategieën op vlak van ontwerp en sturing van de kleinschalige vergistingsinstallaties om de emissies verder te reduceren en de performantie te verhogen. Deze werden besproken met de constructeur(s) en uitbaters, werden uitgetest en enkele strategieën werden ondertussen ook opgenomen in het ontwerp en de bouw van de huidige installaties.

3. Vermijden methaanverliezen

Het vrijkomen van methaan tijdens of na het vergistingsproces moet zoveel mogelijk vermeden worden. Methaanemissies bij een vergistingsinstallatie komen voornamelijk voor door het ontsnappen van methaan via eventuele lekken, via het overdrukventiel doordat de motor stilligt of doordat er meer biogas geproduceerd wordt dan door de WKK kan worden verbrand, door navergisting in de open digestaatopslag, of via methaanslip. Hiervoor zijn verschillende oplossingen mogelijk. Enerzijds kan het plaatsen van een fakkel na het overdrukventiel ervoor zorgen dat CH_4 wordt verbrand tot het minder schadelijke CO_2 alvorens het in de atmosfeer terecht komt. Anderzijds zorgt een hogere verblijftijd in de vergister ervoor dat het resterende methaanpotentieel van de mest in de digestaatopslag lager zal zijn en dus minder methaan nog zal vrijkomen. Ofwel kan navergisting ervoor zorgen dat het resterende methaanpotentieel na eerste vergisting nog gevaloriseerd wordt in de digestaatopslag zodat deze niet vrijkomt in de atmosfeer. Lekken in de (liner binnenin) de reactor of mestzak, waarbij methaan of actief substraat kan lekken, zijn soms moeilijk op te sporen, maar worden best zo snel mogelijk gedicht. Methaanslip is methaan dat ontsnapt via de motoruitlaat door onvolledige verbranding. Jammergenoeg kan dit niet worden vermeden, alleen worden beperkt door keuze van de WKK-motor.

Affakkelen

Methaanemissies via het overdrukventiel kunnen beperkt worden door hier een fakkel na te plaatsen (Paolini et al. 2018). Op deze manier wordt het methaan, dat 25 maal het aardopwarmingsvermogen heeft van CO_2 (Eurostat 2019), omgezet naar het minder schadelijke CO_2 . De constructeur biedt dergelijke fakkel ondertussen ook (optioneel) aan voor zowel nieuwe als bestaande installaties. In het buitenland werden er bij installaties van deze constructeur reeds geplaatst, in Vlaanderen werd er reeds één offerte aangevraagd.

Verhogen verblijftijd

Het verhogen van de verblijftijd (d.w.z. de periode waarin de mest gemiddeld in de reactor aanwezig is) tot een minimum van de aangeraden dertig dagen zal bijdragen aan het verhogen van de performantie, alsook tot het reduceren van de broeikasgasemissies. Immers, hoe langer de mest kan vergisten, hoe meer biogas er geproduceerd kan worden en hoe minder methaan er nog zal navergisten in de digestaatopslag (Zeeman 1991). Een te lage verblijftijd geeft daarnaast aanleiding tot uitspoeling van de microbiologie in de reactor wat een stabiele procesvoering bemoeilijkt. Reactoren die te klein gedimensioneerd zijn, bieden bovendien weinig buffer om evt. schuimproductie op te vangen.

Tussen mei 2018 en maart 2019 werd quasi maandelijks een uitgebreide enquête uitgestuurd aan bestaande uitbaters van pocketvergisters in Vlaanderen in kader van het project Pocket Power en de Operationele Groep Pocketboer. Hieruit blijkt dat 75 % van de oorspronkelijk gebouwde pocketvergisters te klein gedimensioneerd waren in functie van de hoeveelheid mest die op het bedrijf aanwezig is. De verblijftijd lag bij deze installaties tussen de 8,3 en 57,1 dagen en bedroeg gemiddeld 25,91 dagen. Om de verblijftijd te verhogen zonder een

geheel nieuwe installatie te bouwen is men genoodzaakt om: ofwel de reactor minder te gaan voeden, ofwel de reactor met een paneel te gaan verhogen om een groter effectief volume te creëren.

Minder voeden

Vier uitbaters gaven aan hun reactor minder te gaan voeden om de verblijftijd te verhogen. Bijvoorbeeld: één uitbater ging van 13,4 naar 28,3 dagen, een andere van 9,5 naar 22,2 dagen, ... Hoewel de finale verblijftijd nog steeds lager is dan de aanbevolen 30 dagen, zorgt de hogere verblijftijd reeds voor minder methaanemissies in de digestaatopslag.

Verhogen reactor

Anno eind 2019 lieten reeds drie uitbaters hun reactor verhogen door de constructeur om op die manier meer buffer voor het schuim te hebben en also het effectief gevulde volume te kunnen vergroten. Ook andere uitbaters zullen ongetwijfeld nog volgen vanwege het schuimprobleem. Bij het voeden van dezelfde hoeveelheid als voordien, heeft een groter effectief reactorvolume een hogere verblijftijd tot gevolg.

- Eén van deze landbouwers verhoogde via deze manier zijn verblijftijd van 10 naar 15,6 dagen en is zeer tevreden van zijn investering. Volgens de uitbater draait zijn installatie stabiel en is het makkelijker deze op temperatuur te houden.
- De tweede uitbater vermeldde dat er door het verhogen van de reactor op een veilige manier meer ruimte voor mest, gas en schuim is. De verblijftijd van de installatie werd hierdoor verhoogd naar 17,1 dagen.
- De derde uitbater verhoogde de reactor voornamelijk om meer schuimbuffer te hebben. Voordien was het niveau binnenin de reactor door het overtollige schuim zo laag dat de mixer niet kon gebruikt worden. De uitbater is tevreden van de verhoging omdat de installatie nu beter draait en er minder controlewerk is van de schuimhoogte. Er zijn echter geen gegevens over de verblijftijd.

Ook een tweede constructeur houdt op basis van ons advies meer rekening met de benodigde reactorgrootte op basis van de beschikbare hoeveelheid mest om op deze manier zowel voldoende ruimte te hebben als buffer voor schuim, alsook een voldoende hoge verblijftijd.

Navigering

Om methaanverliezen in de digestaatopslag te gaan vermijden, kan er aan navigering worden gedaan. Hierbij gaat het digestaat, alvorens naar de digestaatopslag te gaan, eerst nog naar een tweede reactor. In deze extra reactor kan het digestaat verder uitgisten en het extra biogas nog gevaloriseerd worden. Hierin is meestal geen verwarmingselement meer aanwezig, maar wel nog een roerwerk en een gasopslag. Het dimensioneren van de navigerier en aldus de totale verblijftijd (reactor én navigerier) wordt berekend op basis van het biogaspotentieel. De totale verblijftijd moet voldoende zijn om ervoor te zorgen dat er geen microbiële vergistingsactiviteit meer zal plaatsvinden in de digestaatopslag. Een andere optie is om de digestaatopslag volledig te overdekken en het nog geproduceerde biogas op te vangen en te valoriseren door naar de motor sturen.

In Vlaanderen wordt dit momenteel nog niet toegepast. In Nederland in de provincie Brabant wordt de technologie door de constructeur bij een uitbater uitgetest. Het is mogelijk dat in sommige landen navigerier wordt verplicht. Zeker bij grootschalige installaties zijn er reeds landen waar er volgens de wetgeving een minimale verblijftijd verplicht is, waar vaak aan voldaan wordt door de combinatie van vergistings- en navigerier.

Lekverliezen

Oorspronkelijk werden de vergistingsinstallaties van de constructeur geplaatst als "mestzakken". De mest werd in een grote zak van folie/liner gepompt. Om de mest op temperatuur (37 – 42°C) te brengen voor het

vergistingsproces, werden verwarmingsleidingen doorheen de folie gebracht die op sommige plaatsen ook in rechtstreeks contact met de folie kwamen. Het water in de verwarmingsleidingen kan echter temperaturen tot 90°C halen.

Nadat verschillende mestzakken lekken vertoonden, werd het gebruik van de folie/liner in vraag gesteld. De fabrikant van de folie werd gecontacteerd en gaf aan dat het gebruik van hun folie door de constructeur niet correct gebeurde:

- Naden moeten afgetapet worden met weekmakerbestendige tape om migratie van de mest in de snijkanten te vermijden. Dit was niet het geval. In plaats daarvan waren de naden gelast.
- Rechtstreeks contact met de verwarmingsleidingen met water van 85°C werd sterk afgeraden. De folie is volgens de fabrikant slechts bestand tegen kortstondige omgevingstemperaturen (lucht) van 70°C. Voor langdurige contacttemperaturen moet gerekend worden met maximaal toelaatbare temperaturen van om en bij de 55°C in geval van contact van de liner met biogas, en eerder 40 – 45°C in geval van contact met mest/digestaat (persoonlijke communicatie).

Deze problemen werden aangehaald bij de constructeur. Ondertussen is het verwarmingssysteem bij 10 installaties omgebouwd, waarbij de liner samen met het verwarmingssysteem werd vervangen om contact tussen de liner en de verwarmingsleidingen te vermijden.

Daarnaast kan er ook methaan ontsnappen via onmerkbare lekken. Deze kunnen opgespoord worden door middel van een gaslekdetectie. De kost hiervan is echter disproportioneel met de grootte van de installaties en wordt daarom zelden bij kleinschalige installaties uitgevoerd.

4. Levensduur warmtekrachtkoppeling

De warmtekrachtkoppeling (WKK), de motor die het biogas verbrandt en gekoppelde generator die aansluitend elektriciteit en warmte produceert, moet aangepast zijn aan het verbranden van biogas. In dat biogas zit er namelijk waterdamp en zwavel, onder de vorm van H_2S . Als deze in de motor terechtkomen, verkorten deze gassen de levensduur van de WKK aanzienlijk. De WKK's van de pocketvergisters, die normaal zo'n 50 à 60 000 draaiuren zouden moeten meegaan, gaan momenteel echter al stuk na een gemiddelde van 12 000 draaiuren. Sommige hiervan nog eerder.

De constructeur werd van dit probleem op de hoogte gesteld en het biogas wordt nu beter ontwaveld en ontwaterd vooraleer het in de motor terechtkomt. Een actief koolfilter helpt bij de verwijdering van H_2S uit het biogas vóór het gas in de motor komt. Bovendien wordt er nu ook een dubbele zwavelsensor voorzien op de gasleiding, vóór en na de actief koolfilter. Op deze manier kan men concreter bepalen wanneer de actief koolfilter verzadigd is en dus vervangen moet worden.

Bovendien wordt er nu vóór de WKK én de actief koolfilter een gasontwatering voorzien. Het biogas wordt gekoeld, waardoor de waterdamp die aanwezig is in het biogas zal gaan condenseren. Het condenswater dat hierbij geproduceerd wordt, wordt opgevangen en kan manueel worden afgelaten. Dit proces voorkomt dat de actief koolfilter nat wordt. Een natte actief koolfilter functioneert immers minder goed en gaat minder lang mee.

5. Referenties

- Eurostat. 2019. *Greenhouse gas emission statistics - emission inventories*. Eurostat - Statistics Explained.
- Paolini, V., F. Petracchini, M. Segreto, L. Tomassetti, N. Naja, and A. Cecinato. 2018. "Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge." *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 53 (10): 899-906. <https://doi.org/10.1080/10934529.2018.1459076>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29652205>.
- Vergote, T. L., Vanrolleghem, W. J., Van der Heyden, C., De Dobbelaere, A. E., Buysse, J., Meers, E., & Volcke, E. I. (2019). Model-based analysis of greenhouse gas emission reduction potential through farm-scale digestion. *Biosystems Engineering* 181: 157-172.
- Zeeman, G. 1991. "Mesophilic and Psychrophilic Digestion of Liquid Manure." Doctor PhD, Landbouw- en milieuwetenschappen, Wageningen University & Research. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/202851>.

Het project Pocket Power is een project van Inagro en Universiteit Gent dat wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.



Bijlage 4: Juridisch rapport



The force behind your company

Stationsstraat 100,
3360 Lovenjoel

Rapport: Pocket power Wettelijk kader voor specifieke cases

United Experts cvba - Koolmijnlaan 201 - B-3580 Beringen
T. 0800 90 910- F. 011 60 90 69
BTW BE 0457580078 – Bank 235-0518335-76 DLV is een merknaam van United Experts.

Opgesteld door: Lies Bamelis / Filip Raymaekers
Versie nummer: 2
Datum : 19/03/2019

Inhoud

1	Inleiding	3
2	CASE 1 : Co-vergisting bij rundveebedrijf.....	3
2.1	Beschrijving Case	3
2.2	Wettelijke verplichtingen voorafgaand aan de bouw van de installatie	3
2.3	Wettelijke verplichtingen m.b.t. afzet digestaat	5
2.4	Wettelijke verplichtingen m.b.t. uitbating	5
2.5	Administratieve verplichtingen.....	7
3	CASE 2 : Mono-vergisting bij mestvarkensbedrijf	7
3.1	Beschrijving Case	7
3.2	Wettelijke verplichtingen voorafgaand aan de bouw van de installatie	8
3.3	Wettelijke verplichtingen m.b.t. afzet digestaat	8
3.3.1	Variant 1 : afzet op eigen land	8
3.3.2	Variant 2 : deels afzet op eigen land, deels naar mestverwerker	8
3.4	Wettelijke verplichtingen m.b.t. uitbating	9
3.5	Administratieve verplichtingen.....	9

1 Inleiding

In het kader van het IWT-LA project “Pocket Power” dient er voor 2 case studies het wettelijk kader uitgewerkt te worden. Deze cases werden doorgegeven door Inagro op basis van de ervaringen en vragen vanuit de project werking.

2 CASE 1 : Co-vergisting bij rundveebedrijf

2.1 Beschrijving Case

Een landbouwbedrijf met ongeveer 80 melkkoeien wilt een kleinschalige vergisting uitbaten. Voor het melken van de koeien wordt er met een melkrobot gewerkt.

Het landbouwbedrijf beschikt over voldoende eigen land om de volledige hoeveelheid digestaat op af te zetten. Daarnaast worden ook verschillende bedrijfseigen reststromen (kuilresten maïs en oogstresten) gevoed aan de vergister. Gezien het bedrijfseigen afvalstromen betreft worden deze volgens de wetgeving niet beschouwd als afvalstof.

Met het biogas dat geproduceerd wordt in de biogas installatie wordt er een WKK-motor aangedreven met een vermogen van 25 kWe.

2.2 Wettelijke verplichtingen voorafgaand aan de bouw van de installatie

Vooraleer er gestart kan worden met de bouw van een vergistingsinstallatie moet er toestemming gegeven worden door de bevoegde overheid. Sinds 23/02/2017 voor klasse 1 en sinds 01/01/2018 voor klasse 2 en 3 is daarvoor een **OMGEVINGSVERGUNNING** nodig, welke alle aspecten van de vroegere bouw- en milieuvergunning combineert.

In deze case worden er geen afvalstromen toegevoegd aan de vergister (bedrijfseigen reststromen worden niet beschouwd als afvalstof). Wel wordt er van uit gegaan dat het landbouwbedrijf al een vergunning heeft voor de exploitatie van het landbouw bedrijf (in deze case is dat als een Klasse 2 landbouwbedrijf – rubriek 9).

De vergistingsinstallatie kan dan – indien nodig - toegevoegd worden als een Klasse-3 rubriek aan de bestaande vergunning als mest-opslag. Deze dient wel mee opgenomen te worden al een proceswijziging (staleigensysteem van mestbe/verwerking).

Wel moet ook de rubriek voor de productie van (bio)gas meegenomen worden, van zodra er een productie is van meer dan 1 m³/hr. Ook dit blijft een Klasse 3 rubriek zolang de productie onder 10

m³/hr blijft. Moest er boven deze drempel gegaan worden wordt het een Klasse 2 bedrijf. Hier zal het klasse 2 zijn gezien een motor van 25 kW ongeveer 12 à 13 m³ gas vraagt.

Bij het opmaken van de vergunningsaanvraag moeten ook al de andere rubrieken van de indelingslijst die mogelijk van toepassing zijn aangevraagd worden, gaande van warmtewisselaars, koeling tot de WKK-motoren. Voor een kleinschalige vergistingsinstallatie zijn dit normaliter geen Klasse 1 rubrieken meer, enkel indien het biogas debiet meer dan >100 Nm³ zou zijn kan er nog een bijkomende Klasse 1 rubriek voorkomen. Ruw geschat komt 100 Nm³/hr overeen met een WKK met een capaciteit van ongeveer 200 kW.

BELANGRIJKE NOTA : Sinds de start van de omgevingsvergunning zijn verleende vergunningen aan te vragen voor onbepaalde duur . Dit in tegenstelling tot de vroegere milieu-vergunning, welke elke 20 jaar opnieuw vergund zou moeten worden.

Voor dit type vergunning/activiteit is geen OBO noodzakelijk.
Ook zijn de activiteiten niet MER plichtig, noch voor een MER screening.
Een passende beoordeling is in dit geval niet nodig.

In het proces van de aanvraag van de omgevingsvergunning kunnen (afhankelijk van de activiteiten) bijkomende studies vereist zijn : zo heb je de regeling van grondverzet (boven de 500 m³), moet je een archeologienota indienen wanneer je “verstoring van de bodem” doet van meer dan 5000 m² in landbouwgebied en moet je een sloopvolgingsplan opmaken indien je meer dan 1.000 m³ gaat slopen (indien residentieel ligt deze laatste drempel op 5.000 m³).

Bij het opmaken van de plannen moet met volgende aspecten rekening gehouden worden volgens de sectorale voorwaarden (Rubriek 9 - dieren) :

Vaste dierlijke mest buiten de stal

- Vloer moet voorzien zijn in verhard materiaal (mestdicht)
- De opslagplaatsen moeten langs 3 zijden omgeven zijn door mestdichte wanden van voldoende hoogte. De vierde zijde moet zo voorzien zijn dat afspoeling van drain- en regenwater uit de opslagplaats niet mogelijk is
- Het drainwater moet opgevangen kunnen worden voor afzet op land, ofwel gezuiverd worden voor lozing.
- De plaatsing van de opslag wordt zo gekozen dat het risico op verontreiniging van het oppervlaktewater wordt beperkt (helling en afvloeirichting van de vloer niet richting oppervlaktewater)
- De inplanting wordt zo voorzien dat geurhinder voor de omgeving wordt voorkomen of beperkt tot normale burenlust

Voor mestbewerkingsinstallaties

- Gemorste mest moet kunnen worden opgevangen en terug in bestaande mestopslag gebracht worden

- Er moeten maatregelen genomen worden om te kunnen voorkomen dat reinigingswater, percolaat of mest op de bodem kan terechtkomen of in de afvoer van hemelwater.
- Slangen voor het verpompen van mest moeten steeds leeg kunnen lopen in een opvang (bak of goot).

Installaties met productie van biogas door vergisting

- De inrichting is ontoegankelijk voor onbevoegden
- De biogasopslag is voorzien van een overdrukbeveiliging

Voor de bouwwerken moet er wel een deel stedenbouw van de omgevingsvergunning aangevraagd worden. Een aantal werken zijn hiervan vrijgesteld – afhankelijk van de inplanting, nabijheid bij reeds vergunde gebouwen, etc. Dit is geval per geval te bekijken.

2.3 Wettelijke verplichtingen m.b.t. afzet digestaat

Het digestaat kan in zijn geheel afgezet worden op de eigen gronden. Dat maakt dat de vergistingsinstallatie in principe een mest-bewerking is, en geen mestverwerking (de nutriënten gaan terug naar de Vlaamse landbouwgrond).

Ook is er geen handel in het digestaat, want het gaat volledig naar de eigen gronden. Dit heeft volgende voordelen :

- Er is geen FOD ontheffing nodig
- Er is geen FAVV-erkenning (als bodem verbeterend middel) nodig
- Er is geen Vlaco keuring nodig
- Er is geen 1069-light erkenning nodig
- Men dient wel een geldige N/P analyse te hebben van maximaal 3 maanden oud
- Er is een BV nummer nodig van de mestbank

De transporten van het digestaat blijven onderhevig aan de “mestwetgeving” :

- TRACES is niet van toepassing, want afzet op eigen gronden
- Opmaken van mestafzetdocumenten blijft van toepassing: burenregeling en overdrachten zijn niet meer mogelijk.
- De uitrijregeling blijft van toepassing

2.4 Wettelijke verplichtingen m.b.t. uitbating

Gezien er geen expliciete vergunning als mestbewerking opgenomen is, dient aan deze sectorale voorwaarden niet voldaan te worden. Wel moet er voldaan worden aan de sectorale voorwaarden van het landbouwbedrijf (inclusief de eigen mestbewerking) – maar normaliter moeten deze hoe dan ook voldaan zijn voor het bedrijf.

Dit betreft onder meer :

- Eventueel gemorste mest moet opgeruimd worden en terug bij de mestopslag gevoegd worden
- Er moeten maatregelen getroffen worden zodat reinigingswater, percolaat of mest niet op de bodem of in de afvoerbuizen van hemelwater kan terechtkomen
- Het geloosde afvalwater moet voldoen aan de lozingsnormen
- De emissiegrenswaarde van ammoniak moet gerespecteerd worden
- De BBT moeten toegepast worden

Daarnaast moet er ook voldaan worden aan de sectorale voorwaarden m.b.t. de productie van (bio)gas (tenzij $< 1\text{Nm}^3/\text{hr}$ gasproductie):

- Gassen moeten binnen de daarvoor bestemde volumes opgeslagen worden
- Voorzorgsmaatregelen worden getroffen om te vermijden dat gassen met elkaar of met andere stoffen in contact komen
- De exploitant zorgt ervoor dat bij herstellen, lek, ontsnapping via veiligheidsklep e.d. het ontsnappende gas de buurt niet hindert, noch de omgevingslucht, de bodem, het oppervlaktewater noch het grondwater. Eventueel kan er een evacuatieleiding aangelegd worden
- De elektrische installaties, toestellen en verlichtingstoestellen moeten beantwoorden aan de voorschriften van de Codex voor Welzijn op het Werk en van het AREI
- De exploitant houdt elk keuringsattest van de elektrische installatie en, indien van toepassing, het zoneringsplan ter inzage.
- Dampen, nevels en gassen worden op de plaats waar ze ontstaan opgevangen en zo nodig naar een afgasbehandeling geleid

Voor inrichtingen waar biogas geproduceerd wordt geldt (uitgebreid sinds 01/07/2017):

- Er wordt een werkplan opgemaakt
- De inrichting is ontoegankelijk voor onbevoegden
- De biogasopslag is voorzien van een overdruk beveiliging. Deze wordt op regelmatige tijdstippen gecontroleerd. Indien de overdruk beveiliging een waterslot is, wordt deze tijdig bijgevuld om doorslag van het waterslot te voorkomen.
- Elke vergister moet gebouwd worden volgens de regels van goed vakmanschap. Na de afwerking van de bouw wordt er door een deskundige een attest afgeleverd dat aantoont dat de bouwwerken werden uitgevoerd conform de regels van goed vakmanschap.
- Alle geur – en stof veroorzakende processen gebeuren in een gesloten ruimte in onderdruk
- De afgezogen ventilatielucht wordt behandeld met een zure wasser, gevolgd door een biobed
- Goede opvolging van de luchtbehandeling
- In de zure wasser wordt er een geautomatiseerd systeem voor zuurdosering voorzien
- Continue registratie van het aantal draaiuren van de circulatiepomp van de zure wasser
- Emissiegrenswaarde ligt op $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ bij een massastroom van 150 g/h of meer voor de afgezogen ventilatielucht. De concentratie ammoniak moet 3-maandelijks gemeten worden.

Van verschillende van deze punten kan eventueel afgeweken worden, indien dit expliciet zo vermeld staat in de vergunning.

Daar sommige biogasinstallaties dicht bij woongebied liggen dient er dan extra aandacht besteed te worden aan volgende punten:

Geluidshinder

Best een geluidsnota laten opstellen met de bronnen en imissiezones.

Mobiliteit

Indien er gewerkt zou worden met externe toevoer en afvoer van stromen is het belangrijk preferentiële aanvoer en afvoerroutes te definiëren. Bij smalle wegen (bv. veldwegen) kan het aangewezen zijn uitwijkstroken te voorzien. Best eveneens verkeersborden voorzien bij het verlaten van de site (stopteken, verplichte route bij verlaten terrein).

Geurhinder

Indien er geurklachten zijn kan men best een geuronderzoek laten uitvoeren met de verschillende bronnen en de immissies. Vaak is de geur afkomstig van het dierbedrijf en niet van de biogas. Soms kan wel biogas geroken worden - dan gebeurt er best een infra rood scan met speciale camera.

2.5 Administratieve verplichtingen

Volgende administratieve verplichtingen zijn noodzakelijk voor deze case :

- Mestbank aangifte
- VMM aangifte
- Opvolging nutriënten balans op basis van voldoende geldige analyses
- Keuringsattesten elektrische installatie
- Zoneringsplan
- Verslagen van de onderzoeken van de milieudeskundige in de discipline houders voor gassen of gevaarlijke stoffen
- Attest dat verklaart dat bouw van de vergister gebeurde volgende de regels van goed vakmanschap
- Goedgekeurd werkplan
- Logboek van de luchtbehandelingsinstallatie (als van toepassing)

3 CASE 2 : Mono-vergisting bij mestvarkensbedrijf

3.1 Beschrijving Case

Een bedrijf met 5000 mestvarkens wilt een kleinschalige vergistingsinstallatie op zijn bedrijf plaatsen. In deze installatie zou enkel mest vergist worden.

Voor de afzet van het digestaat worden er twee variantes bekeken :

1. Het digestaat kan volledig op eigen land afgezet worden
2. Het digestaat wordt deels op eigen land afgezet, het resterende deel wordt afgezet bij een mestverwerker.

Met het biogas uit de vergister wordt een kleine WKK-motor ($\leq 10\text{kWe}$) aangedreven.

3.2 Wettelijke verplichtingen voorafgaand aan de bouw van de installatie

Deze situatie is identiek aan de situatie beschreven in Case 1.

Voor de wettelijke verplichtingen : zie hoofdstuk 2.2

3.3 Wettelijke verplichtingen m.b.t. afzet digestaat

3.3.1 Variant 1 : afzet op eigen land

Deze variant – gezien er geen afval vergist wordt, en de afzet volledig op eigen land kan gebeuren – loopt gelijk aan de eerste case studie. Dit is veruit de meest eenvoudige oplossing – zie hoofdstuk 2.3.

3.3.2 Variant 2 : deels afzet op eigen land, deels naar mestverwerker

In deze variant zal er wel “gehandeld” worden in het digestaat afkomstig van de pocketvergister. Op dat moment treden er een aantal bijkomende wettelijke maatregelen in voegen.

Deze zijn :

- Er is een 1069-light erkenning nodig (alleen afzet binnen Vlaanderen, anders een Full 1069)
 - o Gezien enkel mest, is hygiënisatie NIET vereist
- Er is een FOD-ontheffing nodig
- Er is een FAVV erkenning nodig als producent bodemverbeterend middel*
- Er is **geen** VLACO keuring nodig, want geen afvalstoffen
- Er is een BV nummer nodig van de mestbank

**Aangezien er geen VLACO keuring nodig is, is er ook geen VLACO handboek aanwezig (kwaliteitshandboek). In dit handboek worden veel verplichting opgenomen die ook gelden voor de FOD erkenning en voor de 1069 erkenning. Die zaken moeten dan wel in een beknopt handboek opgemaakt worden (tracering, analyseplanner, recall etc).*

De transporten van het digestaat blijven onderhevig aan de “mestwetgeving” :

- TRACES is niet van toepassing, want afzet op eigen gronden
- Opmaken van mestafzetdocumenten blijft van toepassing
- De uitrijregeling blijft van toepassing

3.4 Wettelijke verplichtingen m.b.t. uitbating

De situatie voor deze case is volledig gelijk aan deze van de eerste case (voor beide varianten).
Zie daarom hoofdstuk 2.4

3.5 Administratieve verplichtingen

De situatie voor deze case is volledig gelijk aan deze van de eerste case (voor beide varianten).
Zie daarom hoofdstuk 2.5



Dit project wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, AB Milieusystemen, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.



Bijlage 5: Biogastractor

Biogastractor

Alternatieve valorisatiemogelijkheid voor biogas?

Sander Vandendriessche
Anke De Dobbelaere
Inès Verleden

WP4, T4.5: Evaluaties van energetische valorisatie-opties via scenario-analyse
Pocket Power

Biogastractor

VLAIO LA-project Pocket Power

Inhoud

Inhoudsopgave	1
Lijst met afbeeldingen.....	2
Lijst met tabellen.....	2
1 Inleiding	3
2 Biogastractor	3
2.1 Tractor aangedreven door biomethaan.....	4
2.1.1 Van biogas naar biomethaan	4
2.1.2 Enkele voorbeelden van tractoren op biomethaan.....	8
2.1.3 Rendabiliteit.....	10
2.2 Tractor aangedreven door elektriciteit.....	14
2.3 Tractor aangedreven door beperkt opgewerkt biogas.....	17
2.3.1 Invloed van CO ₂ -fractie in biogas op de motorperformantie.....	17
2.3.2 Rijden op niet-opgewerkt biogas?	17
2.4 Milieu-impact.....	19
3 Conclusie.....	20
4 Referenties.....	22

Lijst met afbeeldingen

Figuur 1: De vorming van methaan uit waterstof en koolstofdioxide (Electrochaea 2019).....	7
Figuur 2: Microbiële elektrolysecel voor de opzuivering van biogas (Angelidaki et al., 2019)..	8
Figuur 3: Biogastractor van CNH (Expo Biogas - Lille, 2019)	8
Figuur 4: Valtra Dual Fuel tractor (Valtra)	9
Figuur 5: Kostenverdeling productie biomethaan (Krassowski, 2010).....	10
Figuur 6: Operationele kosten van enkele biogas upgrading technieken (Angelidaki et al., 2019).....	11
Figuur 7: Kost van de productie van biomethaan als een functie van de verwerkingscapaciteit (Muñoz Torre, 2019).....	12
Figuur 8: Operationele kosten van verschillende H ₂ S-verwijderingstechnologieën (Muñoz Torre, 2019).....	12
Figuur 9: Evolutie van de biomethaanproductie (Muñoz Torre, 2019).....	13
Figuur 10: Toename gebruik biomethaan in de transportsector in Zweden, uitgedrukt in GWh per jaartal (Backman and Rogulska, 2016)	13
Figuur 11: Fendt Vario e100 (Landtechnikmagazin).....	15
Figuur 12: Sesam (John Deere) (Agriland).....	16
Figuur 13: Elektrische wiellader (Kramer) te Zevekote (Derycke, 2019).	16
Figuur 14: a) De verbrandingswarmte van biogas neemt af naargelang de hoeveelheid CO ₂ stijgt. b) Consumptie van biogas bij in dual fuel modus (Kruczyński et al., 2013).....	18
Figuur 15: CO ₂ -uitstoot van verschillende brandstoffen	19

Lijst met tabellen

Tabel 1: Specificaties om CNG als brandstof te gebruiken tegenover de samenstelling van ruw biogas (Kruczyński et al., 2013).	4
Tabel 2: Enkele eigenschappen van biogas (Feroskhan and Ismail, 2016)	5
Tabel 3: Mogelijke technieken die gebruikt kunnen worden bij de opwerking van biogas tot biomethaan (Angelidaki et al., 2019).....	5

1 Inleiding

Een pocketvergister wordt voornamelijk gedimensioneerd op het energieverbruik van het landbouwbedrijf. Op sommige bedrijven is het elektriciteitsverbruik te laag om een installatie rendabel te rekenen; op andere bedrijven is er dan weer nog mest (of reststromen) over voor uitbreiding van de biogasproductie. Het is echter niet rendabel om meer elektriciteit te produceren dan men zelf nodig heeft. Elektriciteit geïnjecteerd op het net levert namelijk een kleinere vergoeding op dan de gemiddelde energiekost waardoor het aangewezen is het energieverbruiksprofiel zo veel mogelijk af te stemmen op het productieprofiel (Enerpedia, 2015). Zeker met het op de helling staan van de terugdraaiende teller wordt dit nu steeds belangrijker.

Het gebruik van een tractor aangedreven door biogas zou deze extra energiestroom mogelijk wel op een efficiënte manier kunnen valoriseren. Hierdoor zou biogasproductie met behulp van een pocketvergister voor meer bedrijven van toepassing kunnen zijn. Bovendien kan er meer bespaard worden op fossiele energie aangezien het dieselgebruik gereduceerd wordt. Daarom wordt in deze scenario-analyse onderzocht hoe dit biogas verder gevaloriseerd kan worden door gebruik ervan in een biogastractor. Er zijn drie mogelijkheden om biogas verder te valoriseren tot het aandrijven van een tractor:

- Biogas opzuiveren tot biomethaan en dan hierop rijden.
- Elektriciteit maken uit biogas om deze elektriciteit te gebruiken voor het aandrijven van een elektrische tractor.
- Rechtstreeks op biogas rijden.

Door bedrijfseigen biomassa te gaan vergisten kunnen landbouwers die over een eigen vergistingsinstallatie beschikken autonoom te werk gaan en als het ware energieonafhankelijk worden. Reststromen op een landbouwbedrijf worden zo optimaal gevaloriseerd met een lagere kostprijs tot gevolg. Brandstofkosten kunnen namelijk al snel tot 30% uitmaken van het totale kostenplaatje van een tractor, afhankelijk van de sterk fluctuerende brandstofprijzen (Landbouwleven, 2017).

De belangrijkste evaluatiecriteria bij het gebruik van een biogastractor zijn autonomie (Hoe lang kan een tractor rijden vooraleer er getankt moet worden?) en werking in vergelijking met een conventionele tractor (Is het vermogen en koppel hetzelfde?).

In dit document zullen de mogelijkheden omtrent een biogastractor – die werkt op biogas geproduceerd in een pocketvergister op landbouwbedrijven – onderzocht worden. Hierbij is ook de rendabiliteit van groot belang: het heeft namelijk geen zin om een dure opzuiveringstechniek te voorzien wanneer zou blijken dat de terugverdientijd hiervan te lang is. Het is daarbij wel interessant om te bekijken onder welke omstandigheden de diverse cases wel rendabel zouden kunnen worden.

2 Biogastractor

Het is een logische stap om een tractor te ontwikkelen die aangedreven wordt door biogas of een afgeleid product. Andere voertuigen beschikken namelijk reeds langer over deze mogelijkheid. Daarom onderzochten Nizar et al. (2008) reeds ruim tien jaar geleden of het mogelijk was een tractor om te bouwen tot een biogastractor. Deze tractor werd uitgerust met vier gascilinders die elk 26,5 liter opgezuiverd biogas (= biomethaan) bevatten. Onder meer Valtra en Case New Holland (CNH)

ontwikkelden reeds (demo)modellen (Loonwerker, 2014, Biogas-E, 2015). Ook tractoren die aangedreven worden op elektriciteit komen steeds vaker ter sprake en werden reeds ontwikkeld door John Deere, Fendt en Soletrac (Field, 2018, Hill, 2018, Richardson, 2018). Rijden op ongezuiverd biogas is voorlopig nog niet aan de orde.

2.1 Tractor aangedreven door biomethaan

Biogas kan, na opwerking tot aardgaskwaliteit, worden gecomprimeerd tot Compressed Bio Gas (CBG) en vloeibaar gemaakt worden tot Liquid Bio Gas (LBG). Het product heeft dan dezelfde eigenschappen als Compressed Natural Gas (CNG) en Liquid Natural Gas (LNG) waardoor voertuigen die voorzien zijn om op aardgas te rijden zonder verder aanpassingen ook op biomethaan kunnen rijden. Deze brandstof veroorzaakt vrijwel geen fijn stof of NO_x-uitstoot.

CBG wordt ook soms bio-CNG genoemd. Het methaangehalte van bio-CNG is hoger dan 90% en 1 kilogram is qua energie-inhoud te vergelijken met 1 liter diesel. Analoog wordt LBG soms bio-LNG genoemd. Het gas wordt vloeibaar gemaakt door het te koelen tot een zeer lage temperatuur (-162 °C). Het methaangehalte loopt hierbij op tot 100% en de actieradius per liter is 2,5 keer zo groot als bij bio-CNG. Het nadeel van bio-LNG is echter dat er veel energie nodig is voor het vloeibaar maken van het gas (Ingenia, 2019).

2.1.1 Van biogas naar biomethaan

Biogas bestaat uit veel componenten die gevormd worden gedurende het anaerobe fermentatieproces en de methaaninhoud hangt af van enkele factoren zoals de voeding, verblijftijd, temperatuur, ... Tabel 1 illustreert dat de typische samenstelling van ruw biogas niet voldoet aan de vereisten van CNG, zeker met betrekking tot waterdamp, zwavel en methaaninhoud. Het afkoelen, dehydrateren en verwijderen van corrosieve stoffen zoals waterstofsulfide (H₂S) en inerte gassen zoals CO₂ en N₂ is dus een eerste noodzakelijke stap vooraleer dit gekarakteriseerd kan worden als bio-CNG (Kruczyński et al., 2013). Volgens Mark Howell (CNH, Global Product Manager Alternative Fuels) dient het biomethaan zo zuiver en droog mogelijk te zijn. H₂S en vocht kunnen namelijk de motor beschadigen. Ook dient dit vermeden te worden aangezien zwavel een belangrijke component is van zure regen.

Tabel 1: Specificaties om CNG als brandstof te gebruiken tegenover de samenstelling van ruw biogas (Kruczyński et al., 2013).

Component	CNG specificaties (vol%)	Ruw biogas (vol%)
Methaan (CH ₄)	>88	>48
Ethaan (C ₂ H ₆)	<6	<0.1
C ₃ + (propan, etc)	<3	<0.1
C ₆ + (hexaan, etc)	<0.2	<0.1
Waterstof (H ₂)	<0.1	<0.1
Koolstofmonoxide (CO)	<0.1	<0.1
Zuurstof (O ₂)	<1	<0.1
Inerte gassen	1.5-4.5	<40
Zwavel	16 ppm	50-2000 ppm
Dauwpunt	<99%	Verzadigd
Fijnstof	Niet schadelijk voor motoren	variabel

Biogas bevat typisch 25-50% CO₂. CO₂ wordt soms beschouwd als een inert gas en beschadigt de motor dus niet, maar aangezien dit niet ontvlambaar is wordt de verbrandingswarmte en energiedichtheid van het biogas op volumebasis gereduceerd. Bovendien reduceert de aanwezigheid van CO₂ ook de

vlamsnelheid in vergelijking met puur methaan. Hierdoor is de ontbrandingstemperatuur van niet-opgewerkt biogas groot. CNH stelt bijgevolg dat de methaaninhoud van het biogas minimaal 87% dient te zijn omdat anders de performantie van de motor te sterk gereduceerd wordt. Door deze nadelen wordt het CO₂ vaak geëxtraheerd uit het biogas, een proces dat bekendstaat als methaanaanrijking. In Tabel 2 worden enkele eigenschappen van biogas weergegeven (Feroskhan and Ismail, 2016).

Tabel 2: Enkele eigenschappen van biogas (Feroskhan and Ismail, 2016)

Eigenschap	Waarde
Ontbrandingstemperatuur (K) *	1087
Calorische waarde (MJ/kg) *	20.67
Dichtheid bij 1 atm & 288 K (kg/m ³)	0.91
Octaangetal	130
Vlamsnelheid (cm/s)	21
Explosiegrens (vol % in lucht)	7.5 – 11.7

* Geldt voor biogas dat 60% CH₄ en 40% CO₂ bevat

Biomethaan biedt verschillende voordelen ten opzichte van andere uit biomassa afgeleide brandstoffen. Het kan namelijk makkelijk getransporteerd worden eens CO₂, H₂S en waterdamp verwijderd zijn uit het biogas. Tevens brandt het sneller, blijft er geen residu achter en is het milieuvriendelijker door de CO₂-neutraliteit (Feroskhan and Ismail, 2016).

Om biogas om te zetten tot biomethaan dienen er twee grote stappen uitgevoerd te worden: (1) het vrijwaren van sporenelementen (*biogas cleaning*) en (2) een upgrade proces om de calorische waarde af te stellen (*biogas upgrading*) (Ryckebosch et al., 2011). Verschillende methodes kunnen hiervoor gebruikt worden waarvan er hieronder enkele summier besproken worden naar analogie van Angelidaki et al. (2019). Een overzicht van mogelijke technieken wordt weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Mogelijke technieken die gebruikt kunnen worden bij de opwerking van biogas tot biomethaan (Angelidaki et al., 2019).

Zwavelverwijdering	WATERVERWIJDERING	Opwerking tot biomethaan	
		Fysicochemisch	Biologisch
Neerslag	Condensatie	Fysische absorptie	Hydrogenotrofe methanogenese
Adsorptie	Adsorptie	Chemische absorptie	Fotosynthetische biogas upgrading
Absorptie		Absorptie op een vast oppervlak	Microbiële elektrochemische technieken
Membraanscheiding		Drukwisseladsorptie	
		Cryogene scheiding	
		Membraanscheiding	

2.1.1.1 Zwavelverwijdering

H₂S is schadelijk voor heel wat elementen (leidingen, motor, thermische systemen, ...). Daarom is het verwijderen van zwavelcomponenten een cruciale stap gedurende biogasvalorisatie.

2.1.1.1.1 H₂S neerslag

Ijzertzouten zoals FeCl₂, FeCl₃ of FeSO₄ kunnen toegevoegd worden in de reactor. Het ijzer reageert met zwavel tot het onoplosbare FeS wat vervolgens neerslaat. Deze techniek is enkel kosteneffectief bij hogere H₂S-concentraties (>150 ppm).

2.1.1.1.2 Adsorptie

Dit proces vindt meestal plaats met behulp van twee adsorbenten die afwisselend in adsorptie- en regeneratiefase zitten. Het adsorbent kan Fe(OH)₃, Fe₂O₃ of ZnO zijn. Als alternatief kan ook actief kool gebruikt worden. Door toevoeging van een kleine hoeveelheid zuurstof wordt H₂S dan omgezet tot elementaire zwavel.

2.1.1.1.3 Membraanscheiding

Hier is de scheiding gebaseerd op de selectieve permeabiliteit van membranen. Dit kan zowel een gas-gas als een gas-vloeistof scheiding zijn.

2.1.1.1.4 H₂S absorptie

Met behulp van water of organische solventen kan door fysische absorptie H₂S verwijderd worden.

2.1.1.2 Drogen van biogas

Biogas moet gedroogd worden vooraleer het verder gebruikt kan worden. Dit kan gedaan worden door fysische scheiding (condensatie) of chemische droging (adsorptie). Condensatie gebeurt door het biogas te koelen. Chemisch drogen gebeurt met glycol als adsorbent.

2.1.1.3 Biogas upgrading

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen fysicochemische methodes en biologische methodes.

2.1.1.3.1 Fysicochemische methodes

De meest mature technologieën om CO₂ te elimineren zijn de fysicochemische methodes. Deze kunnen over het algemeen een CH₄-inhoud van >96% bereiken. Volgende methodes worden onderscheiden:

- Fysische absorptie
Deze techniek steunt op het verschil in oplosbaarheid voor CO₂ en CH₄ in verschillende solventen. Als scrubbing vloeistof kan gebruik gemaakt worden van water of een organisch solvent.
- Chemische absorptie
Bij een lagere CO₂-concentratie wordt chemische absorptie boven fysische verkozen. Amines worden het meest gebruikt als chemisch solvent.
- Adsorptie op een vast oppervlak
Gasmoleculen kunnen door fysische of Van der Waals krachten vasthechten op een vast oppervlak. Typische adsorbenten zijn actief kool, zeoliet of silicagel.
- Drukwisseladsorptie
Deze techniek is gebaseerd op het mechanisme dat gasmoleculen selectief geadsorbeerd kunnen worden op een vast oppervlak naargelang hun moleculaire grootte.

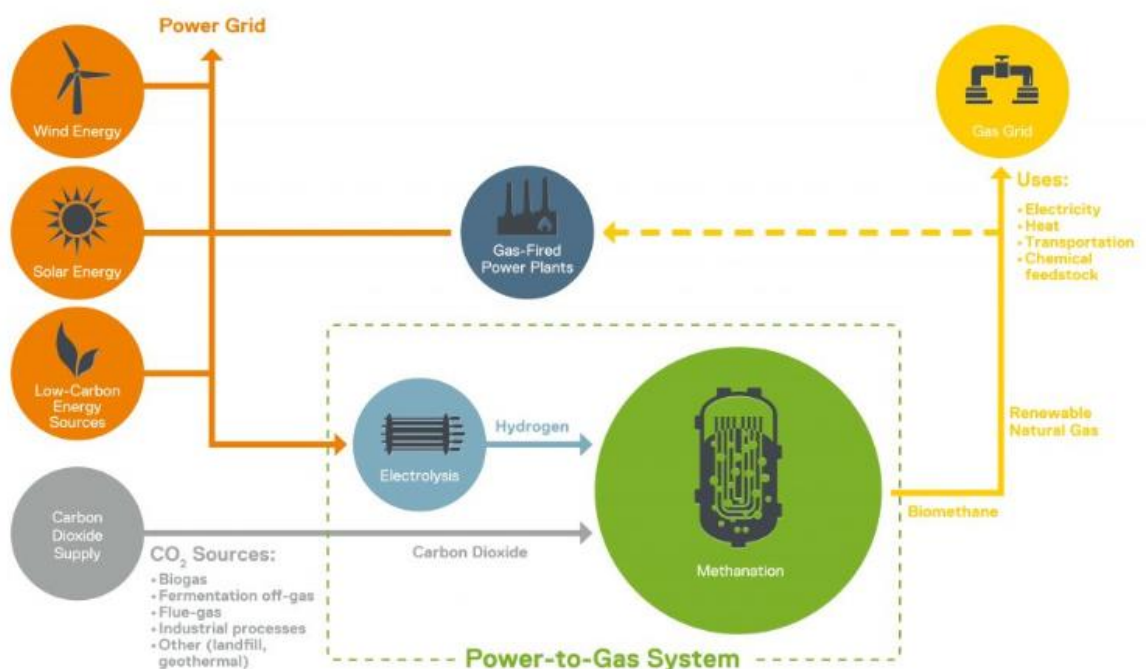
- Cryogene scheiding
Door condensatie en destillatie kan CH₄ afgescheiden worden van CO₂ wegens hun verschillend kookpunt (CH₄: -160°C ; CO₂: -78°C). Deze vrij nieuwe techniek kan erg hoge zuiverheidsrendementen halen zonder CH₄-verlies. Tot dusver is het echter niet energie-efficiënt.
- Membraanscheiding
Dankzij de selectieve permeabiliteit van membranen kan CH₄ van CO₂ gescheiden worden. CO₂ passeert langs het membraan samen met het permeaat, terwijl CH₄ weerhouden wordt samen met het retentaat. Membranen leiden tot een heel goede scheiding, maar zijn duur en fragiel.

2.1.1.3.2 Biologische methodes

Biologische methodes genieten de laatste jaren meer en meer aandacht door o.a. fluctuerende elektriciteitsprijzen en de mogelijkheid om de productie van biomethaan te koppelen met de productie van andere hoogwaardige producten. Volgende methodes worden onderscheiden:

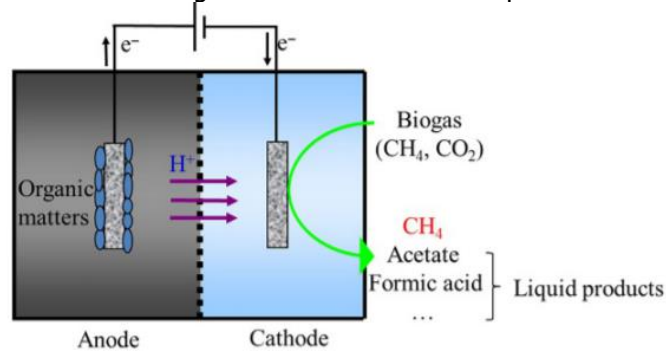
- Hydrogenotrofe methanogenese
Het Duitse bedrijf Electrochaea is erin geslaagd om biomethaan te produceren uit waterstof (H₂) en CO₂ (Power-to-Gas). Dit kan vooral nuttig zijn bij een surplus aan hernieuwbare energie. Dit werd reeds met succes gedemonstreerd op onbehandeld biogas (Martin et al., 2013). Door dus H₂ te injecteren in een bioreactor samen met methanogene bacteriën zou het onnuttige CO₂ dus omgezet kunnen worden tot CH₄ (Figuur 1). CO₂ wordt gebruikt als koolstofbron en elektronenacceptor, terwijl H₂ gebruikt wordt als elektronendonor. Volgende reactie vindt hierbij plaats: $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$.

Power-to-Gas Energy Storage



Figuur 1: De vorming van methaan uit waterstof en koolstofdioxide (Electrochaea 2019)

- Fotosynthetische biogas upgradering
Het principe van deze techniek steunt op de symbiotische interacties tussen enerzijds fotosynthetische en/of lithoautotrofe micro-organismen en anderzijds heterotrofe micro-organismen.
- Microbiële elektrochemische technologieën (METs)
Microbiële elektrolysecellen kunnen gebruikt worden om CH_4 op te zuiveren (Figuur 2).



Figuur 2: Microbiële elektrolysecel voor de opzuivering van biogas (Angelidaki et al., 2019).

2.1.2 Enkele voorbeelden van tractoren op biomethaan

Verschillende bedrijven kwamen al op het idee van een tractor op biogas, waaronder CNH met zijn T6.180 Methane Power Tractor (Figuur 3). Deze tractor werd proefgedraaid bij Rova (Regionaal Orgaan Verwijdering Afvalstoffen). Rova wenste hiervan gebruik te maken omdat afval niet langer aanzien werd als afval, maar als grondstof. Dit in het kader van het hele gedachtegoed van de circulaire economie. Een groot deel van hun wagenpark rijdt al op GFT dat wordt vergist tot biogas. Op het terrein staat dan ook een vergister, waarvan het gegenereerde gas wordt geleverd op het aardgasnetwerk van Nederland (Landbouwleven, 2017).



Figuur 3: Biogastractor van CNH (Expo Biogas - Lille, 2019)

In 2010 ontstond het idee om een energieonafhankelijk landbouwbedrijf te ontwikkelen. Het concept van de methaantractor paste hier perfect bij zodat er niet langer afhankelijkheid is van externe brandstof, met als gevolg dat het eerste prototype klaar was in 2013. Na er wat ervaring mee opgedaan te hebben

en de nodige aanpassingen door te voeren, vloeide in 2015 hieruit het tweede generatie prototype uit. Deze machine is nog verder op landbouwtoepassingen toegespitst. De tractor is ontwikkeld om vooral voorladerwerk, transport en licht veldwerk te verrichten (Landbouwleven, 2017). Vanaf de zomer van 2015 werd die tractor ingezet in verschillende bedrijven, zoals een wijnbouwbedrijf en olijfproducent in Spanje en een productiebedrijf van cheddarkaas in Engeland. Ook in Italië deed het veldwerk voor en na het zaaien (Landbouwleven, 2017). De derde generatie beschikt over een zescilinder motor met 180 pk en 740 Nm - hetzelfde vermogen en koppel als zijn standaard op diesel werkende equivalent. Er zou dus m.a.w. kunnen bespaard worden op brandstofkosten – die al snel tot 30% van het totale kostenplaatje van een tractor kunnen uitmaken – zonder in te boeten op de kwaliteit van het materiaal. Een bijkomend voordeel is dat het geluid met zo'n 3 dB(A) afneemt in vergelijking met een conventionele tractor (VILT, 2017). CNH heeft op dit moment een aantal prototypes die proefdraaien. Volledige productie van deze modellen is gepland in de komende jaren wanneer alle testwerk succesvol afgerond zal zijn. Op Agribex 2019 stond ook een prototype dat op 100% biomethaan rijdt. Er wordt verwacht dat dit model volgend jaar op de markt komt. Ook Valtra heeft reeds een aantal prototypes van biogastractoren op de markt gebracht (Valtra Dual Fuel tractors, Figuur 4), met als primair doel om landbouwers te bereiken die zelf biogas produceren. In de gemodificeerde motoren van een dual fuel systeem wordt diesel geïnjecteerd en ontbrand, wat op zijn beurt het biomethaan ontbrandt zoals een bougie (Clarke and DeBruyn, 2012). De methaaninhoud van het biogas voor dit type tractoren dient $95\% \pm 2\%$ te zijn (<http://africa.valtra.com/en/dual-fuel>).



Figuur 4: Valtra Dual Fuel tractor (Valtra)

Tractoren of ander landbouwmateriaal aangedreven door biomethaan kunnen directe energiekosten doen afnemen, zeker als het om eigen geproduceerd biogas gaat. Valtra werkte in het verleden reeds mee aan projecten omtrent de bruikbaarheid en voordelen van deze oplossing (MEKA project in Zweden en BiomeTrak project in Duitsland). Het resultaat van beide onderzoeken was positief: de tractoren leverden goed werk en hadden een positieve invloed op het milieu (tot 40% minder impact op het klimaat). Bovendien daalden de directe operationele kosten: de dieselkost was gemiddeld gezien slechts 4% in dual fuel dan wanneer volledig op diesel aangedreven (Hannukainen and Åman, 2017). Mautner et al. (2016) onderzochten m.b.v. veldtesten gedurende 590 werkuren de performantie van Valtra N101. Gedurende de volledige proefperiode vertoonde de tractor een hoge betrouwbaarheid. Met een volle

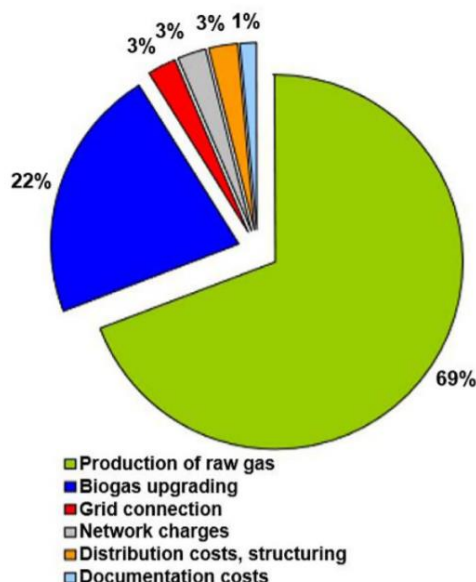
gastank kon gemiddeld gezien 11,5 uren gewerkt worden. Biomethaan kan ook vloeibaar gemaakt worden om zo ruimte te besparen, al is dit wel energie-intensief (Shanmugam et al., 2018).

Valtra is hier nog steeds verder op aan het werken en het doel is om op korte termijn nog enkele prototypes beschikbaar te hebben, maar ook bij Valtra zijn deze tractoren nog niet op de markt en is verder onderzoek vereist. De grootste uitdaging hier is het voldoen aan de Stage V-emissiewetgeving. Ook andere fabrikanten zoals Steyr, Deutz-fahr en Kubota experimenteerden reeds met gasmotoren (Verhagen, 2017).

Een Nederlands project (met projectpartners CCS, DutCH₄, LTO-Noord, Techno-Invent, TNO en WUR) werkt aan een technologie om biogas op boerderijschaal op te waarderen naar aardgaskwaliteit. Hierbij mikt men op een schaalgrootte van 25 tot 300 Nm³ biogas per uur, wat eigenlijk nog steeds aan de grote kant is in vergelijking met de meeste pocketvergisters. Het opgewerkte biogas zal ook gebruikt worden om een tractor op te laten rijden. De doelstelling is dat de opzuiveringsinstallatie minder gaat kosten dan een WKK. CCS ontwikkelde hiervoor Bio-Up, een technologie om biogas op boerderijschaal (18-100 Nm³ biogas/uur) op te werken tot groen gas na de drukloze verwijdering van CO₂, zwavelverbindingen en water. CO₂ wordt afgevangen met een wasvloeistof. Door de wasvloeistof vervolgens te verwarmen laat deze de CO₂ los en kan het proces opnieuw starten met de geregenereerde vloeistof. Voor een bedrijf me bijvoorbeeld 200 melkkoeien zou dit reeds rendabel kunnen worden. De installatie wordt reeds een drietal jaar succesvol uitgebaat op proefboerderij De Marke.

2.1.3 Rendabiliteit

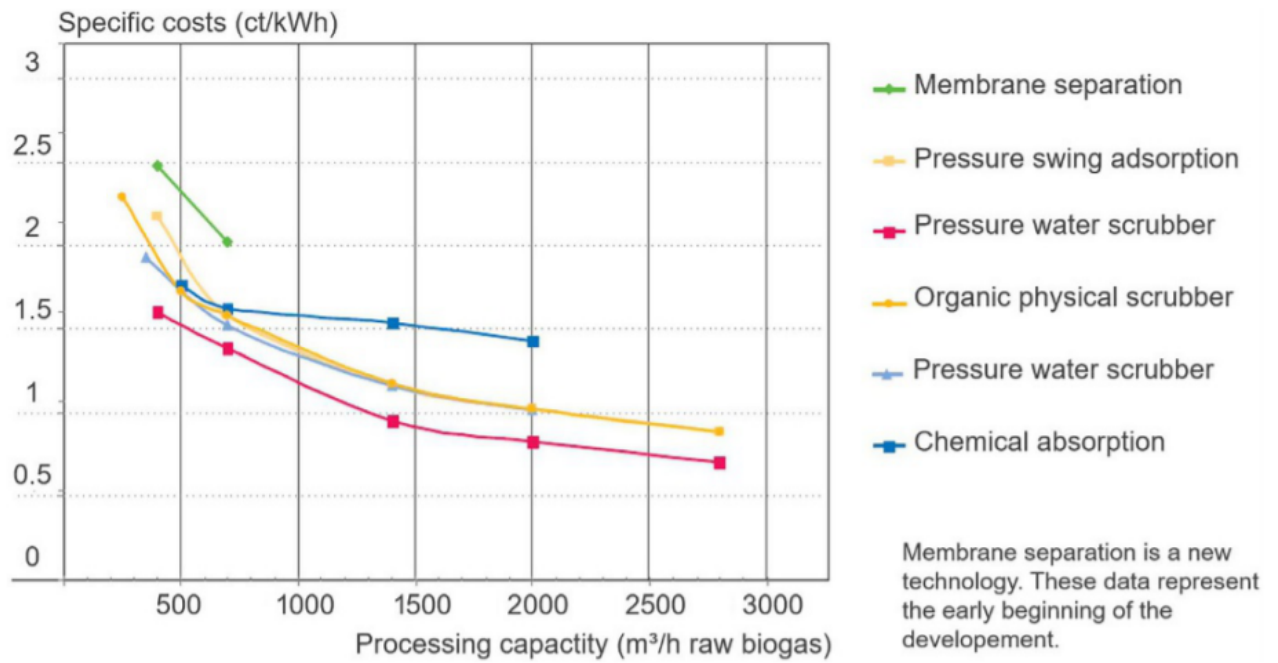
De opwaardering van biogas naar biomethaan bedraagt volgens Krassowski (2010) ruim 1/5^{de} van het totale kostenplaatje van biomethaanproductie (Figuur 5). Door dit grote aandeel is de economische efficiëntie van de opwaardeertechnieken belangrijk.



Figuur 5: Kostenverdeling productie biomethaan (Krassowski, 2010).

Opzuiveringstechnieken zoals vermeld onder 2.1.1 worden uitgevoerd bij grootschalige installaties met een capaciteit gaande van 250 tot 3000 m³ biogas/uur. De investeringskosten (als gemiddelde bekeken voor verschillende technologieën) bedragen gemiddeld €1,1 miljoen voor installaties een capaciteit van 250 m³/uur en €3,2 miljoen voor een capaciteit van 2800 m³/uur. De specifieke investeringskosten bedragen daarentegen 4300 €/Nm³ voor de kleinste installaties en 900 €/Nm³ voor de grootste. De

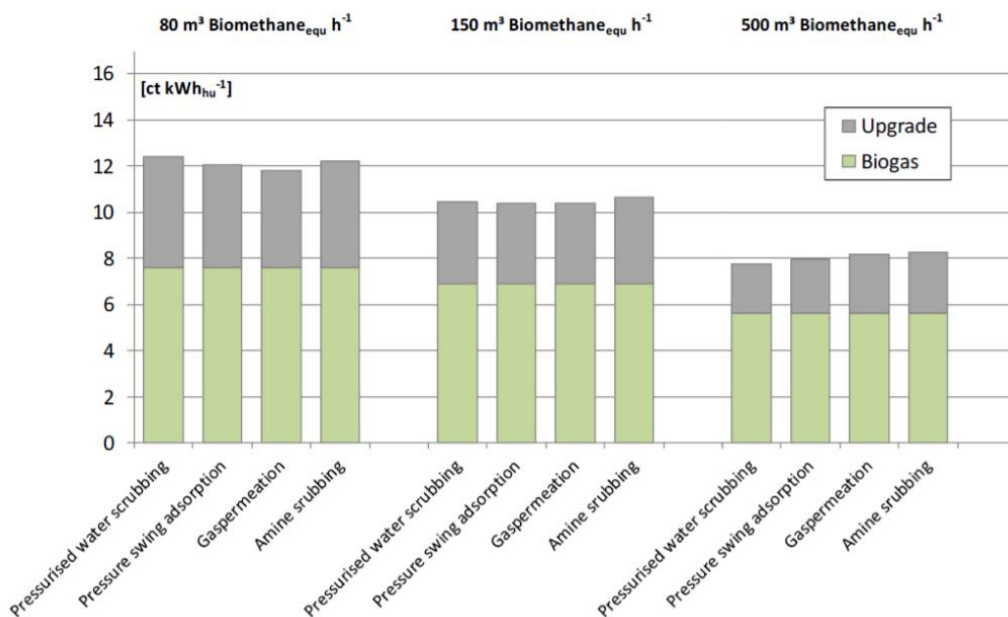
operationele kosten variëren sterk naargelang de gebruikte techniek, maar ook hier geldt dat de kost groter wordt naarmate de schaal kleiner. Zo bedraagt de operationele kost voor installaties tot 500 m³/uur gemiddeld tussen 1,50 en 2,32 €/kWh, terwijl dit voor de grotere installaties (2000-2800 m³/uur) tussen 0,78 en 1,34 €/kWh bedraagt (Figuur 6) (Angelidaki et al., 2019).



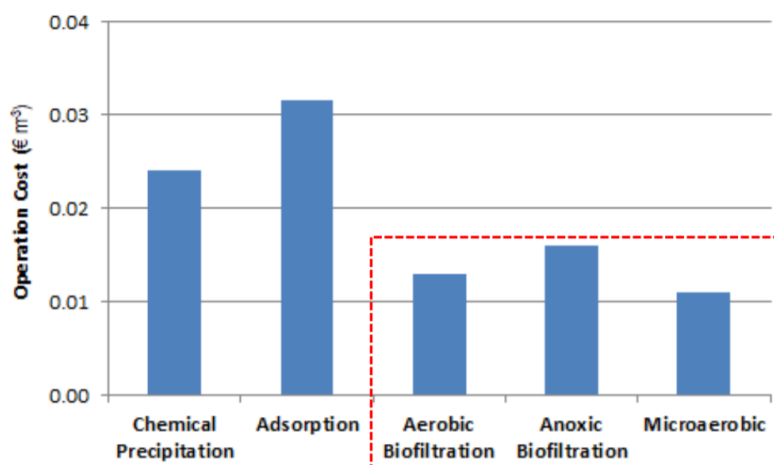
Figuur 6: Operationele kosten van enkele biogas upgrading technieken (Angelidaki et al., 2019).

Er zijn geen gegevens beschikbaar voor de opwaardeerkost bij pocketvergisters, maar er wordt verondersteld dat deze alleen maar verder toenemen naarmate de schaal kleiner wordt. Verdere uitbreiding van biogas upgrading naar kleinschalige installaties en uiteindelijk pocketvergisters zal in de toekomst mogelijk goedkoper worden door verdere ontwikkelingen. Echter zullen deze technologieën ook gesubsidieerd moeten worden omdat directe competitie met fossiel natuurlijk gas op dit moment problematisch is (Angelidaki et al., 2019). De duurdere kost in functie van een kleinere capaciteit wordt ook geïllustreerd in Figuur 7.

Het opwaarderen van biogas tot biomethaan wordt tot op vandaag vooral gedomineerd door fysicochemische technologieën. Echter hebben deze een grote operationele kost. Biologische processen daarentegen lijken goedkoper te zijn en hebben een minder grote impact op het milieu (Figuur 8).

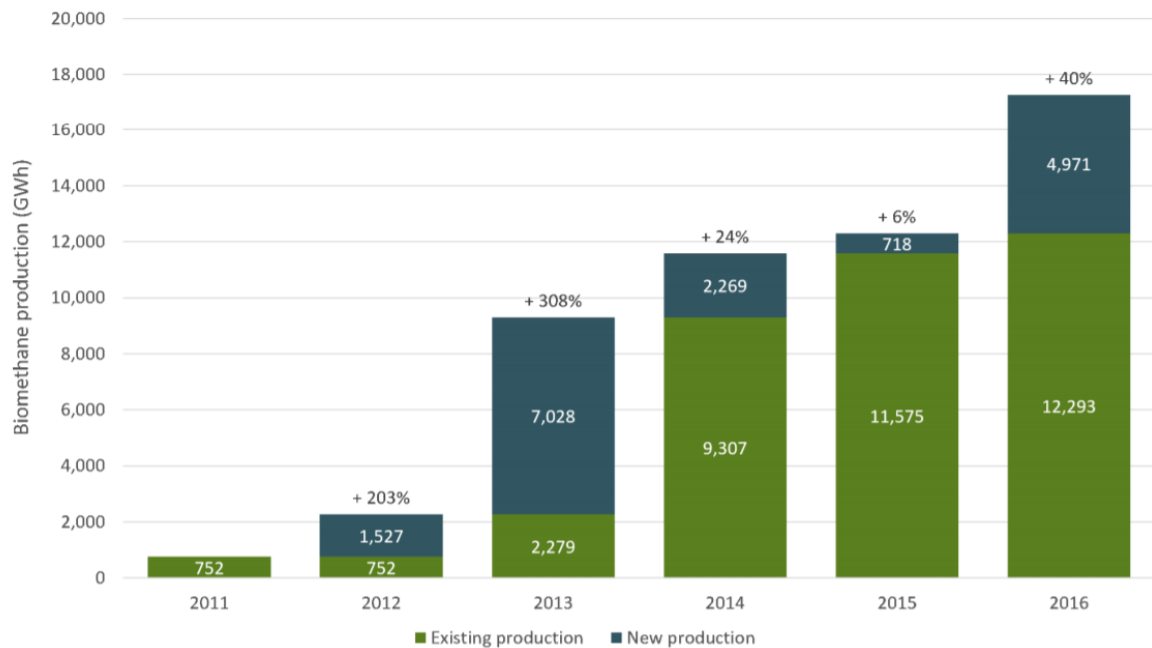


Figuur 7: Kost van de productie van biomethaan als een functie van de verwerkingscapaciteit (Muñoz Torre, 2019).



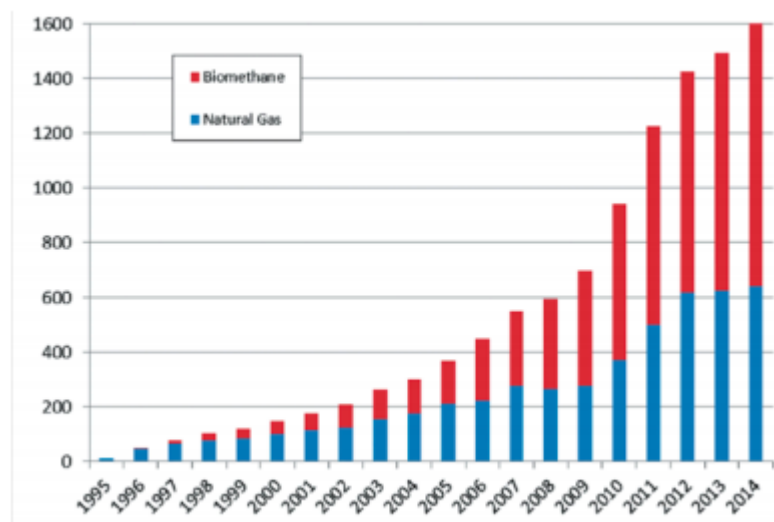
Figuur 8: Operationele kosten van verschillende H₂S-removingstechnologieën (Muñoz Torre, 2019).

Het gebruik van biomethaan is wel aan een opmars bezig (Figuur 9), als alternatieve valorisatie naast de klassieke weg door elektriciteits- en warmteproductie via een WKK.



Figuur 9: Evolutie van de biomethaanproductie (Muñoz Torre, 2019).

Er zijn ook reeds verschillende publicaties verschenen omtrent het gebruik van biomethaan in de transportsector. Zo stelden Backman and Rogulska (2016) bijvoorbeeld dat het gebruik van biomethaan in Zweden al goed ingeburgerd is (Figuur 10).



Figuur 10: Toename gebruik biomethaan in de transportsector in Zweden, uitgedrukt in GWh per jaartal (Backman and Rogulska, 2016)

Naast de opwaardering van biogas tot biomethaan zijn er nog enkele bijkomende kosten voor het vervaardigen van transportgas. Een gasvulstation voor trekker, auto of vrachtwagen bijvoorbeeld kost zo'n € 20.000.

Er dient voldoende stil gestaan te worden bij de vraag of het wel rendabel is om biogas op te zuiveren tot biomethaan op een kleinschalige installatie (< 30 kW). Er wordt verwacht dat dit eerst zal moeten uitgebreid worden naar grootschalige installaties vooraleer het kan geïmplementeerd worden op kleinschalige installaties. In België werd nog maar recent de eerste opzuiveringsinstallatie tot biomethaan gebouwd op de historische site Kolonie te Merksplas. De installatie heeft een elektrisch vermogen van 350 kW. Ook werd nog maar heel recent het eerste bio-CNG tankstation geopend in België, meer bepaald

in Brussel. Dit biomethaan wordt aangekocht via garanties van oorsprong uit Nederland, omdat de binnenlandse productie van biomethaan nog te laag is (Biogas-E, 2019).

De rendabiliteit voor een biogastractor is ook sterk afhankelijk van de schommelende dieselprijs, het aantal werkuren en de zwaarte van het werk. Gesteld dat een standaard dieseltractor gemiddeld 11 liter/u verbruikt en op jaarbasis zo'n 1000 werkuren heeft en rekening houdende met een dieselprijs van 1.40 €/liter komt dit dan neer op ruim €15.000 brandstofkosten.

Voor de tractor zelf schat CNH dat de meerprijs zo'n 10% zou zijn ten opzichte van de standaard dieseltractor. Dit is echter een ruwe schatting en kan nog variëren aangezien er momenteel enkel nog maar prototypes zijn. Afhankelijk van het type tractor zal een investering dus al snel meer dan € 100.000 bedragen. De terugverdientijd hangt sterk af van welke subsidies verkregen kunnen worden.

In Vlaanderen wordt een investeringssteun voorzien voor opwaarderingsinstallaties via [de Call groene warmte, restwarmte en biomethaan](#). Voor kleine ondernemingen kan dit gaan tot 65% van de totale investering met een maximum van € 1.000.000. Er is geen exploitatiesteun voor biomethaan in Vlaanderen waardoor wordt ingeschat dat de productie van biomethaan ongeveer twee maal zo veel kost als de productie van de fossiele tegenhanger aardgas. Hierdoor worden er best langdurige contracten afgesloten met afnemers van biomethaan om inkomsten over de lange termijn te verzekeren. Wanneer de uiteindelijke benutting van het biomethaan gebeurt in een WKK kunnen er wel groenestroom- en warmtekrachtcertificaten toegekend worden. Ook kan er m.b.v. [de verhoogde investeringsaftrek](#) (percentage van de aanschaffingsprijs dat wordt vrijgesteld van vennootschapsbelastingen) een besparing gecreëerd worden. Het percentage dat wordt vrijgesteld voor energiebesparende investeringen bedraagt 13,5%. Investeringsinstellingen in randinfrastructuur voor kleinschalige vergistingsinstallaties kunnen dankzij VLIF-steun 30% investeringssteun genieten. Tot slot is er ook nog een [nieuwe categorie](#) binnen VLIF waarbij land- en tuinbouwers met een innovatief/uniëk project of idee 40% subsidie kunnen krijgen op de investeringskost met een maximum van € 200.000. Het gaat om innovaties die nog niet helemaal marktrijp zijn of voor het eerst in Vlaanderen worden toegepast (Biogas-E).

Begin 2019 bevroeg Biogas-E de Vlaamse biogasinstallaties naar hun algemene bedrijfsgegevens, toekomstplannen en mogelijkheden tot innovaties. 32 actieve biogasinstallaties, waarvan 23 agro-industriële vergisters, 4 stortplaatsen die biogas recupereren, 2 GFT-vergisters en 2 afvalwaterzuiveringsinstallaties vulden de bevraging in. Samen goed voor een geïnstalleerd elektrisch vermogen van 82,23 MW of 52% van het opgestelde vermogen in Vlaanderen. Bijna 2/3 van de installaties (63%) geeft aan dat biomethaan mogelijk een interessante toekomstpiste is voor hun installatie. Hiermee komt biomethaan veruit bovenaan de innovatiebarometer te staan. Om deze technologie te gaan toepassen geeft de meerderheid echter aan dat een exploitatiesteun voor biomethaan en de uitwerking van een systeem van garanties van oorsprong voor biomethaan die de handel faciliteert noodzakelijk zal zijn. Vanuit de sector wordt tevens gezocht naar oplossingen voor de verdere verwerking van het digestaat. Bij opwerking tot biomethaan valt immers de restwarmte van de WKK weg, die in het huidige businessmodel veelal gebruikt wordt om digestaat te drogen of in te dampen. Alsook geeft de sector aan dat een level-playing field ten opzichte van het WKK-model, de valorisatie van het overgebleven CO₂ na opzuivering en de verdere uitbouw van het injectienetwerk de productie van biomethaan kunnen bevorderen (Biogas-E, 2019).

2.2 Tractor aangedreven door elektriciteit

Biogas kan m.b.v. een warmtekrachtkoppeling (WKK) omgezet worden tot elektriciteit en warmte, zoals het traditioneel gedaan wordt. Er kan dan geopteerd worden om deze elektriciteit te benutten bij het aandrijven van een tractor. Er zijn reeds elektrische aandrijvingen voor wielladers en voedermixwagens.

Elektrisch aangedreven voertuigen hebben drie voordelen ten opzichte van standaard aangedreven voertuigen (Allison, 2017):

- Verbeterde efficiëntie: een dieselmotor haalt circa 35% efficiëntie in de omzetting van thermische naar mechanische energie, terwijl elektrische motoren een efficiëntie kunnen halen tot 90%.
- Elektrisch vermogen zorgt voor een verbeterde controleerbaarheid en biedt meer mogelijkheden aan tot automatisering, zoals bijvoorbeeld in combinatie met precisielandbouw.
- De elektriciteit kan afkomstig zijn van hernieuwbare energie geproduceerd op het bedrijf, zoals bijvoorbeeld wind- of zonne-energie, of energie afkomstig van het vergistingsproces.

De elektrische modellen die tot dusver ontworpen zijn hebben eerder een laag vermogen. Zo heeft de e100 Vario van Fendt (Figuur 11) een vermogen van 67 kW. Een volgeladen batterij zou tot 4-5 uur vermogen kunnen leveren en het opnieuw opladen duurt tot 5 uur. De Sesam tractor van John Deere daarentegen (Figuur 12) bezit twee motoren, waarvan de ene de wielen aandrijft en de tweede de hydraulica en de krachtafnemer voorziet. Op die manier is er een continu vermogen van 174 pk naar de wielen, maar kunnen pieken tot 500 pk gehaald worden gedurende zeer korte periodes (Allison, 2017).

Een elektrische tractor zou voornamelijk voordelen hebben onder speciale omstandigheden, zoals bvb de binnenstad waar strikte emissienormen gelden, ingesloten ruimtes zoals serres of plaatsen waar geluid een issue is. De nadelen daarentegen zijn in eerste instantie de prijs (elektrische tractoren kunnen makkelijk dubbel zo veel kosten als een standaardtractor), maar ook het vermogen en de beperkte autonomie. Om continu 500 pk te kunnen voorzien zou de batterij met de huidige technologie maar liefst 60 ton wegen. Elektrische tractoren kunnen op dit moment dus enkel gebruikt worden voor het lichtere werk. Voor het zwaardere werk kan er gewerkt worden met een hybride systeem (Allison, 2017).



Figuur 11: Fendt Vario e100 (Landtechnikmagazin).



Figuur 12: Sesam (John Deere) (Agriland).

In Zevekote (Gistel) maakt bioboer Frank Lambert gebruik van een elektrische wiellader van Kramer om de stallen schoon te maken en de voederbakken te vullen. De machine is ongeveer 30% duurder dan het dieselmodel, maar dit werd gecompenseerd door dat het Vlaams Landbouwinvesteringsfonds 30% van de aankoopprijs terugbetaalde. De tractor kan opgeladen worden met een standaard stopcontact. De autonomie is vijf uur. Voor de taken die uitgevoerd worden is dit voldoende, maar deze tractor is dus door zijn beperkte autonomie niet geschikt om op het land te gebruiken. Dit is de enige elektrische tractor tot dusver in België; in Duitsland rijden er reeds 250 rond (Figuur 13) (Derycke, 2019).

Een idee kan zijn om de batterij van een tractor tegelijk te gebruiken als opslagplaats voor overtollige energie.



Figuur 13: Elektrische wiellader (Kramer) te Zevekote (Derycke, 2019).

2.3 Tractor aangedreven door beperkt opgewerkt biogas

Er zijn reeds heel wat studies gebeurd omtrent het gebruik van natuurlijk gas en biomethaan als brandstof voor voertuigen. In deze studies werd geïllustreerd dat biomethaan voordelen biedt op milieuvlak. Zo wordt deze brandstof gekarakteriseerd door minder broeikasgasemissies dan natuurlijk gas of een fossiele brandstof (Owczuk et al., 2019). Echter is er tot dusver nog maar weinig onderzoek gevoerd naar het gebruik van niet-opgewerkt biogas om voertuigen aan te drijven. Dit zou nochtans interessant kunnen zijn zodat er geen extra investering in een opwaarderingsinstallatie nodig is.

2.3.1 Invloed van CO₂-fractie in biogas op de motorperformantie

De studies die tot dusver omtrent het gebruik van ruw biogas handelen focussen op het aandrijven van stationaire verbrandingsmotoren, wat verschillend is van voertuigmotoren. Deze studies bestudeerden voornamelijk het effect van de methaaninhoud van biogas op de hoeveelheid geproduceerde energie en het verbrandingsproces in de motor. Daaruit kon over het algemeen geconcludeerd worden dat de energie-inhoud, de adiabatische verbrandingstemperatuur, de laminaire verbrandingssnelheid en de calorische waarde stijgen naargelang er meer methaan in het mengsel zit (Owczuk et al., 2019). Dit zijn logische conclusies aangezien CO₂ vaak als een inert gas beschouwd wordt.

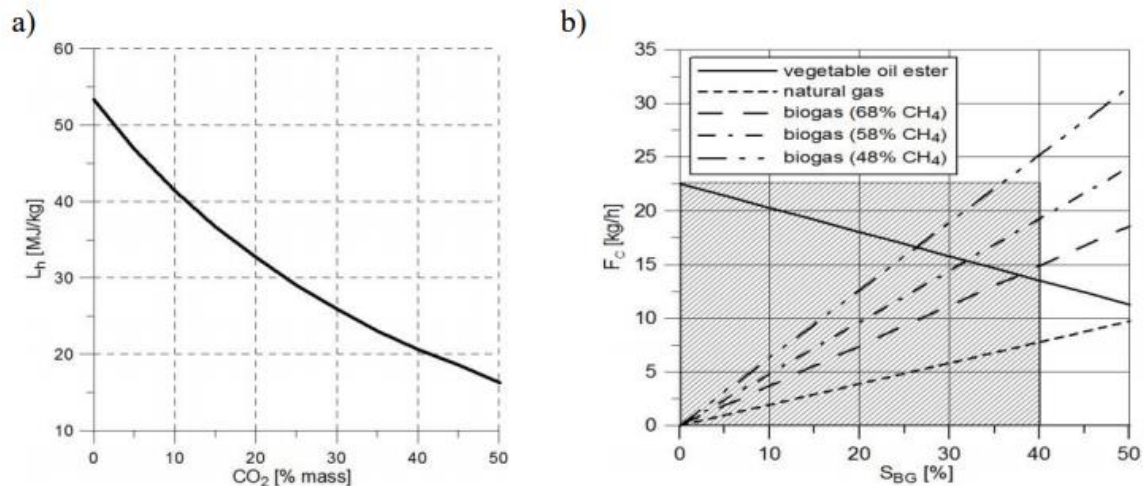
Ook is er reeds wat onderzoek gebeurd op de thermische efficiëntie, motorperformantie en de uitstoot van uitlaatgassen wanneer wisselende biogassamenstellingen gebruikt worden in stationaire verbrandingsmotoren. Deze dual fuel modus werd reeds gedemonstreerd op biogassystemen met een ratio van 95% biogas en 5% diesel, zonder upgrading naar biomethaan en dus nog 40% CO₂ (Clarke and DeBruyn, 2012).

Bovendien voerden Feroskhan and Ismail (2016) een test uit om de efficiëntie na te gaan bij enerzijds puur CH₄-injectie (biomethaan) en anderzijds wisselende CH₄:CO₂-ratio's (biogas). Zo bleek dat de efficiëntie zo goed als identiek was tussen een motor enkel aangedreven op diesel en een diesel-CH₄ dual motor. Echter daalde de efficiëntie bij de introductie van biogas. Alle geteste biogascombinaties hadden daarentegen een zo goed als gelijke volumetrische efficiëntie, wat een indicatie is dat de efficiëntie onafhankelijk is van de verhouding diesel:CH₄.

In een studie van Verma et al. (2017) werden verschillende samenstellingen aan biogas getest, nl. BG93, BG84 en BG75 (bevat 93%, 84% en 75% CH₄ respectievelijk). De maximale hoeveelheid diesel die vervangen kon worden in dual fuel modus bleek te dalen met stijgende CO₂-concentratie in het biogas. Tevens had de hoeveelheid CO₂ een negatief effect op de exergie (= de maximale hoeveelheid arbeid die uit het gas gewonnen kan worden bij het in evenwicht brengen met de omgeving). Algemeen kon men dus concluderen dat gelijkaardige performanties in vergelijking met een standaardtractor bereikt kunnen worden in dual fuel modus wanneer de methaanfractie groot is. Wanneer de CH₄/CO₂-ratio echter daalt dienen er bijkomende veranderingen doorgevoerd te worden om eenzelfde performantie te garanderen. Dit werd bevestigd door Mahtem et al. (2019).

2.3.2 Rijden op niet-opgewerkt biogas?

De lagere energetische dichtheid van ruw biogas ten opzichte van biomethaan leidt tot een daling van de verbrandingswarmte (Figuur 14a) (Kruczyński et al., 2013).



Figuur 14: a) De verbrandingswarmte van biogas neemt af naargelang de hoeveelheid CO₂ stijgt. b) Consumptie van biogas bij in dual fuel modus (Kruczyński et al., 2013).

De lage energetische dichtheid van biogas met een nog grote CO₂-inhoud is één van de belangrijkste problemen voor toepassing van een tractor op beperkt opgewerkt biogas (m.a.w. na enkel het verwijderen van H₂S en waterdamp). Er zou dus verondersteld kunnen worden dat een tractor die ruw biogas gebruikt als brandstof minder autonomie heeft aangezien er minder methaan in de tank zit. Wanneer echter biogas afkomstig van een bedrijfseigen pocketvergister getankt kan worden wordt dit mogelijke probleem teniet gedaan of toch op zijn minst geminimaliseerd aangezien het tanken vrij vlot op het eigen terrein zou kunnen gebeuren. Voorts is de conversie voor het gebruik van biogas hetzelfde als bij het gebruik van natuurlijk gas. Om het probleem van een lage energetische dichtheid te counteren kan gebruik gemaakt worden van een dual fuel tractor waarbij biogas gebruikt wordt in combinatie met biodiesel. Figuur 14b illustreert de aangenomen consumptie van biogas in een dual fuel modus bij verschillende CO₂-inhouden en verschillende biogas:biodiesel-ratio's. Er werd hier aangetoond dat hoe meer CO₂ het biogas bevat, hoe groter de consumptie van biogas is bij eenzelfde mengverhouding biodiesel:biogas (Kruczyński et al., 2013).

Owczuk et al. (2019) publiceerden een studie die het gebruik van biogas als aandrijving van een dual fuel tractor beschrijft. Deze studie onderzocht specifiek het gebruik van biogas als brandstof voor een tractor zonder voorafgaande biogas upgrading. Om dit te bestuderen werden drie zaken getest: biochemische methaanpotentieel testen, dynamometer motortesten en veldtesten met het gebruik van een tractor. De algemene conclusie van deze studie was dat biogas die maximaal 50% CO₂ bevat en waar voorafgaand H₂S, vocht en siloxanen verwijderd werden bruikbaar is als brandstof voor tractors.

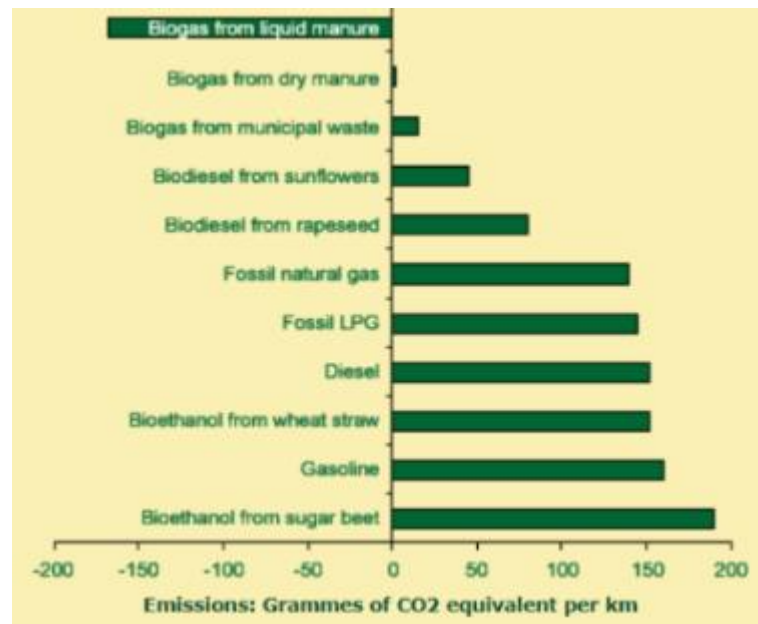
Testen wezen uit dat een dual fuel motor stabiel kan werken wanneer diesel vervangen wordt door 40% biogas. Hogere percentages biogas zouden kunnen leiden tot pingelen (het vroegtijdig zelfontbranden van brandstof in een mengselmotor). Gedurende testen van 200 motoruren werden geen nadelen gedetecteerd in dual fuel modus ten opzichte van single fuel (Owczuk et al., 2019).

Het onderzoek van Owczuk et al. (2019) toonde dus aan dat het idee om ruw biogas als brandstof te gaan gebruiken geïmplementeerd zou kunnen worden, ook al bevat het nog tot 50% CO₂. Echter dienen in elk geval waterdamp en siloxanen verwijderd te worden. Ook is het beter om H₂S te elimineren wegens het corrosieve effect. Er werd echter vastgesteld dat een kleine hoeveelheid H₂S (20 ppm) geen negatieve effecten had op de motorperformantie. Dit onderzoek is dus veelbelovend. Echter zijn er ook nog enkele uit te klaren zaken. Zo kon er slechts 40% diesel vervangen worden door biogas. Indien grotere hoeveelheden vervangen dienen te worden moeten er significante veranderingen in de motorconstructie komen. Een tweede nadeel is dat de rij-afstand op biogas nog beperkt is.

2.4 Milieu-impact

Naast een optimale valorisatie van biogas en bijgevolg goedkoper tanken heeft een biogastractor ook een positieve impact op het milieu ten opzichte van tractoren die aangedreven worden m.b.v. andere brandstoffen. In het Zweedse MEKA project werd de CO₂-uitstoot nagegaan van een tractor die aangedreven werd op vier verschillende types brandstoffen. Er bleek dat een dual fuel tractor met biogas duidelijk leidt tot een significante daling van de CO₂-uitstoot ten opzichte van een dieseltractor en een dual fuel met natuurlijk gas en diesel. Volgens Verhagen (2017) is de CO₂-uitstoot van een gasmotor op opgezuiverd biogas 70% lager dan bij een dieselmotor.

Wanneer men gaat kijken naar het CO₂-equivalent per kilometer (Figuur 15) dan valt op dat vooral biogas afkomstig uit vloeibare mest een erg positieve impact heeft (Hannukainen and Åman, 2017). Dit heeft wellicht te maken met het feit dat de mest niet langer opgeslagen wordt waardoor broeikasgasemissies vermeden worden. Voor deze studie is dit een uitermate interessante vaststelling aangezien pocketvergisters voornamelijk biogas produceren afkomstig van mest. Gezien de ontwikkelingen op milieugebied is het niet ondenkbaar dat de CO₂-emissie in de toekomst de beperkende norm gaat worden voor trekkers, wat een achterliggende reden is waarom de gasmotor potentieel heeft.



Figuur 15: CO₂-uitstoot van verschillende brandstoffen

Uit de studie van (Mautner et al., 2016) bleek dat NO_x- en rookemissies daalden in dual fuel modus vergeleken met diesel. Dit werd bevestigd door Verma et al. (2017) en Kalsi en Subramanian (2017). Echter werd er een stijging van koolstofmonoxide- (CO), koolwaterstoffen- (HC) en fijnstof-emissies waargenomen, wat ook werd gedetecteerd in de studie van Owczuk et al. (2019). Volgens Thuneke et al. (2016) is dit te wijten aan onvolledige methaanverbranding en is er nog een groot potentieel om de gas:diesel-ratio te optimaliseren en de nabehandeling van uitlaatgassen aan te pakken.

Een bijkomend voordeel van biogasproductie is dat het gevormde digestaat uiteindelijk kan aangewend worden als alternatieve meststof in plaats van de fossiel geproduceerde meststoffen. Op die manier kunnen landbouwers de nutriëntenkringlopen volledig gaan sluiten.

3 Conclusie

Bedrijven die beschikken over een pocketvergister valoriseren hun biogas op dit moment als elektriciteit en warmte via een WKK. Nochtans kan een alternatieve valorisatie gebeuren door het opwaarderen van het biogas naar biomethaan. Zeker wanneer er onvoldoende warmtevraag is op een bedrijf zou het opwerken van biogas naar biomethaan rendabeler kunnen zijn dan de valorisatie via een WKK. Bij deze opwaardering worden CO₂, H₂S, water, siloxanen, ... verwijderd om een zo zuiver mogelijk eindproduct te bekomen. Diverse technologieën zijn beschikbaar om dit te verwezenlijken, waarvan tot op heden de meest gebruikte fysicochemisch zijn. Sinds kort wordt de focus echter meer gelegd op biologische alternatieven. Aangezien de kost van een opwaardeerinstallatie omgekeerd gerelateerd is aan de volumes die verwerkt kunnen worden, wordt dit tot op vandaag niet toegepast op kleinschalige installaties. De technologie bestaat dus, al dient in eerste instantie misschien gekeken te worden in de richting van coöperaties vooraleer de technologie betaalbaar zou worden voor pocketvergisters. Verdere ontwikkelingen kunnen mogelijk zorgen voor een goedkopere prijs. Subsidiëring zal hier een erg belangrijke rol vervullen om de prijs op zijn minst gelijkaardig te maken aan de fossiele tegenhangers.

Door enkele tractorconstructeurs worden reeds enkele prototypes ontwikkeld die kunnen rijden op biomethaan. Tot dusver zijn er echter nog geen biogastractoren op de markt aangezien deze modellen nog in de testfase zitten. De resultaten lijken echter positief te zijn: het milieu-effect is positief, er kan bespaard worden op brandstofkosten en de werking lijkt analoog te zijn aan conventionele tractoren. De meeste pocketvergisters hebben een vermogen van 10 kW. Voor zwaar veldwerk is echter veel meer vermogen vereist, waardoor biomethaantractoren die enkel kunnen tanken op het eigen bedrijf mogelijk niet geschikt zijn voor zware werken.

Aangezien CO₂ geen negatieve invloed uitoefent op de motorperformantie kan overwogen worden om de opwaardering achterwege te laten en rechtstreeks op biogas te rijden. Een recente studie lijkt te staven dat een tractor aangedreven door beperkt opgewerkt biogas tot de mogelijkheden behoort, nadat water, H₂S en siloxanen verwijderd worden. Het grote voordeel van rijden op beperkt opgezuiverd biogas is dat een dure opzuiveringsinstallatie niet langer vereist is om van het CO₂ af te raken. Hierdoor zou de initiële investeringskost wel eens heel wat lager kunnen liggen dan wanneer het eerst opgewerkt wordt naar biomethaan. Echter zijn er nog steeds wat nadelen: zo is de autonomie nog vrij beperkt en is er nog veel diesel nodig om het systeem werkbaar te houden. Er is dus nog verder onderzoek nodig vooraleer dit in de praktijk kan komen.

Als derde mogelijkheid kan een elektrische tractor gebruikt worden. Dit bestaat reeds in de praktijk, weliswaar beperkt; er rijdt er bijvoorbeeld slechts 1 rond in België. Bovendien is er een beperkte autonomie en een eerder laag vermogen. Deze modellen zijn daarom eerder geschikt voor een jaarrond, constant verbruik zoals bijvoorbeeld voedermixwagens of wielladers om werkjes in de stal uit te voeren. Voor zware werken lijkt deze tractor niet geschikt te zijn omdat deze dan veel elektriciteit op korte tijd zou gaan consumeren en de autonomie te beperkt is om efficiënt te kunnen werken.

Algemeen kan dus geconcludeerd worden dat een biogastractor een interessante denkpiste is, maar dat er nog veel verder onderzoek vereist is. Bovendien is het kostenplaatje op dit moment ook nog niet volledig rond. Een volledig energie-onafhankelijk landbouwbedrijf behoort praktisch gezien wel zeker tot

de mogelijkheden. Echter dient er voldaan te worden aan de volgende voorwaarden vooraleer het ook effectief op de markt zou kunnen komen:

- Er moet voldoende vermogen beschikbaar zijn om de tractor aan te drijven. Dit zou zeker bij zware veldwerken een probleem kunnen geven als men beschikt over een pocketvergister van slechts 10 kW. 10 kW staat namelijk slechts gelijk aan 14 pk.
- De autonomie moet voldoende lang zijn om vlot werken uit te kunnen voeren zonder dat er continu getankt moet worden.
- Het lijkt bovendien beter om een constant verbruik te hebben aangezien een pocketvergister ook constant produceert. Hierdoor wordt het moeilijk om zaai- en oogstwerken uit te voeren aangezien dit om piekperiodes gaat. Voor constante verbruiken (zoals bijvoorbeeld wielladers of voedermixwagens) lijkt er meer potentieel te zijn.

Het project Pocket Power is een project van Inagro en Universiteit Gent dat wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.



4 Referenties

- ALLISON, R. 2017. *Analysis: Is electric technology set to kill off diesel tractors?* [Online]. <https://www.fwi.co.uk/arable/analysis-electric-technology-set-kill-off-diesel-tractors>. Available: <https://www.fwi.co.uk/arable/analysis-electric-technology-set-kill-off-diesel-tractors> [Accessed 29 04 2019].
- ANGELIDAKI, I., XIE, L., LUO, G., ZHANG, Y., OECHSNER, H., LEMMER, A., MUÑOZ TORRE, R. & PANAGIOTIS, G. K. 2019. *Biogas Upgrading: Current and Emerging Technologies. Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous biofuels*. Elsevier.
- BACKMAN, M. & ROGULSKA, M. J. A. M. 2016. Biomethane use in Sweden. *The Archives of Automotive Engineering*.
- BIOGAS-E. 2015. *Case New Holland test verder met tractoren op methaan* [Online]. Available: <https://www.biogas-e.be/node/309> [Accessed 14 06 2019].
- BIOGAS-E. 2019a. *Eerste tankstation met bio-CNG opent in Brussel* [Online]. Available: <https://www.biogas-e.be/node/869> [Accessed 18 12 2019].
- BIOGAS-E 2019b. *Innovatiebarometer van de Vlaamse biogassector. Biogas-E Magazine*.
- CLARKE, S. & DEBRUYN, J. 2012. *Vehicle Conversion to Natural Gas or Biogas*.
- DERYCKE, M. 2019. *Gistelse landbouwer rijdt als eerste elektrisch op zijn erf* [Online]. Available: <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2019/06/18/gistelse-landbouwer-rijdt-als-eerste-elektrisch.app/> [Accessed 19 06 2019].
- DLV. *Microvergisters* [Online]. Available: https://www.dlvadvies.nl/dossier/microvergisters?utm_campaign=redirect&utm_source=microvergisters&utm_medium=website [Accessed 27 05 2019].
- ENERPEDIA. 2015. *Investeren in pocketvergisting: enkele tips* [Online]. Available: <http://www.enerpedia.be/nl/nieuws/investeren-in-pocketvergisting-enkele-tips-1030/> [Accessed 14 06 2019].
- FEROSKHAN, M. & ISMAIL, S. 2016. Investigation of the effects of biogas composition on the performance of a biogas-diesel dual fuel CI engine. *Biofuels*, 7, 593 - 601.
- FIELD, K. 2018. *John Deere Unveils An Autonomous, Electric Tractor... With A Really Long Extension Cord* [Online]. CleanTech. Available: <https://cleantechnica.com/2018/12/17/john-deere-unveils-an-autonomous-electric-tractor-with-a-really-long-extension-cord/> [Accessed 29 04 2019].
- HANNUKAINEN, P. & ÅMAN, R. 2017. Biomethane as tractor fuel – opportunities for customer, manufacturer or climate. *Proceedings of the conference Land.Technick AgEng 2017*. Hannover, Germany.
- HILL, P. 2018. *This is the Fendt e100 Vario electric tractor* [Online]. Future Farming. Available: <https://www.futurefarming.com/Machinery/Articles/2018/1/This-is-the-Fendt-e100-Vario-electric-tractor-4419WP/> [Accessed 29 04 2019].
- INGENIA. 2019. *(Bio) LNG en CNG* [Online]. Available: <https://www.ingenia.nl/nl/bio-lng-en-cng/> [Accessed 17 06 2019].
- KRUCZYŃSKI, S. W., PAWLAK, G., WOJS, M. K. & WOLOSZYN, R. 2013. Biogas as a perspective fuel for agriculture tractors.
- LANDBOUWLEVEN 2017. *Duurzamer rijden met de methaantractor. Landbouwleven*. Belgium.
- LOONWERKER, D. 2014. *Dual Fuel Valtra: trekker met toekomstgevoel* [Online]. Available: <https://deloonwerker.be/dual-fuel-valtra-trekker-met-toekomstgevoel/> [Accessed 14 06 2019].
- MAHTEM, T. M., TEFIT, A. M. & JOEJOE, L. B. 2019. Assessment of the Traction Characteristics of a Tractor Running with Diesel-Biogas Fuel. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8, 676-682.

- MARTIN, M. R., FORNERO, J. J., STARK, R., METS, L. & ANGENENT, L. T. J. A. 2013. A single-culture bioprocess of *Methanothermobacter thermautotrophicus* to upgrade digester biogas by CO₂-to-CH₄ conversion with H₂. 2013.
- MAUTNER, S., EMBERGER, P., THUNEKE, K. & REMMELE, E. 2016. Emission and operating performance of a biomethane tractor with dual fuel engine.
- MUÑOZ TORRE, R. 2019. Biogas Upgrading.
- NIZAR, J., TAKAYUKI, T. & NOBORU, N. J. I. P. V. 2008. Development of the Biogas Tractor with Two Biogas Feeding Algorithms. 41, 1602-1607.
- OWCZUK, M., MATUSZEWSKA, A., KRUCZYŃSKI, S. & KAMELA, W. 2019. Evaluation of Using Biogas to Supply the Dual Fuel Diesel Engine of an Agricultural Tractor. 12, 1071.
- RICHARDSON, J. 2018. *Electric Tractors Have Advantages Over Diesels* [Online]. CleanTech. Available: <https://cleantechnica.com/2018/09/20/electric-tractors-have-advantages-over-diesels/> [Accessed 29 04 2019].
- RYCKEBOSCH, E., DROUILLON, M., VERVAEREN, H. J. B. & BIOENERGY 2011. Techniques for transformation of biogas to biomethane. 35, 1633-1645.
- SHANMUGAM, K., TYSKLIND, M. & UPADHYAYULA, V. K. J. P. C. 2018. Use of liquefied biomethane (LBM) as a vehicle fuel for road freight transportation: A case study evaluating environmental performance of using LBM for operation of tractor trailers. 69, 517-522.
- THUNEKE, K., MAUTNER, S., EMBERGER, P. & REMMELE, E. J. T. 2016. BIOMETHANE FUELLED TRACTOR-OPERATION EXPERIENCES AND EMISSION BEHAVIOUR. *24th European Biomass Conference and Exhibition*. Amsterdam.
- VALTRA. *Valtra Dual Fuel tractors - The natural choice* [Online]. Available: <http://www.valtra.com.au/dual-fuel.aspx> [Accessed].
- VERHAGEN, M. 2017. *Volgt CO₂-beperkende gasmotor de dieselmotor op?* [Online]. Boerderij. Available: <https://www.boerderij.nl/Mechanisatie/Achtergrond/2017/4/Volgt-CO2-beperkende-gasmotor-de-dieselmotor-op-119397E/> [Accessed 14 08 2019].
- VERMA, S., DAS, L. M. & KAUSHIK, S. C. 2017. Effects of varying composition of biogas on performance and emission characteristics of compression ignition engine using exergy analysis. *Energy Conversion and Management*, 138, 346-359.
- VILT. 2017. *Rijden tractoren binnenkort op zelfgemaakte brandstof?* [Online]. Available: <http://www.vilt.be/rijden-tractoren-binnenkort-op-zelfgemaakte-brandstof> [Accessed].

Bijlage 6: Warmtestudie

Energie- integratiescenario's

Scenario-analyse biogas/WKK

Inès Verleden

Sander Vandendriessche

WP4, T4.5: Evaluaties van energetische
valorisatie-opties via scenario-analyse

Pocket Power

1. Inhoudsopgave

1. INHOUDSOPGAVE	2
2. INLEIDING	3
3. ENERGIE-INTEGRATIESCENARIO: WKK	3
3.1. Varkenssector	5
3.2. Groentesector	6
4. CONCLUSIES	8

Het project Pocket Power is een project van Inagro en Universiteit Gent dat wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.

2. Inleiding

Onderzoek binnen Pocket Power toont aan hoeveel biogas er zal kunnen geproduceerd worden binnen de aangepaste pocketvergistingsconcepten voor elke deelsector. Essentieel is om de productie ook zoveel mogelijk af te stemmen met de energievraag. Echter produceert een pocketvergister naast elektriciteit ook warmte, dat gevaloriseerd kan worden overheen de seizoenen.

3. Energie-integratiescenario: WKK

In dit rapport wordt onderzocht hoeveel restwarmte er door de WKK wordt opgewekt en op de bedrijven benut kan worden.

De geproduceerde hoeveelheid elektriciteit en warmte via een pocketvergister is sterk afhankelijk van de aanwezige hoeveelheid methaan in het biogas (zo'n 50-60 %). Dit is de energierijke component van biogas met een gemiddelde energie-inhoud van zo'n 10 kWh/m³.

Daarnaast hangt de elektriciteits- en warmteproductie ook af van het respectievelijke rendement van de WKK. Het elektrisch rendement van een WKK bedraagt zo'n 25-30%. Dit betekent dat 1 m³ biogas onder bovenstaande voorwaarden goed is voor 1,25-1,80 kWh aan elektriciteit. Bovendien zal gemiddeld 20% van de geproduceerde elektriciteit opnieuw gebruikt worden door de vergister. Dit percentage wordt iets lager naargelang het geïnstalleerde vermogen stijgt. In het algemeen rekenen we daarom met een gemiddelde waarde van 1,5 kWh elektriciteit per m³ biogas, al kan dit in de realiteit dus iets meer of minder zijn.

Naast elektriciteit produceert een vergistingsinstallatie heel wat warmte. Een deel van de vrijgekomen warmte zal opnieuw gebruikt moeten worden om de installatie op temperatuur te houden. Het thermisch rendement van een WKK bedraagt zo'n 40-50%. Dit betekent dat 1 m³ biogas onder bovenstaande voorwaarden tevens goed is voor zo'n 2,0-3,0 kWh aan warmte. Hou er echter wel rekening mee dat een groot deel van deze geproduceerde warmte gebruikt zal worden door de vergister zelf, afhankelijk van het seizoen zelfs volledig. Daarnaast is dit ook een constante warmteproductie, terwijl de warmtevraag sterk tijdsafhankelijk kan zijn. In het algemeen rekenen we daarom met een waarde van 2 kWh warmte per m³ biogas. Het nuttig aanwenden van het extra warmte-overschot kan een extra kostenbesparing opleveren. Deze extra kostenbesparing is afhankelijk het type brandstof waarmee verwarmd wordt. 10,46 kWh geproduceerde warmte kan bijvoorbeeld ongeveer 1 liter stookolie/mazout vervangen. De energie-inhoud en prijzen van andere brandstoffen worden weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Overzicht van de types brandstoffen en hun minimum en maximum prijs/energie-inhoud volgens verschillende bronnen.

Brandstof	Min.	Max.	Eenheid	Bron
Mazout	10,13	10,68	kWh/L	Informmazout
Mazout	10,13	10,78	kWh/L	Glasreg
Mazout	0,5158		€/L	Statbel
Mazout	±0,05		€/kWh	Omgerekend
Aardgas	8,8	9,78	kWh/m ³	Glasreg (arm gas)
Aardgas	10,6	11,78	kWh/m ³	Glasreg (rijk gas)
Aardgas	0,03		€/kWh	Omgerekend
Propaan	7 058	7 958	kWh/L	www.propaangas.be
Propaan	7 258		kWh/L	Glasreg
Propaan	0,4368		€/L	Statbel
Propaan	0,06		€/kWh	Omgerekend
Lamppetroleum	9,63	10,28	kWh/L	Glasreg
Lamppetroleum	0,5394		€/L	Statbel
Lamppetroleum	±0,06		€/kWh	Omgerekend
Hout	3,72	5,56	kWh/kg	Glasreg (25% vocht)
Hout	0,0307	0,0496	€/kWh	Energieobservatorium
Hout	0,114	0,276	€/kg	Omgerekend
Pellets	5		kWh/kg	EN 14 961
Pellets	0,0514	0,0515	€/kWh	Energieobservatorium
Pellets	0,257	0,2575	€/kg	Omgerekend

3.1. VARKENSSECTOR

Volgens de Vlaamse landbouwcijfers bedroeg in 2018 het aantal varkens per bedrijf gemiddeld 1.563¹. Een kleinschalige vergistingsinstallatie dat opereert op de verse varkensmest van een vleesvarkensstal met 1.563 varkens kan jaarlijks een geschatte 99.464 kWh² aan warmte produceren. In Tabel 2 wordt weergegeven hoeveel aan welke brandstof daarmee jaarlijks te vervangen is en de daaraan gekoppelde besparing.

Tabel 2: overzicht van de hoeveelheid te vervangen brandstoffen en de daarmee te besparen kost op een typisch varkensbedrijf, op basis van de energie-inhoud en kostprijs in Tabel 1.

Brandstof	Jaarlijks te vervangen	Te besparen kost
Mazout	9.509 liter	€ 4.905
Aardgas	9.666 m ³	€ 2.984
Propaan	13 liter	€ 6
Lamppetroleum	9.991 liter	€ 5.389
Hout	21.436 kg	€ 4.180
Pellets	19.893 kg	€ 5.117

In Tabel 3 wordt hetzelfde overzicht gegeven in het geval van een kleinschalige vergistingsinstallatie bij een bedrijf met 1.563 varkens, dit keer huizende in een VeDoWS-stal. Ditzelfde aantal varkens in een VeDoWS-stal kan jaarlijks een geschatte 95.485 kWh³ aan warmte produceren.

Tabel 3: overzicht van de hoeveelheid te vervangen brandstoffen en de daarmee te besparen kost op een typisch varkensbedrijf met VeDoWS-stal, op basis van de energie-inhoud en kostprijs in Tabel 1.

Brandstof	Jaarlijks te vervangen	Te besparen kost
Mazout	9.129 liter	€ 4.709
Aardgas	9.279 m ³	€ 2.865

¹ <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties-cijfers/landbouwcijfers>

² Ervan uitgaande dat het biogaspotentieel van drijfmest 32 m³/ton is. Volgens de mestbank produceert één vleesvarken 1 ton mest per jaar.

³ Ervan uitgaande dat het biogaspotentieel van de dikke fractie van VeDoWS-mest 109 m³/ton is en één vleesvarken 0,28 ton dikke fractie aan mest per jaar produceert.

Propan	13 liter	€ 6
Lamppetroleum	9.592 liter	€ 5.174
Hout	20.579 kg	€ 4.013
Pellets	19.097 kg	€ 4.913

De geproduceerde warmte – en het vermeden brandstofverbruik – kan op varkensbedrijven eventueel worden aangewend voor volgende mogelijkheden:

- Warm water voor het wassen van zeugen of reinigen van de stal
- Warmtebenutting voor stallenverwarming
- Toepassingen voor hygiënisatie op het bedrijf (zowel voedingswaren als mestproducten)
- Agrarische droogtoepassingen
- Grondverwarming voor de kraamstallen
- Innovaties bij brijvoerbereiding (verhitting voor verhoogde ontsluiting voedingswaarde)

3.2. GROENTESECTOR

Volgens de Vlaamse landbouwcijfers bedroeg in 2018 het gemiddelde areaal van groentebedrijven 7,06 ha¹. Er komt gemiddeld 20 tot 25 ton preiresten vrij per ha prei geteeld. Een kleinschalige vergistingsinstallatie die opereert op preiresten van zo'n areaal kan jaarlijks een geschatte 10.643 kWh⁴ aan warmte produceren. In Tabel 4 Tabel 2 wordt weergegeven hoeveel aan welke brandstof daarmee jaarlijks te vervangen is en de daaraan gekoppelde besparing.

Tabel 4: overzicht van de hoeveelheid te vervangen brandstoffen en de daarmee te besparen kost op een typisch groentebedrijf, op basis van de energie-inhoud en kostprijs in Tabel 1.

Brandstof	Jaarlijks te vervangen	Te besparen kost
Mazout	1.017 liter	€ 525
Aardgas	1.034 m ³	€ 319
Propan	1 liter	€ 1
Lamppetroleum	1.069 liter	€ 577
Hout	2.294 kg	€ 447

⁴ Ervan uitgaande dat het biogaspotentieel van preiresten 46 m³/ton is.

Pellets 2.129 kg € 548

Deze schaalgrootte is echter niet voldoende om een biogasinstallatie van 10 kW_{el} te plaatsen. Om een 10 kW_{el}-biogasinstallatie draaiende te kunnen houden, is er minstens een hoeveelheid van 929 ton preiresten per jaar nodig. Dergelijke hoeveelheid preiresten komt overeen met een areaal aan prei van 41,3 ha. Een kleinschalige vergistingsinstallatie die opereert op preiresten van zo'n areaal kan jaarlijks een geschatte 10.643 kWh⁴ aan warmte produceren. Hoeveel brandstof met deze hoeveelheid kan worden uitgespaard, wordt weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5: overzicht van de hoeveelheid te vervangen brandstoffen en de daarmee te besparen kost op een typisch groentebedrijf, op basis van de energie-inhoud en kostprijs in Tabel 1.

Brandstof	Jaarlijks te vervangen	Te besparen kost
Mazout	5.951 liter	€ 3.069
Aardgas	6.049 m ³	€ 1.867
Propana	8 liter	€ 4
Lamppetroleum	6.252 liter	€ 3.373
Hout	13.414 kg	€ 2.616
Pellets	12.449 kg	€ 3.202

De geproduceerde warmte – en het vermeden brandstofverbruik – kan op groentebedrijven eventueel worden aangewend voor volgende mogelijkheden:

- Warm water voor was- en spoelactiviteiten van groenten
- Toepassingen voor hygiënisatie van voedingswaren op het bedrijf
- Agrarische droogtoepassingen
- Grondverwarming (bv. teeltvervroeging bij asperges)
- Verwarming voor ruimtes of serres
- Innovaties bij brijvoerbereiding (verhitting voor verhoogde ontsluiting voedingswaarde)

4. Conclusies

Uit deze aannames en berekeningen kan geconcludeerd worden dat een varkensbedrijf van gemiddelde grootte meer warmte kan produceren en dus meer kosten bespaart dan een gemiddeld groentebedrijf en zelfs meer dan een groentebedrijf voldoende groot om een kleinschalige vergistingsinstallatie van 10 kW_e te laten draaien.

Het nuttig aanwenden van de geproduceerde warmte kan de kostprijs van anders benodigde brandstof aanzienlijk doen dalen. Het valoriseren van deze warmte is dus zeker interessant om voldoende te benuttigen.

Bijlage 7: Literatuurstudie stallenbouw

Impact van de stallenbouw op emissies en biogaspotentieel in de varkenshouderij

Sander Vandendriessche
Anke De Dobbelaere
Stephanie Jonckheere

WP4, T4.1: Verse aanvoer vloeibare biomassa naar vergister
Pocket Power

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	1
Lijst met afkortingen.....	3
Lijst van afbeeldingen	4
Lijst van tabellen.....	4
1 Inleiding	5
2 Impact ouderdom mest op biogaspotentieel en emissies.....	6
3 Invloedsfactoren op emissies en de biogasopbrengst uit mest	9
3.1 Stalconstructie	9
3.1.1 Ventilatiesysteem	10
3.1.2 Vloertype en hokindeling	10
3.1.3 Andere.....	11
3.2 Mestverwijderingssysteem	12
3.2.1 Frequentie mestverwijdering	13
3.2.2 Enkele mogelijkheden	13
3.2.3 Mestscheiding aan de bron.....	16
3.3 Mestopslag	17
3.3.1 Afdekking mest	17
3.3.2 Additieven	18
3.3.3 Temperatuur.....	19
3.3.4 Zuurtegraad	20
3.3.5 Mengen.....	21
3.3.6 Beluchten van drijfmest.....	22

3.4	Voorbeeld van een innovatief stalsysteem	22
4	Bestaande stalsystemen in Vlaanderen	24
4.1	Ammoniakemissiearme stalsystemen.....	24
4.2	Huidige onderverdelingen mestvarkens in Vlaamse stalsystemen.....	27
5	Doorrekening haalbaarheid.....	28
6	Conclusie.....	31
7	Referenties	32
8	Bijlages	35

Het project Pocket Power is een project van Inagro en Universiteit Gent dat wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.



Lijst met afkortingen

BKG	-	broeikasgas
CO ₂	-	koolstofdioxide
CH ₄	-	methaan
N ₂ O	-	lachgas
NH ₃	-	ammoniak
NH ₄ ⁺	-	ammonium
NO ₂	-	stikstofdioxide

Lijst van afbeeldingen

Figuur 1: Hoe ouder de mest, hoe lager het biogaspotentieel. De afnamecurve tussen dag 32 en dag 120 (stippellijn) werd niet continu gemonitord en kan dus in werkelijkheid anders zijn dan hier geïllustreerd (de Buisonjé and Verheijen, 2014).....	6
Figuur 2: Relatie tussen de versheid van varkensmest en de te verwachten biogasproductie (Voncken, 2014)	7
Figuur 3: CH ₄ -emissies doorheen de tijd van gescheiden (volle lijn) en ruwe (stippellijn) varkensmest (Moset et al., 2012).....	7
Figuur 4: De invloed van vergisting (opslagtijd: 12 dagen - verblijftijd: 32 dagen) op broeikasgasemissies (A: 6% van de mest wordt vergist - B: 100% van de mest wordt vergist - C: 65% van de mest wordt vergist) (Burg et al., 2018).....	8
Figuur 5: Principe van ventilatie (Van Gansbeke et al., 2009)	10
Figuur 6: Methaanemissie van varkensmest opgeslagen bij 20 °C (Sommer et al., 2007).....	12
Figuur 7: Voorbeeld van een mestschuif.	14
Figuur 8: Mestrobot op het Nederlands melkveebedrijf van Jacques van Poppel (2019).....	15
Figuur 9: Schematische voorstelling van een rioleringsysteem.....	16
Figuur 10: Dwarsdoorsnede van de vlakke band (1. Roostervloer, 2. Dichte vloer, 3. Schuine wand, 4. Transportband, 5. Giergoot) (Alonso et al., 2018)	17
Figuur 11: Invloed van de temperatuur op CH ₄ -emissies gedurende mestopslag van varkensmest (links) en rundermest (rechts) (--- cumulatieve CH ₄ -emissies ; · gemeten CH ₄ -emissie i.f.v. de dag) (Sommer et al., 2007).	20
Figuur 12: Tyleenslangen onderaan de mestkelder bij het Aeromix-systeem	22
Figuur 13: Het principe van Star+ gekoppeld aan een vergistingsinstallatie (Kasper et al., 2015)..	23
Figuur 14: Dwarsdoorsnede van een varkenshok met bolle vloer, mestkanaal en waterkanaal (Van Overbeke et al., 2010).	25
Figuur 15: Verdeling van de varkens van 20 tot 110 kg over verschillende stalsystemen.	27

Lijst van tabellen

Tabel 1: Opsomming van de belangrijkste invloedsfactoren voor emissies (Brusselman et al., 2016)	9
--	---

1 Inleiding

Een zo vers mogelijke aanvoer van mest naar een vergistingsinstallatie is cruciaal voor een maximalisatie van het biogaspotentieel en een minimalisatie van ammoniak(NH_3)- en broeikasgas(BKG)-emissies zoals methaan (CH_4) en lachgas (N_2O). De broeikasgassen CH_4 en N_2O hebben een CO_2 -equivalent van respectievelijk 25 en 298 (Klimaat, No date) en dienen dus vermeden te worden. Momenteel is het zo dat in de meeste bestaande stalsystemen de mest gedurende een langere tijd in de mestopslag wordt gestockeerd. Uit onderzoek blijkt echter dat het biogaspotentieel van drijfmest vooral in de eerste dagen na uitscheiding sterk daalt, terwijl daaraan gekoppeld de BKG-emissies op dat ogenblik hoog zijn. Het is dus zaak om in het ontwerp van de stallenbouw voldoende aandacht te schenken aan minimale emissies en een maximaal biogaspotentieel, bijvoorbeeld door frequente afvoer of stabilisatie van de mest. De bedoeling van deze taak is om de mogelijke scenario's voor zowel bestaande als nieuwe stallen verder uit te diepen zodat gerichte advisering voor integratie van pocketvergisting hierrond mogelijk wordt.

Hiertoe werd in een eerste fase een literatuurstudie uitgewerkt waarin onderzocht wordt wat de impact van diverse factoren is op het biogaspotentieel en BKG- en NH_3 -emissies. Parallel hieraan werden ook individuele brainstormsessies gehouden met diverse stakeholders, om meer inzicht te verkrijgen in de mogelijkheden en de mening van experts te aanschouwen. Op deze manier werden er mogelijke knelpunten vastgesteld en oplossingen gezocht. De brainstorms werden gehouden in beperkte groepen waarbij de verschillende actoren niet samen gezet werden. Dit werd bewust gedaan om beïnvloeding van elkaars visie te voorkomen en om op die manier een grotere spreiding aan ideeën te verkrijgen.

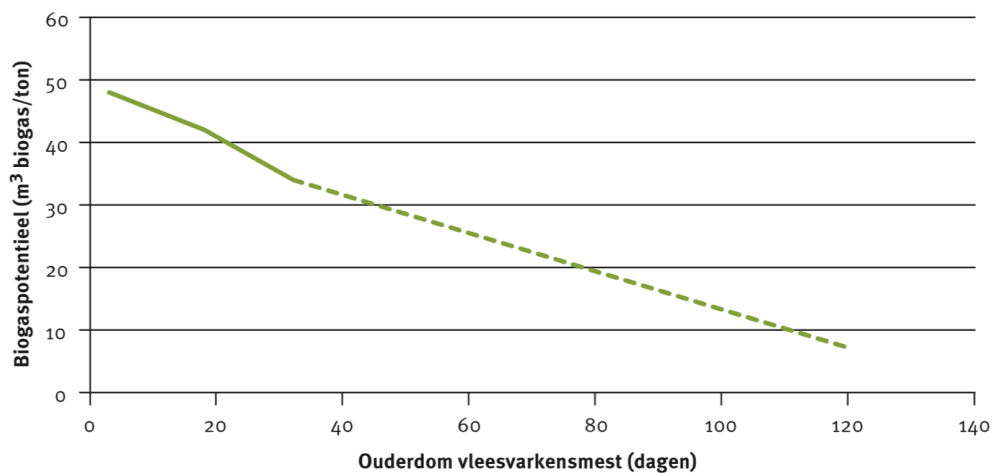
Vervolgens worden enkele van de momenteel meest voorkomende stalsystemen beschreven. Bij het formuleren van adviezen naar landbouwers toe op vlak van stalontwerp en -aanpassing is het van belang om van de juiste uitgangssituatie uit te gaan. Daarnaast is het ook belangrijk rekening te houden met eventuele uitbreidingsplannen en de al dan niet aanwezigheid van voldoende opslagcapaciteit.

Uiteindelijk is het doel om op basis van deze literatuurstudie en voorafgaande individuele brainstormsessies een aantal scenario's uit te werken die maximaal voldoen aan de randvoorwaarden van een pocketvergister. Daarom worden in dit laatste hoofdstuk mogelijkheden uitgezocht die mest met een maximaal biogaspotentieel kunnen voorzien. Dit kan ofwel door de mest zo vers mogelijk af te voeren, ofwel door bepaalde handelingen te gaan uitvoeren in de kelder waardoor deze mest zijn biogaspotentieel behoudt. Deze scenario's worden doorgerekend op vlak van rendabiliteit en worden kwalitatief geëvalueerd op vlak van hun effect op mestkwaliteit en -beschikbaarheid, dierenwelzijn, mogelijkheden tot uitbreiding en emissies.

2 Impact ouderdom mest op biogaspotentieel en emissies

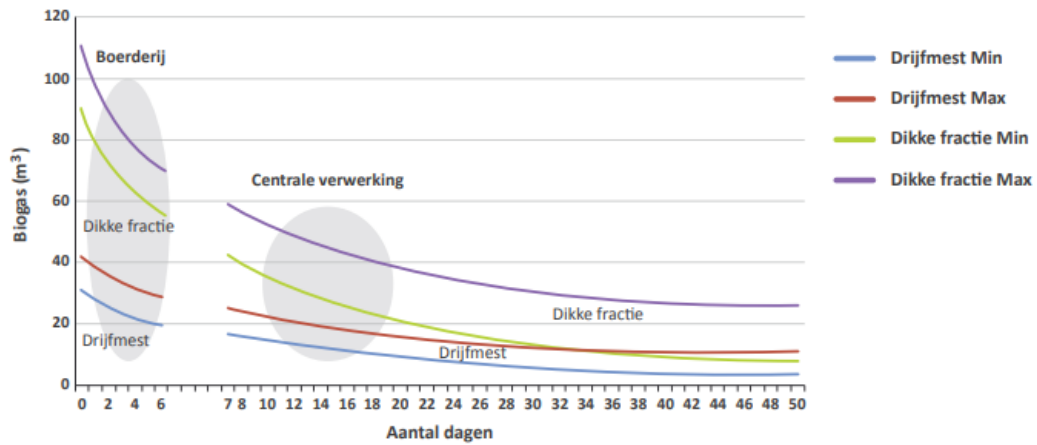
In feite is het biogaspotentieel rechtstreeks gelinkt aan de CH₄-emissies. CH₄ is namelijk het onderdeel van het biogas dat energie aanlevert. Er kan dus verondersteld worden dat het vermijden van BKG-emissies in de stal kan zorgen voor een hogere biogasopbrengst uit de mest.

Uit een studie van de Buisonjé and Verheijen (2014) blijkt dat het biogaspotentieel van varkensmest snel afneemt als het gewoon opgeslagen wordt zonder verdere behandeling. Alleen een snelle vergisting levert een maximale hoeveelheid biogas op aangezien het biogaspotentieel van drijfmest maandelijks met zo'n 30% afneemt wanneer het geen behandeling ondergaat (Figuur 1). In een mestopslag kan door spontane, koude gisting biogas (dus de broeikasgassen CH₄ en CO₂) ontstaan en ongecontroleerd ontsnappen via de roosters en de ventilatielucht. De afnamesnelheid van het biogaspotentieel kan door verschillende factoren worden beïnvloed: de temperatuur, de mate van zuurstofgebrek in de mestopslag, de afbreekbaarheid van de organische stof in de mest en het effect van menging en luchtinslag door feces en urine die door de roosters in de mestopslag vallen.



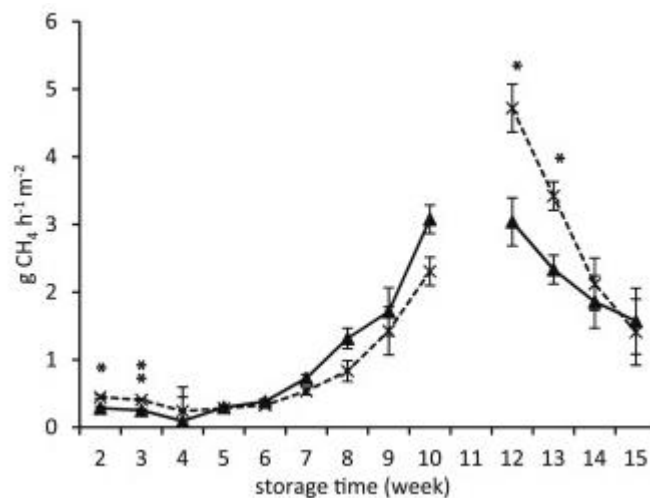
Figuur 1: Hoe ouder de mest, hoe lager het biogaspotentieel. De afnamecurve tussen dag 32 en dag 120 (stippellijn) werd niet continu gemonitord en kan dus in werkelijkheid anders zijn dan hier geïllustreerd (de Buisonjé and Verheijen, 2014)

Uit ditzelfde onderzoek bleek dat de luchtkwaliteit in de stal verbetert als de mest snel wordt afgevoerd, aangezien de emissies uit de mestopslag verminderd worden. De snelle afname van het biogaspotentieel van varkensmest werd bevestigd in een studie van Voncken (2014). Hier werd echter wel waargenomen dat het biogaspotentieel nog sneller afneemt (Figuur 2). Dezelfde conclusie werd getrokken door Burg et al. (2018). Hun studie besluit dat hoe groter het tijdsinterval tussen mestuitscheiding en de start van het vergistingsproces is, hoe meer niet-gecapteerd biogas vrijkomt in de vorm van BKG-emissies.



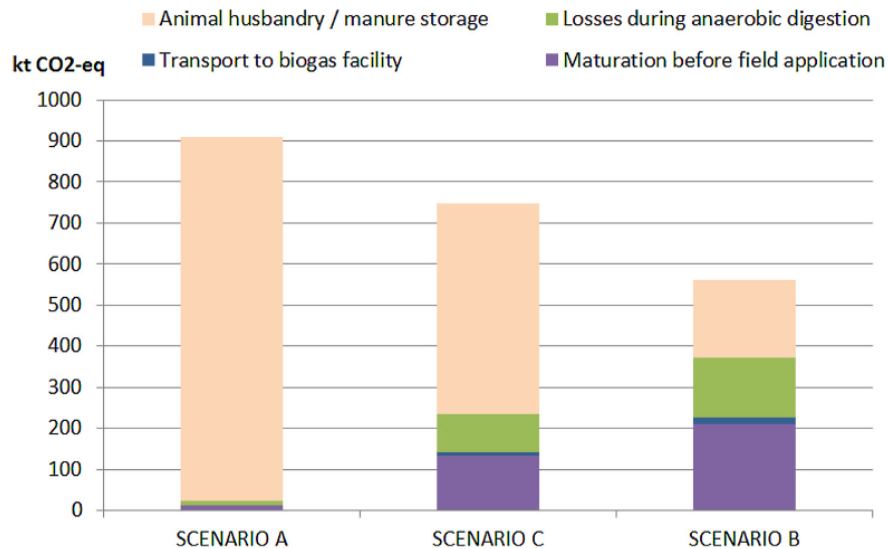
Figuur 2: Relatie tussen de versheid van varkensmest en de te verwachten biogasproductie (Voncken, 2014)

Moset et al. (2012) namen een hoge biologische degradatie waar tijdens de eerste vijf weken opslag van vleesvarkensmest (gemiddelde mesttemperatuur: 23,9 °C) door een toename in chemische zuurstofvraag, vluchtige vetzuren en CO₂-emissie. Echter werd amper CH₄-emissie geobserveerd. Er werd namelijk waargenomen dat methanogene bacteriën pas na vijf weken in actie schoten (Figuur 3). De verminderde biogasopbrengst was volgens hen te wijten aan de afname van de biodegradeerbaarheid van organisch materiaal gedurende mestopslag, wegens een stijgende niet-degradeerbare fractie aan organisch materiaal. Deze studie stelt dus dat er niet veel CH₄-emissies zijn gedurende de eerste vijf weken na mestuitscheiding. Een kanttekening bij dit onderzoek is dat buitencondities gesimuleerd werden. De gemiddelde waargenomen temperatuur van de buitencondities was echter vrij hoog (24,9 ± 2.90°C; min. T: 15,3°C; max. T: 30,3°C) waardoor de vergelijking met de temperatuur in een mestkelder wel kan opgaan.



Figuur 3: CH₄-emissies doorheen de tijd van gescheiden (volle lijn) en ruwe (stippellijn) varkensmest (Moset et al., 2012)

Figuur 4 illustreert dat BKG-emissies uit mestopslag sterk gereduceerd kunnen worden door vergisting. Uit deze figuur blijkt ook dat er tijdens het vergistings- en nagistingproces nog BKG-emissies zijn, maar de geaccumuleerde emissies zijn in totaliteit beduidend minder dan wanneer er niet vergist wordt.



Figuur 4: De invloed van vergisting (opslagtijd: 12 dagen - verblijftijd: 32 dagen) op broeikasgasemissies (A: 6% van de mest wordt vergist - B: 100% van de mest wordt vergist - C: 65% van de mest wordt vergist) (Burg et al., 2018)

3 Invloedsfactoren op emissies en de biogasopbrengst uit mest

Er zijn heel wat factoren die een invloed kunnen uitoefenen op emissies in de stal en uiteindelijk ook het biogaspotentieel. Deze mestmanagementtechnieken worden algemeen opgesplitst in zes hoofdcategorieën (Tabel 1): dier, voeder, blootstelling van stal, stalconstructie, mestverwijderingssysteem en mestopslag. In de volgende paragrafen wordt voornamelijk aandacht besteed aan factoren gerelateerd aan de stalconstructie, het mestverwijderingssysteem en de mestopslag, aangezien deze allen in relatie tot de stallenbouw staan.

Tabel 1: Opsomming van de belangrijkste invloedsfactoren voor emissies (Brusselman et al., 2016)

Dier	Voeder	Blootstelling van stal	Stalconstructie	Mestverwijderingssysteem	Mestopslag
Gewicht	Voederratio	Klimaat	Ventilatiesysteem	Vloerontwerp	In of buiten stal
Voedercon- -versieratio	Voederin- -name	Min./max. temperaturen	Interne windsnelheid	Reinigingsfrequentie	Overdekt of open
Ras	Additieven	Windrichting en -snelheid	Emitterend oppervlak	Reinigingsintensiteit	Oppervlakte
Activiteit	Voeder- management	Vochtigheid	Type vloer	Additieven	Korstvorming
					Additieven
					Management
					Temperatuur
					Zuurtegraad

4 Een algemene overzichtstabel van de belangrijkste maatregelen om emissies aan de bron te reduceren wordt weergegeven in Bijlages

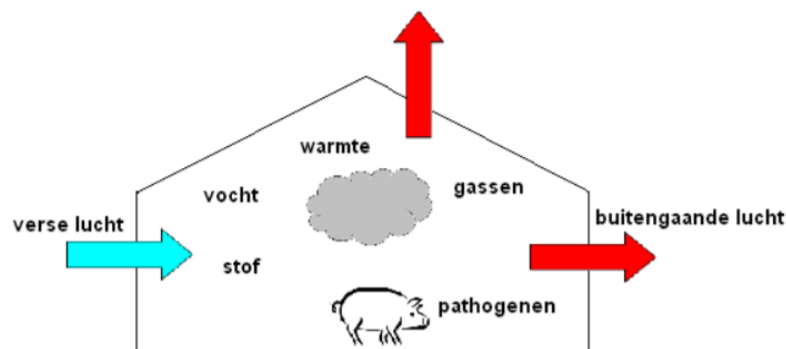
Bijlage 1, samen met hun impact op emissiereducties, luchtkwaliteit en toepasbaarheid in bestaande stallen.

4.1 Stalconstructie

De stalconstructie heeft een grote impact op de uiteindelijke vrijgekomen BKG-emissies. Zaken die hierbij gecontroleerd kunnen worden zijn het ventilatiesysteem en het vloertype (en bijgevolg ook het emitterend oppervlak).

4.1.1 Ventilatiesysteem

Het ventilatiesysteem heeft een belangrijke invloed op het stalklimaat (en bijgevolg het dierenwelzijn) en emissies. Ventilatie heeft als doel de stallucht te verversen en tevens de temperatuur op peil te houden, zoals geïllustreerd wordt in Figuur 5. Dit is in principe gemakkelijk te verwezenlijken door snelle luchtbewegingen (tocht) te realiseren. Het wordt een stuk complexer als de dieren die in de stal gehuisvest zijn tegelijkertijd uit de tocht moeten worden gehouden. Om te bruuske klimaatsveranderingen te voorkomen wordt de binnenkomende verse lucht daarom vaak met de stallucht vermengd (Van Gansbeke et al., 2009).



Figuur 5: Principe van ventilatie (Van Gansbeke et al., 2009)

Aangezien het dierenwelzijn een steeds belangrijker wordende factor is, is een goede afstelling van de stalventilatie erg belangrijk. Het is wettelijk verplicht om alarmmeldingen te voorzien als te veel afgeweken wordt van de vooraf ingestelde controleparameters. De lucht moet voldoende verversed kunnen worden en op een goede temperatuur gebracht worden; doch mogen de dieren hier geen hinder van ondervinden. Aanpassingen doorvoeren aan reeds bestaande stallen is niet altijd evident. Een gekend probleem is bijvoorbeeld putventilatie. Door het plots frequent aflaten van de mest kan er mogelijk geen exacte controle meer zijn over de ventilatie, wat nadelige effecten kan hebben. Mestputten zijn namelijk niet gebouwd om volledig leeg te zijn. Sommige kelders zijn wel gecompartmenteerd, maar niet volledig tot de vloeren wat voor een slechtere ventilatie zou kunnen zorgen.

Er kan zowel natuurlijke als mechanische ventilatie gebruikt worden. Bij natuurlijke ventilatie is er geen regeling mogelijk, maar is de kost beperkt. Mechanische ventilatie is goed regelbaar en is geschikt om een luchtbehandelingstechniek na te schakelen; echter is er een hoog elektriciteitsverbruik (Van Gansbeke et al., 2009).

4.1.2 Vloertype en hokindeling

Het vloertype is een andere factor die emissies bepaalt. Het emitterend oppervlak kan verkleind worden door een deel van de roosters om te bouwen tot volle vloeren. Er is aangetoond dat een gedeeltelijke roostervloer leidt tot een reductie van 4-13% CO₂-equivalenten in vergelijking met een volledige roostervloer (Philippe et al., 2015). Het mestgedrag van de varkens moet dan zo

gestuurd worden dat de varkens op de juiste plaatsen gaan bemesten. Indien dit niet gebeurt hebben aanpassingen aan de vloer weinig zin. Het concentreren van de mest op één plaats maakt afvoer ook makkelijker. Cruciaal voor het sturen van mestgedrag is de hokindeling en de ventilatie. Dit sturen van mestgedrag werd reeds onderzocht door WUR aan de hand van een sleuenvloer in combinatie met een mestschuif en vloerbesproeiing. Modelberekeningen wijzen volgende zaken uit: reducties van fijnstof zijn naar verwachting 50%, zeer fijn stof 50%, geur 70% en CH₄ 90% (GreenPort, 2019).

Er kan ook gekozen worden om een volledig volle vloer te nemen, waarbij de mest verzameld wordt via een rioleringsstelsel of een mestrobot. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is dat de mest voldoende moet kunnen wegvloeien zodat er geen gevaar is op te gladde vloeren. Door niet langer met mestkelders te werken moet de mest in elk geval regelmatig worden afgevoerd. Ook werken met schuine putwanden zal het emitterend oppervlak verkleinen. Een andere mogelijkheid is het gebruik van mestpannen, waarbij de mest periodiek afgelaten wordt via een afsluitbare opening onderin de pannen. In Nederland heeft men ook reeds succesvol gebruik gemaakt van gekoelde mestpannen, waarbij de NH₃-uitstoot daalt naar 1,27 kg per varkensplaats en er een aangenaam stalklimaat is (Brabant, 2019)

Bij het werken met een volle vloer wordt dikwijls gebruik gemaakt van beddingmateriaal. De meest gebruikte materialen hiervoor zijn stro of zaagsel. Beddingmateriaal leidt tot een verlaging van CH₄-emissies tijdens mestopslag, maar een verhoging van N₂O-emissies waardoor het totale CO₂-equivalent groter is dan bij een roostervloer. Echter zijn hier nog meer studies nodig om het effect van verschillende types beddingmateriaal te bestuderen. Emissies zijn namelijk afhankelijk van diverse factoren zoals het type beddingmateriaal, de hoeveelheid en de frequentie van toediening (Philippe et al., 2015). Uit een studie van Cabaraux et al. (2009) blijkt dat het CO₂-equivalent van een roostervloer, stro stalmest en zaagsel stalmest respectievelijk 22, 34 en 168 g CO₂ per dag en per varkensplaats bedraagt.

M.b.t. dierenwelzijn is het belangrijk om mee te geven dat de dieren steeds op een wettelijk bepaalde minimale oppervlakte moeten kunnen gehuisvest worden. Deze minimale oppervlakte is afhankelijk van het type dier. Bovendien moet de inrichting van de stal zo zijn dat elk varken ongehinderd kan liggen, rusten en opstaan, beschikt over een reine plaats en andere varkens kan zien.

4.1.3 Andere

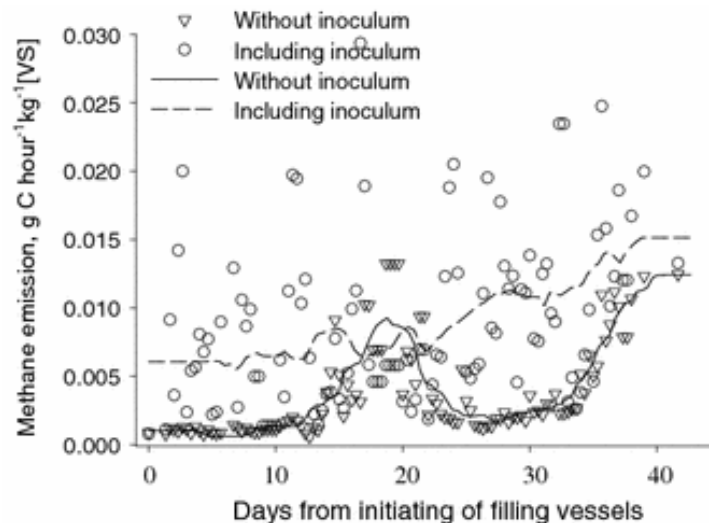
Een interessante technologie die mogelijk emissies in stallen kan tegengaan is het coaten van titaniumdioxide (TiO₂) op de binnenwanden. Dankzij de fotokatalytische eigenschappen in combinatie met UV licht kan TiO₂ leiden tot verminderde emissies. Dit komt door het hoge oxidatiepotentiaal van TiO₂ in combinatie met bestraling. Dit werd reeds succesvol geïllustreerd in een varkensstal, waar een coating van 70 g/m² TiO₂ bestraald door tien UV-A lampen leidde tot een daling van 27% CH₄-concentratie en 17% fijnstofdeeltjes in de uitlaatgassen van de stal. Eveneens werd een verbeterde voederconversie waargenomen (Costa et al., 2012). Dit dient

echter nog bevestigd te worden in andere studies en het onderliggende werkingsprincipe moet nog meer uitgeklaard worden (Philippe et al., 2015).

4.2 Mestverwijderingssysteem

Twee belangrijke factoren die een grote invloed hebben op de emissies zijn de frequentie van mestverwijdering en het al dan niet scheiden van de mest. Een goede mestverwijdering is belangrijk aangezien achtergebleven mest na het ledigen van mestkelders kan optreden als een inoculum. Als er zich in de mestkelder geen resten bevinden zal de CH₄-emissie pas na twaalf dagen significant worden, al is het effect hiervan ook sterk temperatuursafhankelijk (zie verder). Indien er wel mestresten aanwezig zouden zijn kan er al CH₄-emissie optreden vanaf dag één (Sommer et al., 2004). Dit werd geïllustreerd in een experiment waarbij aan één vat 7,6% inoculum werd toegevoegd. Gaandeweg werd mest toegevoegd gedurende tien dagen om zo de mestuitstoot van dieren na te bootsen. Bij de controle werd geen inoculum toegevoegd (Figuur 6).

Deze studie illustreert dus dat het efficiënt en volledig ledigen van de mestputten van belang is om zo veel mogelijk CH₄-emissies te vermijden. Als er reeds mest aanwezig is zal er namelijk steeds CH₄-emissie zijn terwijl dit niet het geval is bij een propere mestput.



Figuur 6: Methaanemissie van varkensmest opgeslagen bij 20 °C (Sommer et al., 2007).

Stallen dienen op gepaste en regelmatige wijze gereinigd en ontsmet kunnen worden om kruiscontaminatie en ziekteverwekkers te voorkomen. Dit staat in nauw verband met het afvoeren van verse mest. Stallen kunnen namelijk niet deftig gereinigd worden wanneer het mestverwijderingssysteem niet voldoet.

4.2.1 Frequentie mestverwijdering

Hoe frequenter de mest afgevoerd kan worden, hoe minder BKG-emissies en hoe groter het biogaspotentieel. Zoals reeds eerder besproken is een snelle aanvoer naar een vergistingsinstallatie namelijk de beste optie om het biogaspotentieel te maximaliseren. CH₄-emissiemetingen uit een vleesvarkensstal met frequente mestverwijdering duiden aan dat het grootste gedeelte van de emissies endogeen was, dus door de dieren zelf geproduceerd, en nauwelijks afkomstig uit de mest. Dit impliceert dat systemen met frequente mestverwijdering een goede optie zijn om de CH₄-emissie uit stallen te verminderen (Groenestein et al., 2005). Wanneer deze mest dan vergist wordt, kunnen de CH₄-emissies nuttig opgevangen worden en gevaloriseerd worden als biogas.

Wisselende resultaten werden reeds bereikt met de frequentie van mestverwijdering, maar over het algemeen blijkt dat er een reductie is van de totale emissies, uitgedrukt in CO₂-equivalenten (Philippe et al., 2015).

4.2.2 Enkele mogelijkheden

Er zijn meerdere technieken om mest te gaan verwijderen waarvan er hier enkele beschreven worden:

- Spoelen

Uit onderzoek blijkt dat frequent spoelen van de mestput (elke 1-2h) gedurende een korte periode (slechts 2 seconden) veel effectiever is ten opzichte van langer, maar minder frequent spoelen. Door de mest te spoelen naar een goot kan er tot 35% reductie in cumulatieve emissies verwezenlijkt worden (Philippe et al., 2015). Het nadeel van spoelen is dat de mest aangereikt wordt met water en dus het biogaspotentieel verlaagt. Naar deze studie toe is dit dus geen effectieve techniek.

- Mestschuiven

Het principe van een mestschuif is de mest wegschuiven gedurende een aantal keer per dag. Dit is een vrij eenvoudig en goedkoop systeem. Het vraagt echter voldoende aandacht. Zo mag de mest niet versmeerd worden om gladde vloeren te vermijden en kunnen oneffenheden in de vloer moeilijkheden veroorzaken (Stevens, 2018).



Figuur 7: Voorbeeld van een mestschuif.

- Mestrobots

Er kan ook geopteerd worden om mest te gaan verwijderen m.b.v. een mestrobot, analoog zoals dit systeem zijn ingang begint te vinden in rundveestallen. Dit is als het ware een soort stofzuiger die de mest gaat opzuigen. Er kan al dan niet een extra watersproeier voorzien worden indien de mest te droog zou zijn. M.b.v. robots wordt de mest efficiënt verwijderd en naar een externe opslag gebracht (Stevens, 2018). Robotten zouden de mest naar een centrale afvoerput kunnen brengen van waaruit de mest kan opgepompt worden om bijvoorbeeld enkele malen per dag een vergister te voeden. Hierbij dient er rekening gehouden te worden met diverse criteria: sterkte van de robot (capaciteit), autonomie, hoeveelheid mest, agressiviteit van de mest (elektronica), onderhoud, effen vloeren, af te leggen traject, ... Echter heeft mestrobotproducent Lely aangegeven zich enkel te willen focussen op melkvee. Een analoge respons kwam er van DeLaval B.V. Zij geven aan dat ze geen marktopportunities zien om hierin te investeren. Ook werd meegedeeld dat varkens vaker en langer gaan liggen dan koeien, wat de capaciteit van een mestrobot niet ten goede komt. Bovendien is het vinden van technici voor installatie en onderhoud geen evidentie. Door een krapte aan goed personeel ziet men er geen baat bij om dit te gaan implementeren bij varkens.

Tijdens brainstorm kwam wel naar voren om dergelijk systeem te gaan implementeren in de mestkelder. Op die manier kunnen de varkens de robots niet hinderen en wordt de mest uit de mestkelder frequent afgevoerd.



Figuur 8: Mestrobot op een Nederlands melkveebedrijf (2019).

- Schrapers onder het rooster

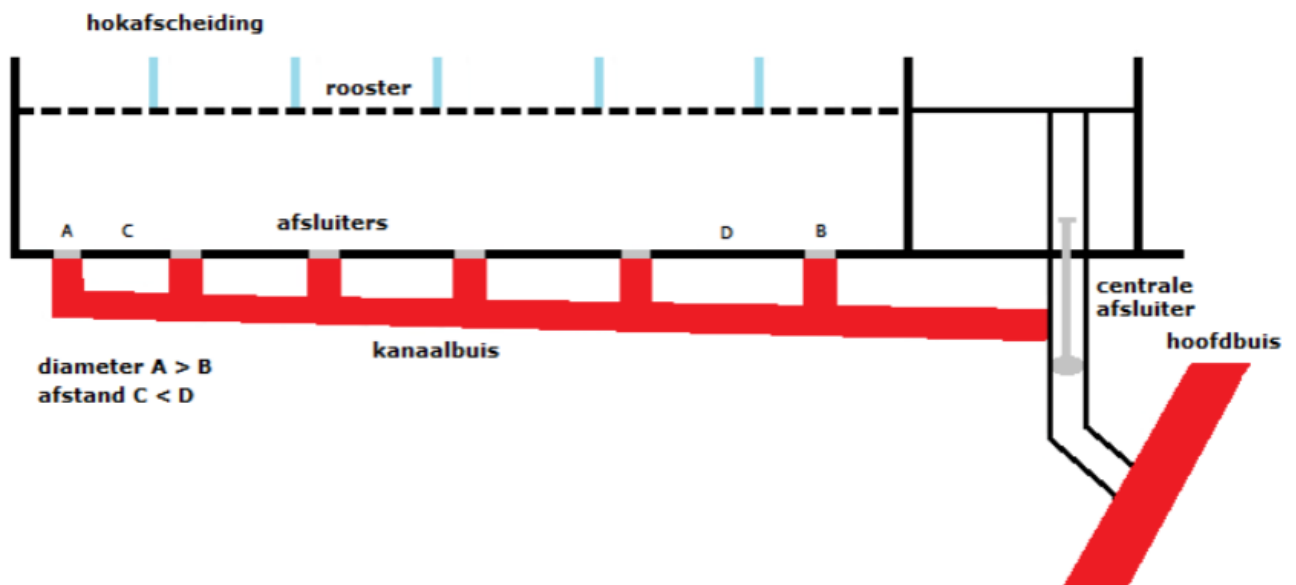
Er kunnen schrapers aangelegd worden onder een roostervloer. Bij een dichte vloer in combinatie met een rooster is er in de overgang tussen deze twee wel een opening waar de urine of mest vanop de dichte vloer naar de mestkelder kan verplaatst worden. Door schrapers onder het rooster aan te brengen worden dieren niet gehinderd. Het grootste nadeel van deze optie is dat het niet evident is om de kelder te gaan uitmesten en defecten zijn moeilijker op te lossen. Experimenteel blijkt dit systeem te leiden tot een reductie van 15% CO₂-emissies en 50% CH₄- en N₂O-emissies (Philippe et al., 2015).

Een probleem van reeds bestaande stallen is dat deze meestal op palen staan. Hierbij zijn de voeten van deze palen niet altijd gelijk van vorm. Bovendien is de afstand tussen de palen niet altijd identiek omdat de roosters verschillend zijn van grootte. Zo bestaat een gemiddelde stal bijvoorbeeld uit zes rijen met palen op afstand 1,5-2-1,5-2-1,5-2-1,5, wat de implementatie van een mestschuif bemoeilijkt. Dit kan wel tegengegaan worden door bijvoorbeeld te werken met mestschuiven met automatisch verstelbare armen zodat rond de palen gewerkt kan worden. Een derde belangrijk punt is dat de vloeren niet altijd effen en gepolierd zijn. In realiteit zijn er vaak putten en bulten aanwezig en soms zelfs scheuren waardoor er ongetwijfeld mestresten zouden achterblijven die dan weer emissies tot gevolg hebben. Mest vers uit de stal krijgen is eenvoudiger bij een nieuwbouw waar dergelijke mechanische systemen reeds onmiddellijk geïmplementeerd kunnen worden. Er kan dan een ander soort beton gebruikt worden die minder mest vasthoudt waardoor reinigen vlotter gaat of het beton kan gepolierd worden om het glad genoeg te krijgen. Onderhoud of mechanische defecten aan de mestschuiven dienen opgelost te worden door de put te betreden, wat gepaard gaat met veiligheidsrisico's. Ook de ventilatie mag geen hinder ondervinden van aanpassingen in de put. Het is belangrijk om hier voldoende bewust van te zijn.

- Rioleringsysteem

Bij een rioleringsysteem (Figuur 9) wordt de mest via afvoeropeningen met een afsluiter in een buizensysteem gebracht dat bestaat uit een buisparallel aan het kanaal die via een centrale

afsluiter uitmondt in een hoofdbuis. De mest wordt via deze buis gewoonlijk afgevoerd naar een beperkte opvangput/citerne en vandaaruit verpompt naar een grotere opslag. Het waterkanaal wordt of via aparte buizen afgelaten of wordt zo afgesloten dat er als gevolg van mestdruk nooit mest in het waterkanaal kan terechtkomen (Van Gansbeke et al., 2015).



Figuur 9: Schematische voorstelling van een rioleringsysteem (Van Gansbeke et al., 2009).

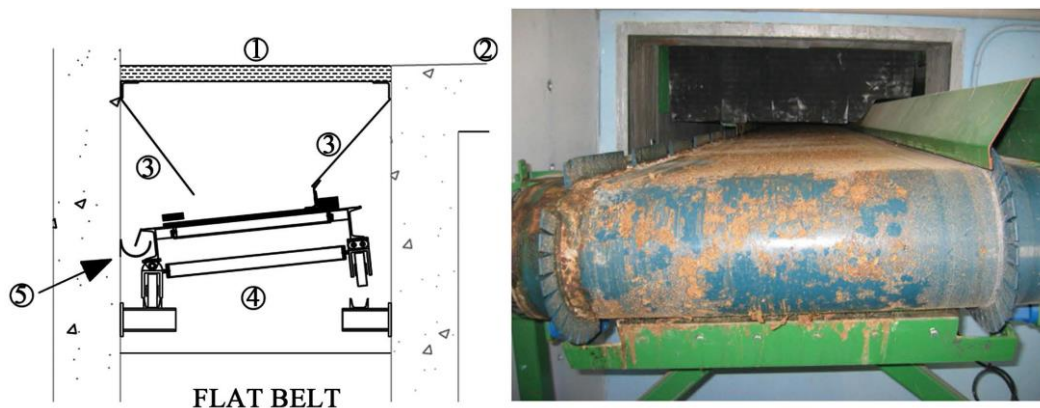
Voor een goede werking van dit systeem is het belangrijk rekening te houden met een correcte afschot van de buizen en mogen de mestkanalen niet te lang zijn. Om te vermijden dat de mest beweegt over de vloer van de mestkelder in plaats van door de buis is het belangrijk de openingen en de afstand hiertussen goed te dimensioneren.

4.2.3 Mestscheiding aan de bron

Mestscheiding aan de bron, zoals het VeDoWS-systeem (Vermeulen Dobbelaere Welfare System), kan ook toegepast worden om emissies te beperken en een beter biogaspotentieel te verkrijgen. Tot op heden zijn er een elftal varkenshouders met een VeDoWS-stal. Een gelijkaardig systeem is het TRAC-systeem, ontworpen door Cooperl. 62 Franse varkenshouders werken met dit systeem, samen goed voor 20.000 ton varkensmest met 26-30% DS op jaarbasis. Wanneer er een nieuwe stal geplaatst wordt, gebruikt 57% van de Franse varkenshouders dergelijk systeem (van Dooren, 2019). Met dergelijke systemen kan 20% CH₄-emissiereductie bekomen worden in vergelijking met een mestput die 1 keer per week geledigd wordt.

Ook met behulp van een transportband onder een roostervloer vindt er een primaire scheiding plaats. Een transportband met lichte helling onder de (gedeeltelijke) roostervloer kan gebruikt worden om de mest primair te gaan scheiden (Figuur 10). Een bijkomend voordeel van een transportband is dat de mest ook meteen kan weggevoerd worden naar de gewenste plaats. Dit kan bijvoorbeeld een mestput zijn van waaruit een vergister gevoed wordt (Alonso et al., 2018).

De scheidingsefficiëntie – gedefinieerd als de ratio van droge stof inhoud van de vaste fractie op de droge stof inhoud van de verse mest – werd nagegaan voor een hellingsgraad van 4° en één van 6° en bedroeg voor vleesvarkensmest respectievelijk 1,30 en 1,41. De mest op de transportband kan nog verder gedroogd worden m.b.v. een ventilatiesysteem. Er kan ook geopteerd worden om een holle transportband te voorzien. Deze blijkt echter minder efficiënt te zijn dan een vlakke transportband. Dit is wellicht te wijten aan het feit dat de urine bij een holle transportband een veel langere weg aflegt dan bij een vlakke transportband (Alonso et al., 2018).



Figuur 10: Dwarsdoorsnede van de vlakke band (1. Roostervloer, 2. Dichte vloer, 3. Schuine wand, 4. Transportband, 5. Giergoot) (Alonso et al., 2018)

Emissiemetingen in een stal met transportband wezen uit dat CO₂- en CH₄-emissies met respectievelijk 47% en 90% gereduceerd konden worden, terwijl N₂O-emissies met 250% toenamen. Echter was de cumulatieve emissie gedaald met 80%, wat dit dus een vrij efficiënt systeem maakt (Philippe et al., 2015). Ook is er in deze systemen is er verminderde NH₃-emissie. NH₃ wordt namelijk gevormd wanneer urine in contact komt met urease, wat aanwezig is in de vaste mestfractie. Door scheiding aan de bron kan urine niet langer in contact komen met urease. Tevens bevat de dikke fractie meer biogaspotentieel (zie eveneens Figuur 2) dan gemengde mest aangezien het organisch materiaal zich voornamelijk in de dikke fractie bevindt.

4.3 Mestopslag

Ook als de mest niet altijd even frequent verwijderd kan worden zijn er opties om emissies te beperken en het biogaspotentieel hoog te houden. Dit kan bekomen worden door de mest afgedekt op te slaan, additieven toe te voegen, de temperatuur en/of zuurtegraad te controleren, ...

4.3.1 Afdekking mest

De mest kan als het ware bedekt worden om zo de uitstoot te minimaliseren. In de literatuur zijn er al enkele verschillende systemen beschreven: balansballen, stro, olielaag, hout, korstvorming... Balansballen bijvoorbeeld drijven op de mest. Wanneer mest op de bal valt, kantelt deze en valt de mest onder de bal in de mestkelder.

De effectiviteit van deze techniek hangt af van de permeabiliteit, de dikte van de bedekking, de degradeerbaarheid, porositeit, ... en is dus niet eenduidig weer te geven. Semipermeabele bedekkingen lijken N_2O -emissies te vergroten aangezien er optimale aerobe condities gecreëerd worden bij het oppervlak en tegelijkertijd ideale omstandigheden voor denitrificatie en de productie van N_2O net onder het oppervlak. (Montes et al., 2013). CH_4 -emissies verminderen daarentegen met een factor 11 à 12 wat mogelijk een positieve impact heeft op het biogaspotentieel (Husted, 1994).

4.3.2 Additieven

Het emissieproces van de mest kan als het ware stilgelegd worden door additieven te gebruiken. Er worden zes groepen van mestadditieven onderscheiden, ingedeeld volgens hun werkingsprincipe (Brusselman and Demeyer, 2013):

- Microbiële additieven: deze additieven bevatten geselecteerde microbiële stammen en/of enzymen die de biologische afbraak van de mest bevorderen. Ze hebben als doel de productie van geurende stoffen te reduceren of de afbraak ervan te bevorderen. Dit gaat echter gepaard met wisselend succes en er is nog veel ongekend hierover.
- Desinfecterende additieven: dankzij deze additieven worden microbiële processen en de gerelateerde geurproductie afgeremd. Deze chemische verbindingen zijn echter vaak toxisch, onpraktisch in gebruik en duur.
- Oxiderende agentia: de meest onderzochte agentia zijn kaliumpermanganaat ($KMnO_4$), waterstofperoxide (H_2O_2) en ozon (O_3). Deze blijven vaak effectief te zijn, maar hun effect is van korte duur. Ook het coaten van TiO_2 op de muren (zie eerder) is een voorbeeld van oxidatie.
- Adsorberende agentia: voorbeelden van additieven met een hoge adsorptiecapaciteit zijn aluminiumsilicaten, zeolieten en bentoniet.
- Maskerende agentia: deze aromatische oliën hebben tot doel de hinderende geur te overheersen. De impact op emissies zal echter minimaal zijn.
- Additieven die in de mest een fysische barrière vormen voor geurende gassen: er kan een fysische barrière gecreëerd worden door bijvoorbeeld olie te vernevelen. Dit blijkt goed te werken, maar de olie is onderhevig aan microbiële afbraak. Bovendien kan de olie veranderen van consistentie en ranzig beginnen ruiken. Ook de impact van de olie op de verdere mestverwerking of de uitspreiding op het land moet nog onderzocht worden. De impact van olie op de biogasproductie werd bijvoorbeeld reeds onderzocht door Awe et al. (2018), waar de additie van 5% (v/v) olie bij een voeding van $2,0 \text{ g VS L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ leidde tot de opstapeling van VFA's, waardoor biogasproductie afgeremd werd.

Een voorbeeld van een additief is humuszuur. Additie van dit organisch zuur aan mest zorgt voor 34% CH_4 -emissiereductie door de stimulatie van methanotrofe bacteriën. Ook tanninen van Quebracho-bomen hebben reeds bewezen 95% CH_4 -emissiereductie te kunnen verwezenlijken

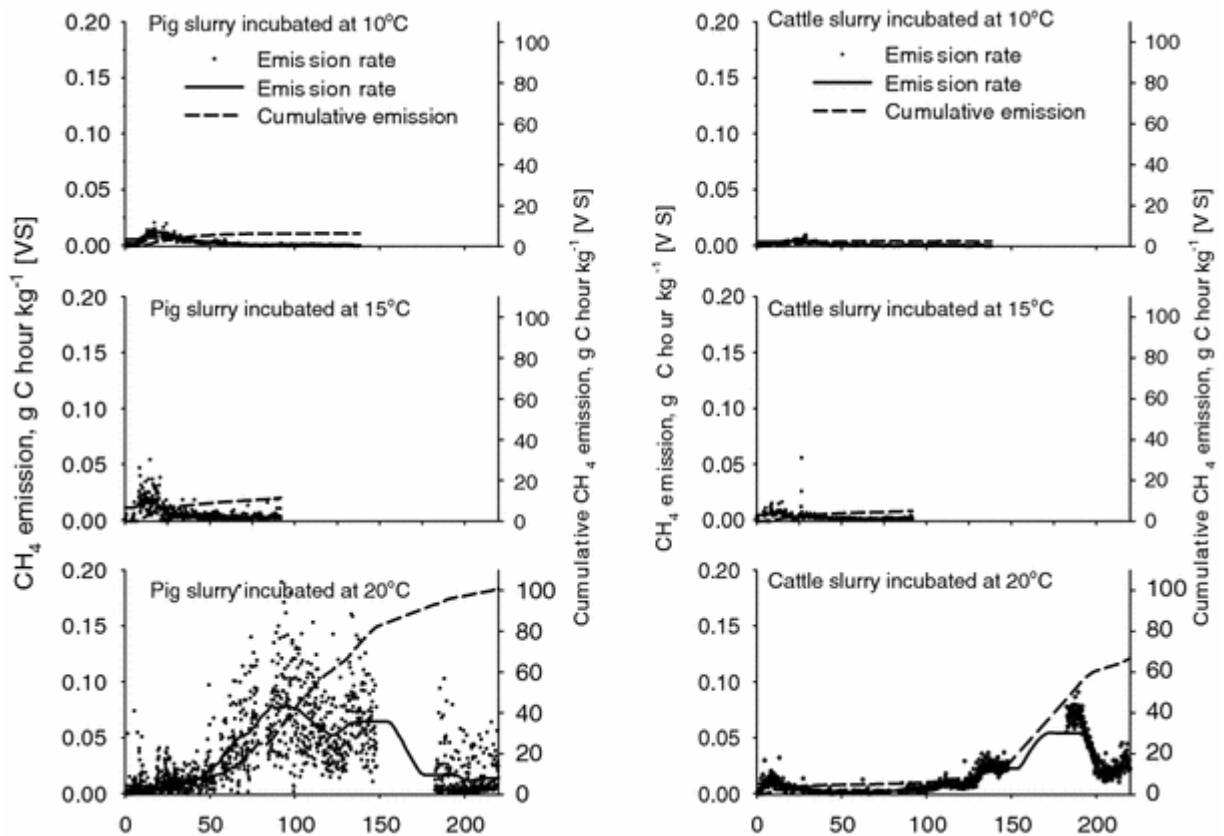
door hun schadelijk effect op methanogenen. Verneveling met sojaboonolie leidde reeds tot 20% CO₂- en CH₄-emissiereductie (Philippe et al., 2015).

Om de biogasproductie van varkensmest te verbeteren kan er een inoculum van micro-organismen toegevoegd worden, geïsoleerd van een ander vergistingsproces. Zo isoleerden Pessuto et al. (2016) micro-organismen tijdens het begin van het vergistingsproces van rioolslib. Inocula van deze micro-organismen werden toegevoegd aan varkensmest. Zo steeg de molfractie van methaan met circa 40%. Er kon dus geconcludeerd worden dat de additie van micro-organismen leidde tot een hoger methaanpotentieel.

4.3.3 Temperatuur

Aangezien de temperatuur de metabolische activiteit van micro-organismen beïnvloedt zijn emissies afkomstig van mestopslag eveneens temperatuursafhankelijk. Onderzoek toonde aan dat CH₄-emissies beduidend hoger zijn bij warmere mest (Morken and Sapci, 2013). Deze stelling werd bevestigd door Vergote et al. (2019) en door Petersen et al. (2013), waar de cumulatieve CH₄ emissies in de zomer 100 keer groter waren dan in de winter. Sommer et al. (2007) stelden zelfs dat de CH₄-productie van opgeslagen varkens- en rundermest niet significant is bij temperaturen lager dan 15 °C, dit in tegenstelling tot de anaerobe productie van CH₄ bij 20 °C (Figuur 11).

Opslaggroottes zijn een belangrijke factor om in rekening te brengen bij het bepalen van de invloed van de omgevingstemperatuur. Op kleinschalige bedrijven – waar de opslaggroottes van mest kleiner zullen zijn – zal een variërende temperatuur grotere CH₄-emissieschommelingen veroorzaken in vergelijking met grotere bedrijven. De oorzaak hiervoor is dat de temperatuur een grotere invloed kan uitoefenen op een kleinere hoeveelheid massa, analoog zoals bijvoorbeeld een kleine vijver sneller zal opwarmen dan een grotere vijver.



Figuur 11: Invloed van de temperatuur op CH_4 -emissies gedurende mestopslag van varkensmest (links) en rundmest (rechts) (--- cumulatieve CH_4 -emissies ; · gemeten CH_4 -emissie i.f.v. de dag) (Sommer et al., 2007).

Een oplossing voor de reductie van CH_4 -emissies zou dus het controleren van de temperatuur kunnen zijn. Door mestkoeling te gaan toepassen zal ook de vorming en uittrekking van NH_3 veel trager verlopen. De uitstoot van NH_3 daalt zo tot 2,2 kg NH_3 per dierplaats. Mestkoeling vindt plaats door een drijvende warmtewisselaar in de mestkelder te plaatsen. M.b.v. een warmtepomp kan dan de warmte gerecupereerd worden voor bijvoorbeeld vloerverwarming (Jonckheere, 2017).

Sommer et al. (2004) toonden aan dat BKG-emissies met 21% CO_2 -equivalenten zouden verminderd kunnen worden wanneer de temperatuur geregeld wordt in vergelijking met wanneer mest ongecontroleerd opgeslagen wordt. In Nederland bijvoorbeeld was in 2005 5% van de vleesvarkensstallen uitgerust met oppervlaktekoeling van de mest in de kelder. Het koelen van mest met 6°C leidt hierdoor tot een CH_4 -emissiereductie van 0,03 Mton CO_2 -equivalenten. Als alle stallen hiermee zouden uitgerust zijn kan er 0,53 Mton CO_2 -equivalenten emissiereductie bekomen worden op de toenmalige hoeveelheid varkens (Groenestein et al., 2005).

4.3.4 Zuurtegraad

Een andere factor die de groei van micro-organismen en het vrijkomen van emissies bepaalt is de zuurtegraad van de mest. Deze factor kan variëren doorheen de tijd en naargelang de diersoort

en de voeding. Verzuring bleek reeds in diverse studies een sterk reducerende werking te hebben, zowel voor CH₄ en N₂O als voor NH₃ (Hou et al., 2015). Optimale CH₄-productie komt voor bij een pH van 7. De emissies van CH₄, N₂O en NH₃ worden sterk gereduceerd als de pH beneden 4,5 wordt gebracht (Hilhorst et al., 2002). Op die manier vertonen de bacteriën die zorgen voor nitrificatie en methanogenese namelijk inhibitie.

In een studie waarbij varkensmest gedurende 40 dagen bij 30 °C opgeslagen werd, werd de pH gemanipuleerd tussen 5,0 en 7,0 m.b.v. zwavelzuur (H₂SO₄). Dit had een positief effect op de reductie van CH₄-emissies: de controle was verantwoordelijk voor 3,7 kg CO₂ eq./ton mest, terwijl dit nog maar 0,1 kg CO₂ eq./ton mest was bij een pH van 5,0. *Methanosarcina* (als methaanproducent) bleek dominant in de controle, maar zijn dominantie werd gereduceerd bij een dalende pH. Het biochemisch CH₄-potentieel bleek ook te stijgen bij de mest die verzuurd werd opgeslagen doordat degradeerbaar organisch materiaal in de varkensmest bleef dankzij verzuring (10,6 L CH₄/L varkensmest voor de controle tegenover 12,7 – 14,6 L CH₄/L varkensmest voor de aangezuurde mest) (Shin et al., 2019). Dit is een interessante vaststelling om de impact van mestopslag op het biogaspotentieel te gaan beïnvloeden. Echter zijn hier een paar zaken die nog meer onder de loep dienen genomen te worden. Zo moet er gewerkt worden met het gevaarlijke H₂SO₄, dient er nog uitgeklaard te worden wat de exacte impact hiervan is en heeft dit een extra kostprijs.

Als alternatief kan deze verzuring ook geïnduceerd worden door een glucosebron toe te voegen. De mest doet dan als het ware aan bio-acidificatie waardoor een gelijkaardig effect als H₂SO₄-additie bekomen wordt. Uit experimenten bleek dat in koude omstandigheden (10 °C) CH₄-emissies tijdens de mestopslag met 87% gereduceerd werden en met 99% onder warme omstandigheden (30 °C) (Bastami et al., 2016).

4.3.5 Mengen

Lang opgeslagen drijfmest zal spontaan ontmenging gaan vertonen waardoor de homogeniteit verloren gaat. Dit leidt o.a. tot het moeilijker verpompen van de mest en de variabele samenstelling is niet ideaal voor toepassing op het land of als voeding voor een vergister. Het homogeniseren van de mest kan op enkele manieren gebeuren.

De mest kan gemengd worden m.b.v. een traditionele mixer (mechanisch mengen), waarbij de menging wordt gerealiseerd door een roterende beweging van de mixer. Turbulentie is hierbij belangrijk om een effectieve menging te verkrijgen. Traditioneel wordt de mest gemengd met een mobiele staaf- of lange-as mixer. Ook dompelmixers komen meer en meer voor. Als alternatief voor mixers kan er gekozen worden om de mest te gaan rondpompen. Een derde mogelijkheid om drijfmest te homogeniseren is m.b.v. luchtbellen (Aeromix-systeem). Hierbij wordt met een compressor perslucht door tyleslangen gestuurd die op de bodem van de mestkelder geplaatst zijn. Op de slangen zijn uitloopopeningen voorzien, waarlangs grote luchtbellen in de mest worden geblazen (Figuur 12). De opstijgende luchtbellen zorgen ervoor dat de mest verticaal gemixt wordt, zonder dat er een rondgaande meststroom is. Door automatisering van dit systeem kan op relatief

eenvoudige manier iedere plek in de mestkelder, ongeacht de vorm van de mestopslag, dagelijks kortstondig gemengd worden (Loonwerker, 2016).



Figuur 12: Tyleenslangen onderaan de mestkelder bij het Aeromix-systeem

Calvet et al. (2017) voerden een test uit om het effect van menging op emissies te bepalen. Varkensmest werd gemengd door iedere 6u gedurende 2min luchtballen te blazen aan een debiet van $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Dankzij deze menging werden CH_4 -emissies met 40% afgeremd ($2,04$ vs. $3,39 \text{ g m}^{-3} \text{ d}^{-1}$). NH_3 -emissies daarentegen stegen met 20% ($8,48$ vs. $7,07 \text{ g m}^{-3} \text{ d}^{-1}$). Tijdens de metingen werd geen verschil in CO_2 -emissies waargenomen en waren er geen relevante N_2O -emissies. De pH van de beluchte mest bleek te stijgen ($7,7$ vs. $7,0$).

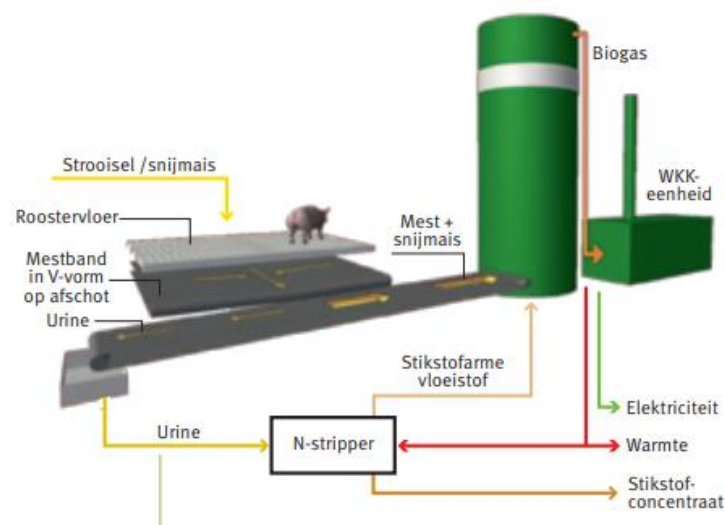
4.3.6 Beluchten van drijfmest

Een andere perspectiefvolle optie lijkt de beluchting van drijfmest. Wanneer regelmatig zuurstof in de mest wordt gebracht komt een aerob proces op gang, waardoor de NH_3 -emissie afneemt. Onderzoek in binnen- en buitenland wijst erop dat een vermindering van de uitstoot van 50 tot 70% haalbaar is. Ook de CH_4 -emissie kan tot 60% afnemen. Aan de in de praktijk waargenomen reductie ligt waarschijnlijk een biologisch proces ten grondslag, mogelijk de omzetting van ammonium in microbiel eiwit. Belangrijk voor een goede werking is dat de juiste hoeveelheid lucht wordt ingebracht in de drijfmest. De optimale manier van beluchting moet nog worden vastgesteld (NCM, 2019).

4.4 Voorbeeld van een innovatief stalsysteem

Een voorbeeld van een innovatief stalsysteem waar diverse van bovenvermelde zaken gecombineerd zijn met het oog op vergisting is de Star+-stal. Dit is een innovatief stalconcept dat gebouwd is op het Varkens Innovatie Centrum Sterksel. Op de ruime dichte vloer in de hokken kan strooisel of ingekuilde snijmaïs worden verstrekt aan de dieren waardoor ze wroetgedrag

kunnen uitoefenen. Het scheiden bij de bron en afvoeren van vaste mest en urine met mestbanden is onderdeel van het stalsysteem om NH_3 - en BKG-emissies te reduceren. Daarnaast geeft het gebruik van ruwvoer geen problemen meer met verstoppingen en kan de mest snel uit de stal worden gehaald wat gunstig is voor vergisting. De vaste mest komt daarbij in een vergistingstank buiten de stal en de urine wordt apart verzameld (Kasper et al., 2015).



Figuur 13: Het principe van Star+ gekoppeld aan een vergistingsinstallatie (Kasper et al., 2015).

Een overzichtstabel van concrete stalsystemen (gaande van conceptueel idee tot reeds op de markt) in het buitenland wordt weergegeven in Bijlage 2.

5 Bestaande stalsystemen in Vlaanderen

In dit hoofdstuk wordt geschetst welke stalsystemen er zijn in België en hoe de varkens hierin onderverdeeld zijn. Dit is belangrijk om te bepalen in welk stalsysteem de meeste varkens tot op vandaag gehuisvest zijn. Deze kennis is belangrijk om van de juiste uitgangssituatie uit te gaan bij de economische doorrekeningen.

5.1 Ammoniakemissiearme stalsystemen

Diverse technologieën en stalsystemen die de NH_3 -emissie kunnen reduceren werden reeds ontwikkeld. De Vlaamse Regering besliste namelijk dat vanaf 2003 elke nieuwe varkens- en pluimveestal emissiearm gebouwd moet worden. De systemen die als emissiearm erkend zijn in Vlaanderen worden beschreven in de 'Lijst van stalsystemen voor ammoniakreductie' (MB 19 maart 2004) (Van Overbeke et al., 2010).

Ammoniak emissiearme (AEA) stallen zijn nodig omdat 90% van alle NH_3 in het milieu afkomstig is uit de landbouw, waarvan het overgrote deel van dierlijke mest en urine. Deze dierlijke uitscheidingen bevatten veel organisch gebonden stikstof (o.a. ureum) welke via microbiële processen wordt omgezet tot minerale stikstof. Stalventilatie kan ervoor zorgen dat NH_3 meegevoerd wordt met de luchtstromingen zodat het buiten de stal wordt gebracht. Door deze NH_3 -emissie kunnen verschillende fysische en chemische processen optreden welke afhankelijk zijn van de heersende weersomstandigheden. Zo kan NH_3 geabsorbeerd worden door neerslag en aldus in de bodem terecht komen (depositie). NH_3 kan ook in de lucht of in de bodem geoxideerd worden tot nitraat wat aanleiding geeft tot verzuring. Deze verzuring is schadelijk voor bos- en natuurgebieden. NH_3 kan ook een overmaat aan voedingsstoffen veroorzaken met eutrofiëring tot gevolg. Dit kan op zijn beurt leiden tot vissterfte vanwege zuurstofgebrek in het water (Van Overbeke et al., 2010).

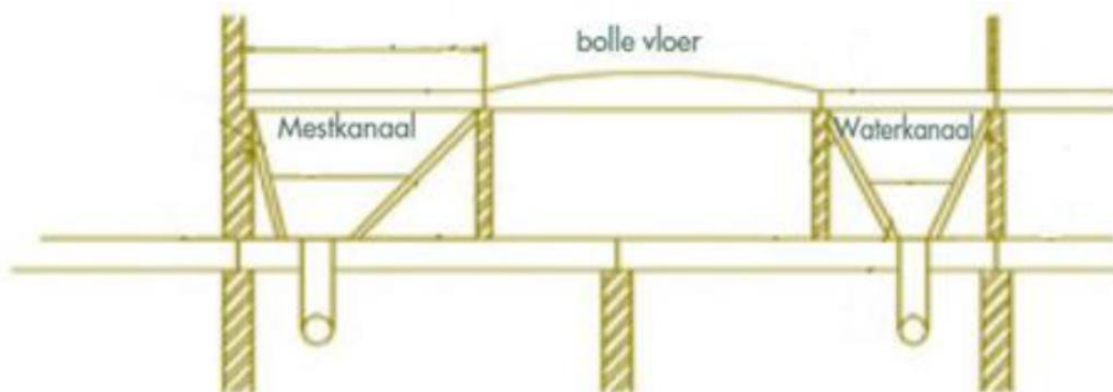
Technieken om NH_3 -emissie uit stallen te reduceren worden algemeen onderverdeeld in een viertal groepen (Van Overbeke et al., 2010):

- Technieken die leiden tot een verminderde uitscheiding bij het dier (vb. aangepaste voederstrategieën)
- Technieken die in de mest de vorming van NH_3 verhinderen of vertragen (vb. toevoegen van zuren en/of inhibitoren, koeling, scheiden urine/mest)
- Technieken die zorgen voor een beperking van het emitterende oppervlak in de stal (vb. schuine putwanden, dichte vloeren)
- Technieken die NH_3 verwijderen uit de stallucht (vb. luchtwassystemen)

Aangezien in deze studie gezocht moet worden naar technieken die emissies uit mestopslag minimaliseren en bijgevolg leiden tot het behoud van hun biogaspotentieel wordt hier de focus gelegd op technieken die de vorming van emissies verhinderen of vertragen en technieken die het emitterend oppervlak beperken. Dergelijke systemen zorgen automatisch ook voor en verhoogd

dierenwelzijn doordat NH_3 -emissies beperkt worden. End-of-pipe-technieken zoals luchtwassers zijn niet nuttig voor vergisting.

Om een AEA-stal te bouwen wordt doorgans gewerkt met een combinatie van één of meer van de volgende elementen: mestkanalen met schuine wanden, waterkanalen met schuine wanden en dichte (meestal bolle) vloeren (Figuur 14).



Figuur 14: Dwarsdoorsnede van een varkenshok met bolle vloer, mestkanaal en waterkanaal (Van Overbeke et al., 2010).

De focus in deze literatuurstudie wordt gelegd op het stalsysteem bij mestvarkens aangezien deze veruit de grootste groep vormen (66%). Bovendien bezit de mest van mestvarkens het meeste biogaspotentieel. Voor mestvarkens tot 110 kg worden volgende AEA stallen onderscheiden (VLM, 2019):

- AEA V-4.1 Mestopvang in en spoelen met beluchte mestvloeistof

De NH_3 -emissie wordt beperkt door de verse mest op te vangen in een vloeistoflaag van beluchte mest van circa 0,10 m. Het mengsel wordt minimaal één maal per drie dagen uit de stal verwijderd. Meteen daarna wordt opnieuw beluchte mest toegevoerd zodat continu een vloeistoflaag van circa 0,10 m aanwezig is.

- AEA V-4.2 Mestopvang in beluchte mest en vervanging hiervan via een rioleringsysteem of ander van de lucht af te sluiten afvoersysteem

Dit systeem is identiek aan AEA V4.1, met dat verschil dat de mest dagelijks verwijderd wordt uit de stal door middel van een rioleringsysteem of ander van de lucht af te sluiten afvoersysteem.

- AEA V-4.3 Koeldekstelsysteem (170% koeloppervlak) met rooster met verhoogde mestdoorlaat

De NH_3 -emissie uit de mest wordt beperkt door de laag mest bovenin het mestkanaal te koelen met behulp van drijvende koelelementen. Als koelvloeistof wordt vaak opgepompt grondwater gebruikt.

- AEA V-4.4 Koeldeksysteem (200% koeloppervlak) met metalen roostervloer

Het koelen gebeurt identiek als in AEA V-4.3.

- AEA V-4.5 Koeldeksysteem (200% koeloppervlak) met roostervloer andere dan roosters met verhoogde mestdoorlaat

Het koelen gebeurt identiek als in voorgaande systemen.

- AEA V-4.6 Mestkelders met (water-) en mestkanaal, eventueel voorzien van schuine putwand(en) en met andere dan roosters met verhoogde mestdoorlaat

De NH₃-emissie wordt beperkt door verkleining van het mestoppervlak per dierplaats. Aan de achterkant wordt de mest opgevangen in een breed mestkanaal, voorzien van een rooster met verhoogde mestdoorlaat en schuine putwand(en).

- AEA V-4.7 Mestkelders met (water-) en mestkanaal, de laatste met schuine putwanden en met andere dan roosters met verhoogde mestdoorlaat

De NH₃-emissie wordt beperkt door verkleining van het mestoppervlak per dierplaats. Aan de achterkant wordt de mest opgevangen in een breed mestkanaal, voorzien van een rooster en schuine putwand(en).

- AEA V-4.8 Gescheiden afvoer van mest en urine door middel van een mest- en giergoot met mestschraper

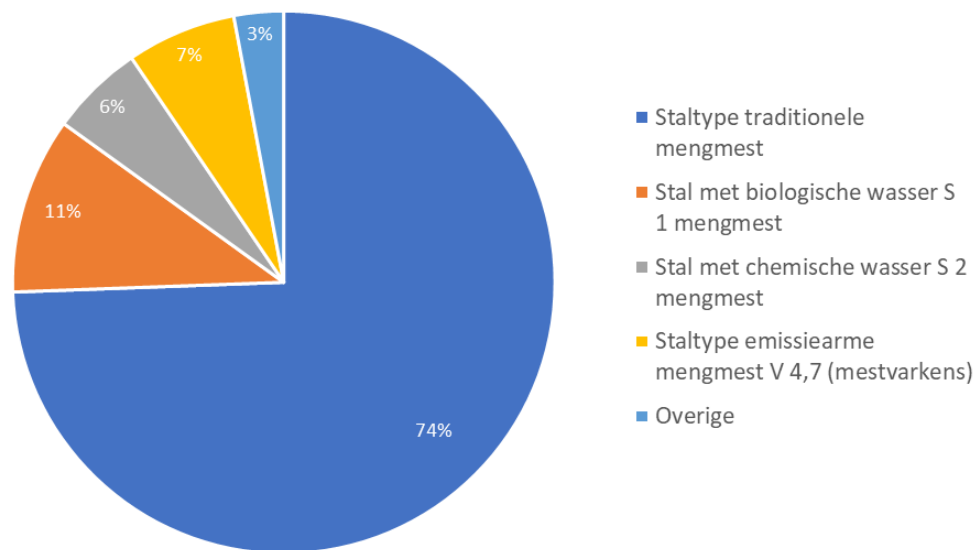
De NH₃-emissie wordt beperkt door een beperking van het contact tussen mest en urine (primaire mestscheiding) in het mestkanaal en door een snelle verwijdering van mest en urine uit de stal. Het mestkanaal is uitgevoerd als een mestgoot met een hellende vloer en een onderliggende giergoot en is voorzien van een schraper. De urine wordt gescheiden van de mest en afgevoerd via de giergoot. De mest wordt dagelijks uit de mestgoot verwijderd met de schraper.

Naast deze AEA-systemen is er ook een PAS-lijst (Programmatische Aanpak Stikstof). Dit is een lijst van maatregelen en technieken die eveneens leiden tot een reductie van NH₃-emissie (ILVO, 2019). Voorbeelden hiervan zijn drijvende ballen in het mestoppervlak (ammoniakemissiereductie (AER): 29%), toevoegen van benzoëzuur aan het voeder (AER: 16%), emitterend oppervlak beperken (AER: 20-45%), ... Deze PAS- en AEA-systemen kunnen apart voorkomen in de vleesvarkensstal, maar kunnen ook gecombineerd worden.

Deze maatregelen zijn vooral bestemd ter reductie van NH_3 -emissies, en kunnen ook gecombineerd worden met een biologische luchtwassysteem (S-1), een chemisch luchtwassysteem (S-2) en een biobed (S-3). Dit zijn echter een end-of-pipe technieken en dus minder geschikt om verse mest naar de vergister te brengen. Bij de traditionele stallen (niet voorkomend op de lijst van AEA stallen) onderscheidt men nog mengmest (niet volledig ingestrooid) en stalmest (volledig ingestrooid).

5.2 Huidige onderverdelingen mestvarkens in Vlaamse stalsystemen

In het Mestrapport 2018 van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM) worden het aantal varkens op alle verschillende stalsystemen weergegeven. Het overgrote deel van de 3 993 003 mestvarkens van 20 tot 110 kg werd in 2018 gehuisvest in een staltype traditionele mengmest (74.4%). 6.5% werd gehuisvest in een staltype emissiearme mengmest V4.7. 10.5% werd gehuisvest in een stal met een biologische wasser S-1 mengmest en 5.6% in een stal met chemische wasser S-2 mengmest. Voor absolute cijfers omtrent deze verdelingen wordt verwezen naar Bijlage 3. Onder overige behoort o.a. het VeDoWS-systeem.



Figuur 15: Verdeling van de varkens van 20 tot 110 kg over verschillende stalsystemen.

6 Doorrekening haalbaarheid

Op basis van de in voorgaande hoofdstukken verzamelde informatie en overleg met specialisten stallenbouw werd ten slotte een economische doorrekening uitgevoerd van enkele scenario's om in varkensstallen emissies te beperken en zo verse en/of gestabiliseerde mest aan te leveren voor een vergistingsinstallatie. Hierbij wordt vertrokken van enerzijds een reeds bestaande stal (staltype traditionele mengmest) waar renovaties aan dienen te gebeuren, en anderzijds een nieuwbouw. De doorgerekende scenario's zijn:

- Het plaatsen van een mestrobot in de kelder, die de mest wegzuigt zoals dit nu reeds voorkomt in de melkveesector
- Verse mestafvoer m.b.v. mestschuiven
- Verse mestafvoer m.b.v. transportbanden

Voor deze studie werd beroep gedaan op Yzersterk BVBA. Een overzichtstabel van deze scenario's en hun meerprijs ten opzichte van een referentiestal wordt hieronder weergegeven.

Volgende tabellen geven een overzicht van de berekende scenario's voor nieuwbouw (Tabel 2) en bestaande stallen (Tabel 3). Hieruit kunnen we concluderen dat voor nieuwbouw het kelderloos systeem met ter plekke gestort beton de goedkoopste perspectieven biedt voor dagverse afvoer van mest, in hoofdzaak moet enkel de kost voor externe mestopslag gerekend worden ten opzichte van het referentiescenario. Bij bestaande stallen schuilt (mits onderzoek en ontwikkeling in de bedrijfs sfeer zich hierop toelegt) de goedkoopste oplossing in een geautomatiseerd systeem met mestrobots die de mest als het ware onder de varkens gaan wegzuigen. Systemen met mestschuiven vragen al snel meer dan 250 euro per mestvarkensplaats (kelderloos, o.b.v. gegoten beton). Andere systemen die niet verder in detail werden doorgerekend vragen te grote ingrepen en zullen al snel richting de prijs voor nieuwbouw van een ammoniakemissiearme stal (± 400 euro per mestvarkensplaats) bewegen.

Voor het volledige verslag verwijzen we naar de aparte studie.

Tabel 2: Meerkost van diverse nieuwbouwconcepten voor verse mestafvoer ten opzichte van een referentiestal zonder verse mestafvoer. Alle scenario's zijn incl. externe opslag digestaat (en dunne fractie van mest waar van toepassing). ^aScenario's uitgaande van geen luchtwasser: €35/MVplaats uitgespaard, opgelet enkel Vedows is hier reeds erkend als AEA.

Meerkost t.o.v. referentie (€/MV _{plaats})	1680 MV _{plaats}	2520 MV _{plaats}
Transportband	222 ^a	168 ^a
Mestschuiven		
• Vedows	83 ^a	81 ^a
• 'Akivar 2.0'	81 ^a	68 ^a
• Kelderloos	53 ^a	38 ^a
• Kelderloos, niet gescheiden	62	49
Mestrobot	82	84

Tabel 3: Kost van diverse verbouwconcepten voor verse mestafvoer. Alle scenario's zijn incl. externe opslag van digestaat (en waar van toepassing dunne fractie van mest) en excl. leegstand. (*) Niet verder bekeken wegens niet beloftevol.

Meerkost t.o.v. referentie (€/MV _{plaats})	1680 MV _{plaats}	2520 MV _{plaats}
Transportband	Niet evident (*)	Niet evident (*)
Mestschuiven		
• Vedows	Niet evident (*)	Niet evident (*)

• 'Akivar 2.0'	Niet evident(*)	Niet evident (*)
• Kelderloos	Niet evident (*)	Niet evident (*)
• Kelderloos, niet gescheiden	254	Niet evident (*)
Mestrobot	98	96

7 Conclusie

Op basis van dit onderzoek kan besloten worden dat de meeste huidige varkensstalsystemen nog niet voorzien zijn om varkensmest op een zo rendabel mogelijke manier te gaan vergisten aangezien het overgrote deel van de varkens gehuisvest worden in een traditioneel staltype met mengmest. Deze mest wordt vaak niet snel afgevoerd waardoor het biogaspotentieel snel verloren gaat. Het is m.a.w. belangrijk om het stalsysteem (en meerbepaald het ontmestingsstelsel) onder de loep te nemen alvorens te investeren in kleinschalige vergisting. Echter wordt er meer en meer gekeken in de richting van emissiearm bouwen en bijgevolg vaak ook een beter biogaspotentieel. Recente ontwikkelingen (verse mestaanvoer, aanzuren mest, additieven, ...) illustreren dit.

Om pocketvergisting ook in de varkenssector volop zijn ingang te laten vinden is een aangepaste stal nodig zodoende de mest vers en/of gestabiliseerd aan de vergister kan worden gevoed. Hierbij is het echter ook van cruciaal belang om voldoende rekening te houden met de rendabiliteit van dergelijke systemen. Daarom werd in een tweede fase op basis van deze literatuurstudie en contacten met experts stallenbouw een aantal veelbelovende scenario's geselecteerd die economisch doorgerekend werden. Deze scenario's zouden verse en/of gestabiliseerde varkensmest moeten kunnen voorzien zodoende pocketvergisting voor deze sector gefaciliteerd wordt. Uit deze studie-opdracht kan besloten worden dat bestaande stallen ombouwen geen evidentie is. De meest veelbelovende piste lijkt die van mestrobotjes te zijn, waarbij robotjes in de mestkelder geplaatst worden en zo de varkensmest dagvers kunnen gaan afvoeren. Het is belangrijk hierbij op te merken dat er nog verder O&O vereist is vooraleer dit uitgerold kan worden gezien dit op vandaag nog niet voorkomt in de varkenssector. Een ruwe schatting leert ons dat deze implementatie een meerprijs van 90-100 EUR/MVplaats zou hebben.

Voor nieuwbouwstallen lijkt er het meest potentieel te zijn voor dagverse afvoer via een kelderloos systeem met ter plekke gestort beton, waarbij eigenlijk enkel de kost voor externe mestopslag moet meegerekend worden t.o.v. het referentiescenario.

Algemeen kan geconcludeerd worden dat er een aantal interessante pistes onderzocht werden in deze studie. Dit biedt veel potentieel gezien stallen vanaf 2030 moeilijker hun vergunning zullen kunnen krijgen als ze niet voldoen aan de emissienormen. Indien gekozen wordt voor een aanpak aan de bron (en dus geen nageschakelde techniek zoals luchtwassers), kan dit tevens veel potentieel bieden naar pocketvergisting toe. Verder onderzoek naar deze stalsystemen is echter nog een vereiste, gezien nog niet geweten is hoe veel emissiereductie dit in de praktijk teweeg zou brengen.

8 Referenties

- AARNINK, A. J. A., DE GROOT, J. & OGINK, N. 2019. Brongerichte maatregelen voor beperking emissies uit bestaande varkensstallen. Wageningen: Wageningen University & Research.
- ALONSO, F., MATEOS, A., VÁZQUEZ, J., GARCIMARTÍN, M. A., SÁNCHEZ, E. & OVEJERO, I. J. A. S. 2018. Flat Belt Separation System under Slat in Fattening Pig Housing: Effect of Belt Slope Angle. 9, 692.
- AWE, O. W., LU, J., WU, S., ZHAO, Y., NZIHO, A., LYCZKO, N., MINH, D. P. J. W. & VALORIZATION, B. 2018. Effect of oil content on biogas production, process performance and stability of food waste anaerobic digestion. 9, 2295-2306.
- BASTAMI, M. S. B., JONES, D. L. & CHADWICK, D. R. J. J. O. E. Q. 2016. Reduction of methane emission during slurry storage by the addition of effective microorganisms and excessive carbon source from brewing sugar. 45.
- BRABANT, P. 2019. *Een lagere energierekening én emissie met de gekoelde mestpan* [Online]. Available: <https://publicaties.brabant.nl/innovatievestalsystemen/gekoelde-mestpan/> [Accessed 6 11 2019].
- BRUSSELMAN, E., BECK, B., DE CAMPENEERE, S., DEMEYER, P., GOOSSENS, K., KERSELAERS, E., MAERTENS, L., MILLET, S., REUBENS, B., RIEBBEL, G., VANDAELE, L., VANGHEYTE, J. & ZWERTVAEGHER, I. 2016. Screening van maatregelen die kunnen leiden tot de reductie van ammoniakemissie afkomstig van landbouw. Instituut voor Landbouw en Visserijonderzoek.
- BRUSSELMAN, E. & DEMEYER, P. 2013. Milderende maatregelen voor geuremissies afkomstig van bestaande varkens- en pluimveestallen in Vlaanderen. Instituut voor Landbouw en Visserijonderzoek.
- BURG, V., BOWMAN, G., HAUBENSAK, M., BAIER, U., THEES, O. J. R., CONSERVATION & RECYCLING 2018. Valorization of an untapped resource: Energy and greenhouse gas emissions benefits of converting manure to biogas through anaerobic digestion. 136, 53-62.
- CABARAUX, J.-F., PHILIPPE, F.-X., LAITAT, M., CANART, B., VANDENHEEDE, M., NICKS, B. J. A., ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT 2009. Gaseous emissions from weaned pigs raised on different floor systems. 130, 86-92.
- CALVET, S., HUNT, J. & MISSELBROOK, T. H. J. B. E. 2017. Low frequency aeration of pig slurry affects slurry characteristics and emissions of greenhouse gases and ammonia. 159, 121-132.
- COSTA, A., CHIARELLO, G. L., SELLI, E. & GUARINO, M. J. J. O. E. M. 2012. Effects of TiO₂ based photocatalytic paint on concentrations and emissions of pollutants and on animal performance in a swine weaning unit. 96, 86-90.
- DE BUISONJÉ, F. & VERHEIJEN, R. 2014. Drijfmest verliest snel zijn waarde voor biogas. *V-focus*.
- GREENPORT. 2019. *Het varkenstoilet, de oplossing voor het reduceren van emissies* [Online]. Available: <https://www.greenportnhn.nl/nieuws/het-varkenstoilet-de-oplossing-voor-het-reduceren-van-emissies> [Accessed 10 10 2019].
- GROENESTEIN, C. M., VAN WAGENBERG, A. V. & MOSQUERA, J. 2005. Methaanemissie uit vleesvarkensstallen: ontwikkeling meetprotocol en plan van aanpak voor het meten van het effect van mestkoelen in de praktijk. Agrotechnology & Food Innovations, B.V., onderdeel van Wageningen UR.
- HILHORST, M. A., MELSE, R. W., WILLERS, H. C., GROENESTEIN, C. M. & MONTENY, G. J. 2002. Reduction of methane emissions from manure. *Non-CO₂ greenhouse gases : scientific understanding, control options and policy aspects / van Ham, J., Vereniging van Milieukundigen - ISBN 9789077017708 -*

- HOU, Y., VELTHOF, G. L. & OENEMA, O. J. G. C. B. 2015. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta-analysis and integrated assessment. 21, 1293-1312.
- HUSTED, S. J. J. O. E. Q. 1994. Seasonal variation in methane emission from stored slurry and solid manures. 23, 585-592.
- ILVO. 2019. *PAS lijst V-4 Vleesvarkens* [Online]. Available: <https://www.ilvo.vlaanderen.be/Portals/68/documents/Onderzoek/PASlijst/V4.pdf> [Accessed 09 05 2019].
- JONCKHEERE, S. 2017. *Mestkoeling doet uitstoot van ammoniak aanzienlijk dalen* [Online]. Available: <https://leden.inagro.be/Artikel/guid/3725/type/1> [Accessed 13 06 2019].
- KASPER, G., VERDOES, N. & CLASSENS, P. 2015. Star+: monovergisting mest van vleesvarkens. *V-focus*. Wageningen UR Livestock Research.
- KLIMAAT. No date. *De verschillende broeikasgassen* [Online]. Available: <https://www.klimaat.be/nl-be/klimaatverandering/het-klimaat/de-verschillende-broeikasgassen> [Accessed 14 05 2019].
- LOONWERKER, D. 2016. *Mest mixen: een noodzaak, maar doe het veilig!* [Online]. Available: <https://delooswerker.be/mest-mixen-noodzaak-veilig/> [Accessed 15 05 2011].
- MONTES, F., MEINEN, R., DELL, C., ROTZ, A., HRISTOV, A. N., OH, J., WAGHORN, G., GERBER, P. J., HENDERSON, B., MAKKAR, H. P. S. & DIJKSTRA, J. 2013. SPECIAL TOPICS — Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options¹. *Journal of Animal Science*, 91, 5070-5094.
- MORKEN, J. & SAPCI, Z. J. A. E. I. C. J. 2013. Evaluating biogas in Norway-bioenergy and greenhouse gas reduction potentials. 15, 148-160.
- MOSET, V., CAMBRA-LÓPEZ, M., ESTELLES, F., TORRES, A. & CERISUELO, A. J. B. E. 2012. Evolution of chemical composition and gas emissions from aged pig slurry during outdoor storage with and without prior solid separation. 111, 2-10.
- NCM. 2019. *Fysische en biologische mechanismen kunnen emissies vanuit mest helpen beheersen* [Online]. Available: <https://www.mestverwaarding.nl/kenniscentrum/633/fysische-en-biologische-mechanismen-kunnen-emissies-vanuit-mest-helpen-beheersen> [Accessed 6 11 2019].
- PESSUTO, J., SCOPEL, B. S., PERONDI, D., GODINHO, M., DETTMER, A. J. P. S. & PROTECTION, E. 2016. Enhancement of biogas and methane production by anaerobic digestion of swine manure with addition of microorganisms isolated from sewage sludge. 104, 233-239.
- PETERSEN, S. O., DORNO, N., LINDHOLST, S., FEILBERG, A. & ERIKSEN, J. J. N. C. I. A. 2013. Emissions of CH₄, N₂O, NH₃ and odorants from pig slurry during winter and summer storage. 95, 103-113.
- PHILIPPE, F.-X., NICKS, B. J. A., ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT 2015. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. 199, 10-25.
- SHIN, S.-R., IM, S., MOSTAFA, A., LEE, M.-K., YUN, Y.-M., OH, S.-E. & KIM, D.-H. J. W. R. 2019. Effects of pig slurry acidification on methane emissions during storage and subsequent biogas production. 152, 234-240.
- SOMMER, S. G., PETERSEN, S. O. & MØLLER, H. B. J. N. C. I. A. 2004. Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. 69, 143-154.

- SOMMER, S. G., PETERSEN, S. O., SØRENSEN, P., POULSEN, H. D. & MØLLER, H. B. J. N. C. I. A. 2007. Methane and carbon dioxide emissions and nitrogen turnover during liquid manure storage. 78, 27-36.
- STEVENS, E. 2018. *Stalknechten: ervaring met de mestschuif en mestrobots op de Hooibeekhoeve* [Online]. Available: <https://www.landbouwleven.be/3949/article/2018-10-15/stalknechten-ervaring-met-de-mestschuif-en-mestrobots-op-de-hooibeekhoeve> [Accessed 20 05 2019].
- VAN DOOREN, K. 2019. Varkensmest blijkt een goudmijntje. *Boerderij*, 31 05 2019.
- VAN GANSBEKE, S., VAN DEN BOGAERT, T., DE SMET, S. & BEECKMAN, E. 2015. Succesfactoren mestkelders met schuine putwanden. *Landbouwleven*, p.31.
- VAN GANSBEKE, S., VAN DEN BOGAERT, T. & VETTENBURG, N. 2009. Ventilatie en klimaatbeheersing bij varkensstallen. Vlaamse overheid, Departement Landbouw en Visserij, Afdeling Duurzame Landbouwwontwikkeling.
- VAN OVERBEKE, P., D'HOOP, M., VAN RANSBEECK, N. & DEMEYER, P. 2010. Code van goede praktijk voor emissiearme stalsystemen in de varkenshouderij. *In: ILVO* (ed.).
- VERGOTE, T. L., VANROLLEGHEM, W. J., VAN DER HEYDEN, C., DE DOBBELAERE, A. E., BUYSSE, J., MEERS, E. & VOLCKE, E. I. J. B. E. 2019. Model-based analysis of greenhouse gas emission reduction potential through farm-scale digestion. 181, 157-172.
- VLM. 2019. *Stikstofverliezen en ammoniakemissiefactor varkens* [Online]. Available: https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Mestbank/AEA-lijst/Stikstofverliezen_varkens.pdf [Accessed 09 05 2019].
- VONCKEN, T. 2014. De bijdrage van monomestvergisiting aan grootschalige mestverwerking. *In: NEDERLAND, G.* (ed.). Utrecht.

9 Bijlages

Bijlage 1: Impact van diverse brongerichte maatregelen op emissiereductie (ingeschat voor vleesvarkens), op het stalklimaat (++: erg positieve impact; +: positieve impact; +/-: neutraal; -: negatieve impact; --: erg negatieve impact). Ook de mate van renovatie van bestaande stallen wordt ingeschat (Geen = geen verbouwkosten; Klein = geringe verbouwkosten; Middel = middelgrote verbouwkosten; Groot = grote verbouwkosten (vraag moet gesteld worden of nieuwbouw niet voordeliger is)). Combinaties van meerdere maatregelen zijn ook mogelijk om de emissiereductie te versterken (Aarnink et al., 2019).

Brongerichte maatregel	NH ₃ -red.	Geurredd.	CH ₄ -red.	Stalklimaat	Mate van renovatie
Mestschuif over gecoate vlakke/hellende vloer	60%	60%	90%	++	Groot
Mestbanden van polyethyleen of polypropyleen	60%	60%	90%	++	Groot
Mestpannen met schuine wanden; wekelijks mest verwijderen	40%	40%	80%	+	Groot
Foliepannen (continue mestverwijdering; 1x/dag sproeien met water en biocide)	50%	60%	90%	++	Groot
Opvang en spoelen met ammoniakvrije en geurarme vloeistof	65%	60%	90%	++	Middel
Opvang en spoelen met zure vloeistof	65%	20%	90%	++	Middel
Opvang en spoelen met formaldehyde behandelde mestvloeistof	65%	20%	90%	++	Middel

Dagontmesting door spoelen met verse mest; verkleining emitterend oppervlak (67%); koeling (< 15°C)	60%	50%	90%	++	Groot
Aanzuren van mest (pH<6 ; Deens systeem)	70%	0%	90%	++	Middel
Verkleining emitterend oppervlak					
Water- en mestkanaal	35%	20%	20%	+	Klein
Schuine wanden in mestkanaal, eventueel in combinatie met waterkanaal	50%	25%	20%	+	Middel
Koelen van mest					
Alleen oppervlakte mest	55%	20%	20%	+	Middel
Volledige mest	55%	30%	20%	+	Middel
Oppervlaktebehandeling mest					
Olielaag	55%	50%	0%	++	Klein
Beluchting mest					
Bellenbeluchting mest	40%	20%	20%	+	Klein
Voermaatregelen					
Laag eiwitgehalte (verlaging met 25 g/kg); optimaal aminozurenpatroon	25%	30%	0%	+	Geen
Verzurende voeders; benzoëzuur	15%	0%	0%	+	Geen
Zeer goed verteerbare voeders met laag eiwitgehalte en optimaal aminozuren patroon	25%	40%	50%	+	Geen

Verdunnen van mest						
Opvang mest in water i.c.m. mestscheiding (dunne fractie eigen grond of zuiveren en hergebruiken)	55%	20%	30%	++	Middel	
Schone vloeren						
Coaten vloeren en wanden	5%	5%	0%	+	Klein	
Goed doorlatende metalen roosters	20%	20%	0%	+	Middel	
Goede klimatisering en hokinrichting	20%	20%	0%	+	Middel	
Watersproeien op roostervloer tijdens activiteitperioden	20%	10%	0%	++	Middel	

Bijlage 2: Kansrijke initiatieven voor integrale emissiereductie uit bestaande en nieuw te bouwen stallen (voor vleesvarkens), met een inschatting van de emissiereducties en effect op het stalklimaat (++: erg positieve impact; +: positieve impact; +/-: neutraal; -: negatieve impact; --: erg negatieve impact). Ook is aangegeven in welke fase van innovatie deze initiatieven zich bevinden (I = ideevorming; O = ontwikkeling prototype; P = implementatie prototype (testen, valideren, onderzoek, doormeten); M = marktintroductie/uitrol (praktijkrijp, wettelijk erkend)) (Aarnink et al., 2019).

Initiatief	Principe	NH ₃ -red.	Geurred.	CH ₄ -red.	Stalklimaat	Fase
Dagontmesting	Verkleining emitterend oppervlak door veel dichte vloer en schuine wanden; water- en mestkanaal; mestkoeling; sproeien schuine wanden; dagontmesting; driekantroosters	80%	60%	90%	++	P
Deens systeem aanzuren	Scheiding mest; aanzuren dunne fractie en terugzetten in mestput; driekantroosters	85%	20%	90%	++	P

ZERO-STAL	Mestscheiding, ammonia retention technique, ammoniakarme vloeistof in mestkanaal, driekantroosters	85%	65%	90%	++	P
Koude plasmatechnologie	Koude plasmatechnologie, circulatie lucht + end of pipe reiniging	95%	90%	90%	++	O
Ammoniakarme vloeistof	Mestscheiding, beluchten, ammoniakarme vloeistof in mestkanaal, driekantroosters	80%	65%	90%	++	P
Mestschuif	Mestschuif over gecoatete hellende vloer onder rooster, coating van vloeren en wanden	65%	60%	90%	++	P
Pig on the moon (Denemarken)	Mestpan met (gedeeltelijke) onderafzuiging lucht i.c.m. luchtwater	80%	30%	50%	++	P
Varkenstoilet	Varkenstoilet met zandbed	85%	70%	90%	++	O
Luchtconditionering	Gekoelde luchtinlaat i.c.m. warmtepomp voor energieneutrale stal	15%	15%	0%	+	M
Vloerkoeling	Comfortvloer bij vleesvarkens en biggen. Vloerkoeling i.c.m. warmtepomp	10%	10%	0%	+/-	M
Gekoelde mestpan	Gekoeldemestpannen i.c.m. driekantroosters	75%	60%	80%	++	P
Luchtrecirculatie	Gedeeltelijke recirculatie van lucht i.c.m. luchtzuivering en luchtconditionering	90%	50%	0%	+	P
VAROND	Varkenstoilet in grote groepen	?	?	?	?	O
Foliepan	Foliepan met continue verwijdering van feces en urine	40%	40%	80%	+/-	O
Mestband	Bolle mestband / V-vormige mestband	60%	60%	90%	+	P
TRAC (Frankrijk)	V-vormige mestgoot met mestschuif	50%	50%	90%	+	M

Bijlage 3: Onderverdeling Vlaamse mestvarkens in de verschillende stalsystemen (VLM, 2018).

Staltype	Aantal varkens
Stal met biobed S 3 mengmest	33 249
Stal met biobed S 3 stalrest	237
Stal met biologische wasser S 1 mengmest	419 856
Stal met biologische wasser S 1 stalrest	198
Stal met chemische wasser S 2 mengmest	222 328
Stal met combinatie van luchtwassystemen met mengmest	10 321
Staltype emissiearme mengmest V 4,1 (mestvarkens)	24 974
Staltype emissiearme mengmest V 4,2 (mestvarkens)	605
Staltype emissiearme mengmest V 4,3 (mestvarkens)	364
Staltype emissiearme mengmest V 4,5 (mestvarkens)	717
Staltype emissiearme mengmest V 4,6 (mestvarkens)	17 513
Staltype emissiearme mengmest V 4,7 (mestvarkens)	260 631
Staltype emissiearme mengmest V 4,8 (mestvarkens)	17 808
Staltype traditionele mengmest	2 971 900
Staltype traditionele stalrest	12 302
TOTAAL	3 993 003

Bijlage 8: Economische doorrekening aangepast stalsysteem

DOORREKENING SCENARIO'S AANPASSING (NIEUW)BOUW VARKENSSTAL I.K.V. VERSE MESTAFVOER VOOR MEER BIOGASPRODUCTIE & EVT. BROEIKASGAS-EMISSIEREDUCTIE

Studieopdracht door Yzersterk in opdracht van en in samenwerking met
INAGRO in kader van het VLAIO LA-project Pocket Power

Auteurs: Decorte, J., De Dobbelaere, A., Vandendriessche, S., Dejonckheere, S.

September 2020

Het project Pocket Power is een project van Inagro en Universiteit Gent dat wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.

**AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN**



Vlaanderen
is ondernemen

INLEIDING

Het inzetten van (kleinschalige) vergisting als strategie om broeikasgasemissies in de stal gelinkt aan mestopslag te verlagen, is enkel mogelijk wanneer de mest vers en/of (op vlak van emissies) gestabiliseerd kan worden afgevoerd en vervolgens gevoed wordt aan de vergister.

De huidige context binnen de Vlaamse varkensbedrijven betreft bij mestvarkens vooral langdurige opslag in een diepe kelder onder de roosters waar de dieren boven gehouden worden. De literatuurstudie uitgevoerd in kader van het project Pocket Power kwam uit op het onderzoek uitgevoerd aan WUR (Aarnink et al., 2019) dat aantoonde dat verse mestafvoer zowel op vlak van ammoniak-, als geur- als broeikasgasemissies een interessante strategie is om deze emissies te gaan verlagen met respectievelijk 60%, 60% en 90%. Aan de hand van verschillende brainstormsessies met ervaringsdeskundigen inzake stallenbouw gedurende de loop van het project, werden een aantal bouwconcepten uitgedacht die een verse mestafvoer zouden toelaten. Er werd gezocht naar concepten voor nieuw te bouwen stallen alsook bestaande stallen. Een aantal concepten die volgen uit deze denkoefening zijn vrij 'out-of-the-box'.

Deze studie heeft tot doel de praktische en vooral ook economische haalbaarheid in te schatten van deze bouwconcepten. Dit is van belang om de meest veelbelovende strategieën op vlak van betaalbaarheid te kunnen identificeren. Het perspectief dat de varkenssector tegen 2030 aankijkt tegen een verplichting van ammoniakemissiearme huisvesting, zal de komende jaren wellicht nog heel wat constructie-denkoefeningen en/of aanpassingen vragen. Met deze studie beogen we om te helpen richting geven aan concepten die ook aandacht verdienen in het kader van het mogelijk verlagen van broeikasgasemissies. Hoewel het andere onderzoek binnen het VLAIO LA-project Pocket Power uitwijst dat er voor monovergisting van verse varkensmest nog heel wat onderzoeksvragen onbeantwoord blijven, biedt het vergisten van verse varkensmest perspectieven om de broeikasgasemissies binnen de intensieve veehouderij aanzienlijk te helpen verlagen en verdient dit in de nabije toekomst zeker verdere aandacht.

METHODE

Deze studie heeft tot doel om een aantal **bouwconcepten** waarin **mest vers** wordt **afgevoerd** met elkaar te vergelijken op vlak van **economische** en **praktische haalbaarheid**. Deze studie geeft een beknopte technische beschrijving van deze systemen, gevolgd door een berekening van de meerkost dat het systeem vraagt t.o.v. een referentiescenario waarin de mest niet dagvers wordt afgevoerd. Bij de concepten die worden doorgerekend wordt rekening gehouden met de op vandaag geldende wetgeving en normen omtrent aspecten zoals dierenwelzijn en ammoniakemissies.

De bouwconcepten die worden doorgerekend zijn het resultaat van verschillende brainstormsessies. Bepaalde bouwconcepten voor verse mestafvoer kennen op vandaag reeds realisaties in de Vlaamse praktijk (vb. Vedows-systeem), andere concepten zijn eerder nieuw (ter plaatse gestorte gescheiden afvoer), gebaseerd op systemen uit de melkveehouderij (bv. robotsysteem) en kennen nog geen realisaties of zijn gebaseerd op eenmalige innovatieve realisaties (bv. 'Akivar 2.0'). De **out-of-the-box concepten** in deze studie moeten benaderd worden vanuit een zekere voorzichtigheid, gezien hieromtrent een aantal veronderstellingen werden gedaan. Bv. op vlak van ammoniak- en/of broeikasgasemissies werden het merendeel van deze systemen (uitgez. bv. Vedows-systeem) nog niet doorgemeten. De economische berekening is gebaseerd op praktijkprijzen en ruwe inschattingen uit de ervaring en expertise inzake stallenbouw van studiebureau Yzersterk. De studie gaat in op de

Studieopdracht stallenbouw

aannames waarvan werd uitgegaan. Deze cijfers dienen echter als benadering en dus eerder richtinggevend te worden beschouwd. Bij zij die zelf een bouwproject aangaan, kunnen bepaalde cijfers of tendensen situatie-specifiek afwijken. Voor meer details omtrent de gemaakte veronderstellingen adviseren we contact op te nemen met de auteur(s) van deze studie.

De bouwconcepten die worden vergeleken zijn: verschillende **mestschuifsystemen** (Vedows-systeem, systeem 'Akivar 2.0', ter plaatse gestorte gescheiden en niet-gescheiden mestafvoer), een systeem met **mestrobots** en een systeem met uitsluitend **transportbanden**.

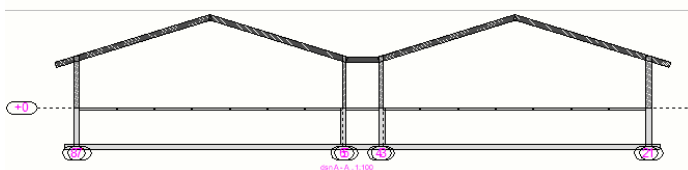
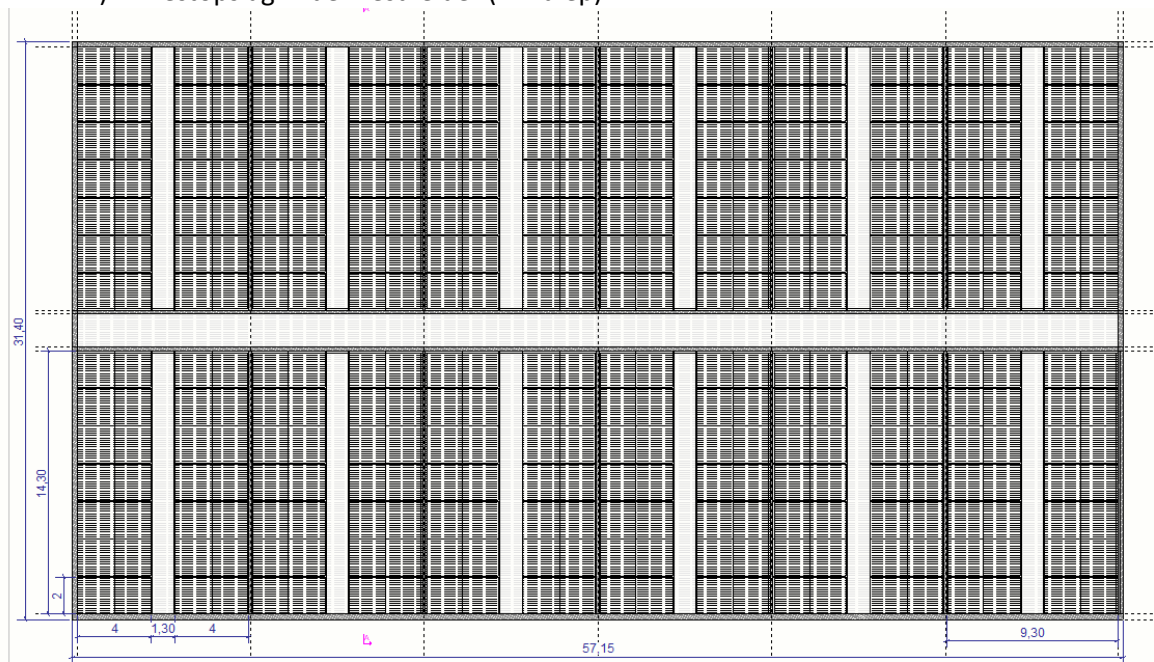
De berekening wordt telkens uitgevoerd voor eenzelfde stal van **gemiddelde compactheid** waarin telkens **twee scenario's qua stalgrootte** worden onderscheiden. Daar waar enigszins realistisch wordt naast een berekening voor een **nieuwbouwstal** ook een berekening gemaakt voor de **verbouw/aanpassing** van een bestaande stal.

Hierna volgt een beschrijving van de verschillende **scenario's** die later per bouwconcept worden doorgerekend (waar realistisch).

SCENARIO - BESTAANDE STAL, 1680 MESTVARKENS:

Voor een **bestaande stal** (figuur 1) met **1680 mestvarkens**; ouder dan 15 jaar; niet emissiearm; wordt uitgegaan van volgende eigenschappen:

- a) stal zonder luchtwasser
- b) zonder centraal afvoerkanaal
- c) ventilatoren rechtstreeks naar buiten
- d) kanaalventilatie
- e) 6 compartimenten van elk 28 hokken met elk 10 mestvarkens → 1680 mestvarkens
- f) mestopslag in de mestkelder (2m diep)



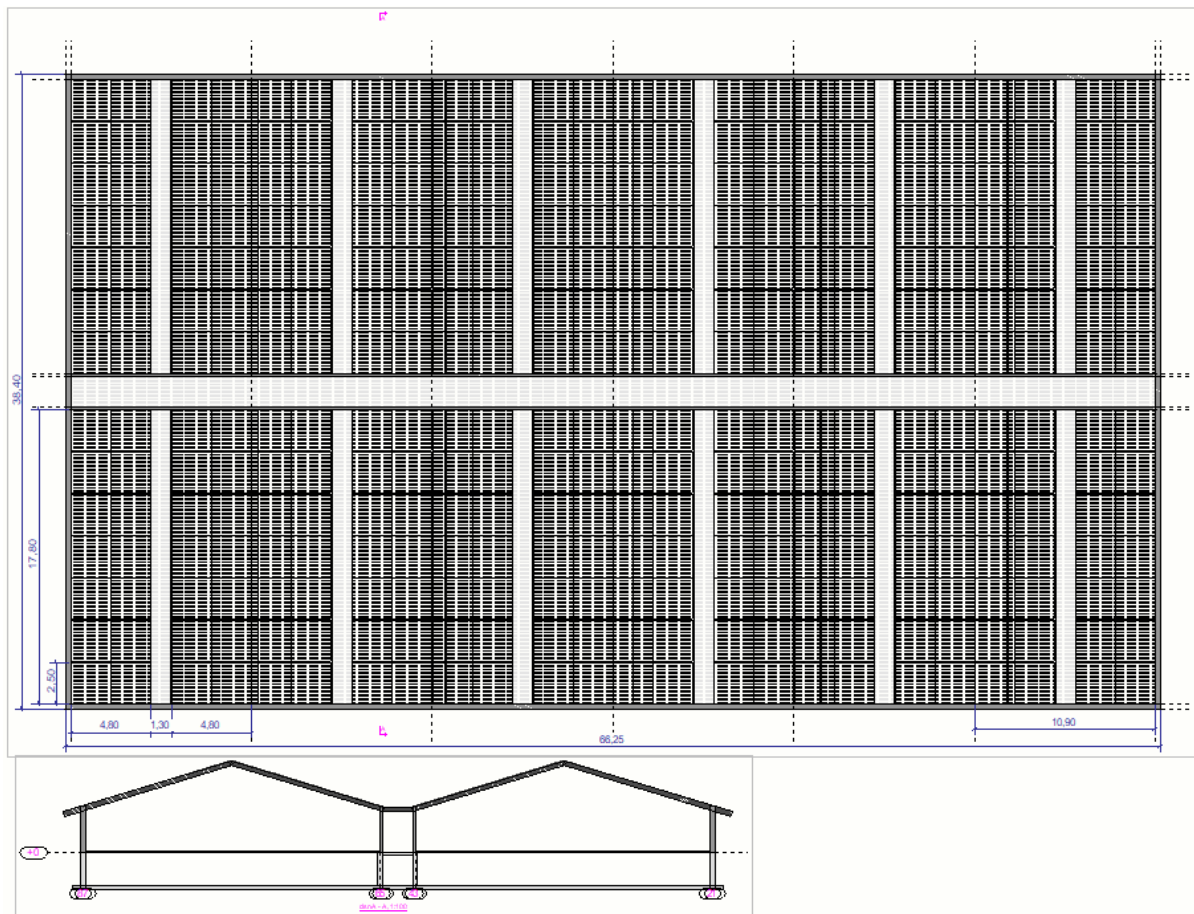
Figuur 1a en 1b: dwarsdoorsnede en doorsnede bestaande stal met 1680 mestvarkens.

Studieopdracht stallenbouw

SCENARIO - BESTAANDE STAL, 2520 MESTVARKENS:

Voor een **bestaande stal** (figuur 2) van **2520 mestvarkens**; ouder dan 15 jaar; niet emissiearm; wordt uitgegaan van volgende eigenschappen:

- a) stal zonder luchtwasser
- b) zonder centraal afvoerkanaal
- c) ventilatoren rechtstreeks naar buiten
- d) kanaalventilatie
- e) 6 compartimenten van elk 28 hokken met elk 15 mestvarkens → 2520 mestvarkens
- f) mestopslag in de mestkelder (2m diep)



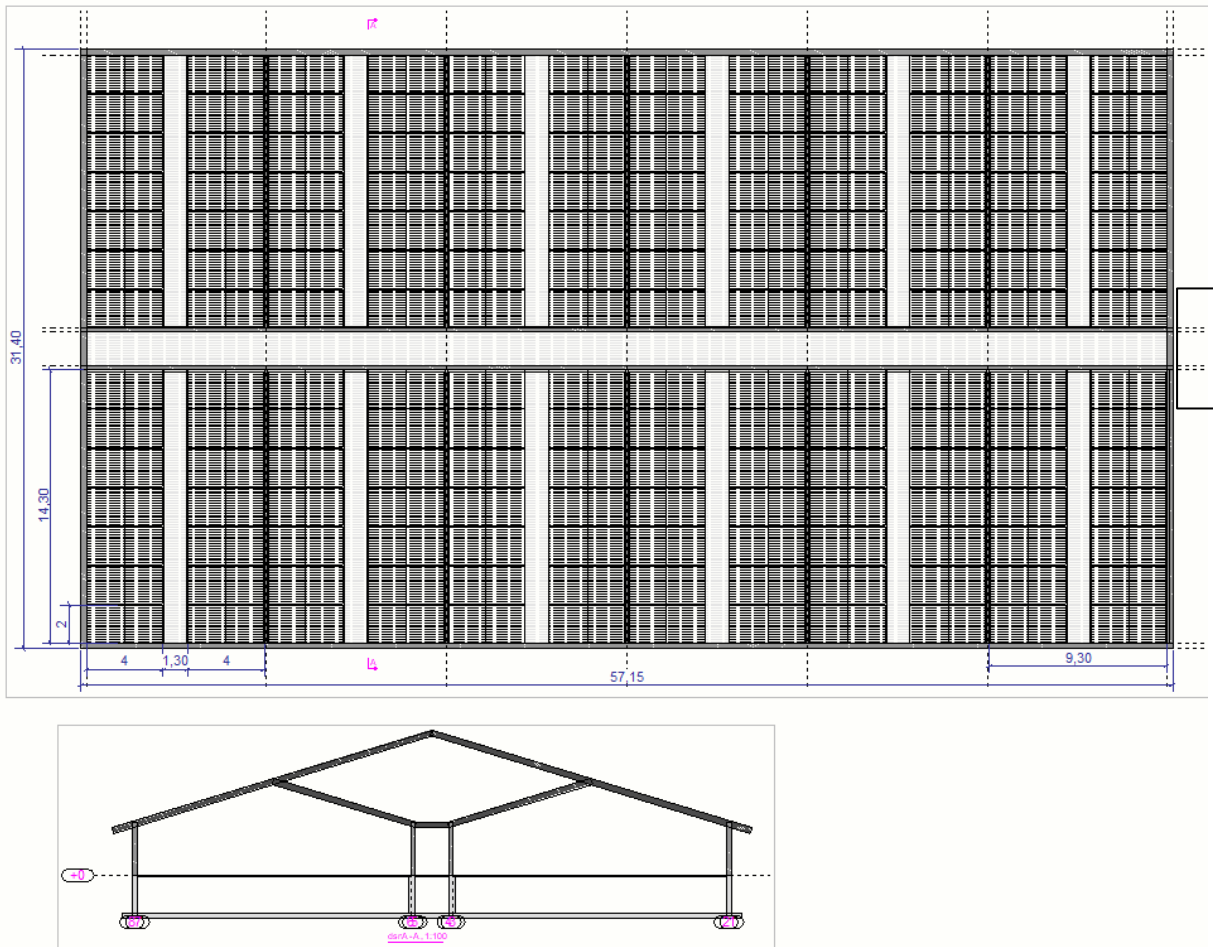
Figuur 2a en 2b: dwarsdoorsnede en doorsnede bestaande stal met 2520 mestvarkens.

SCENARIO - NIEUWE STAL, 1680 MESTVARKENS

Voor een **nieuwbouwstal** (figuur 3) van 1680 mestvarkens; ammoniakemissiearm (AEA); wordt uitgegaan van volgende eigenschappen:

- a) stal met luchtwasser
- b) met centraal afvoerkanaal
- c) kanaalventilatie
- d) 6 compartimenten van elk 28 hokken met elk 10 mestvarkens → 1680 Mestvarkens
- e) mestopslag in de mestkelder (2m diep)

Studieopdracht stallenbouw



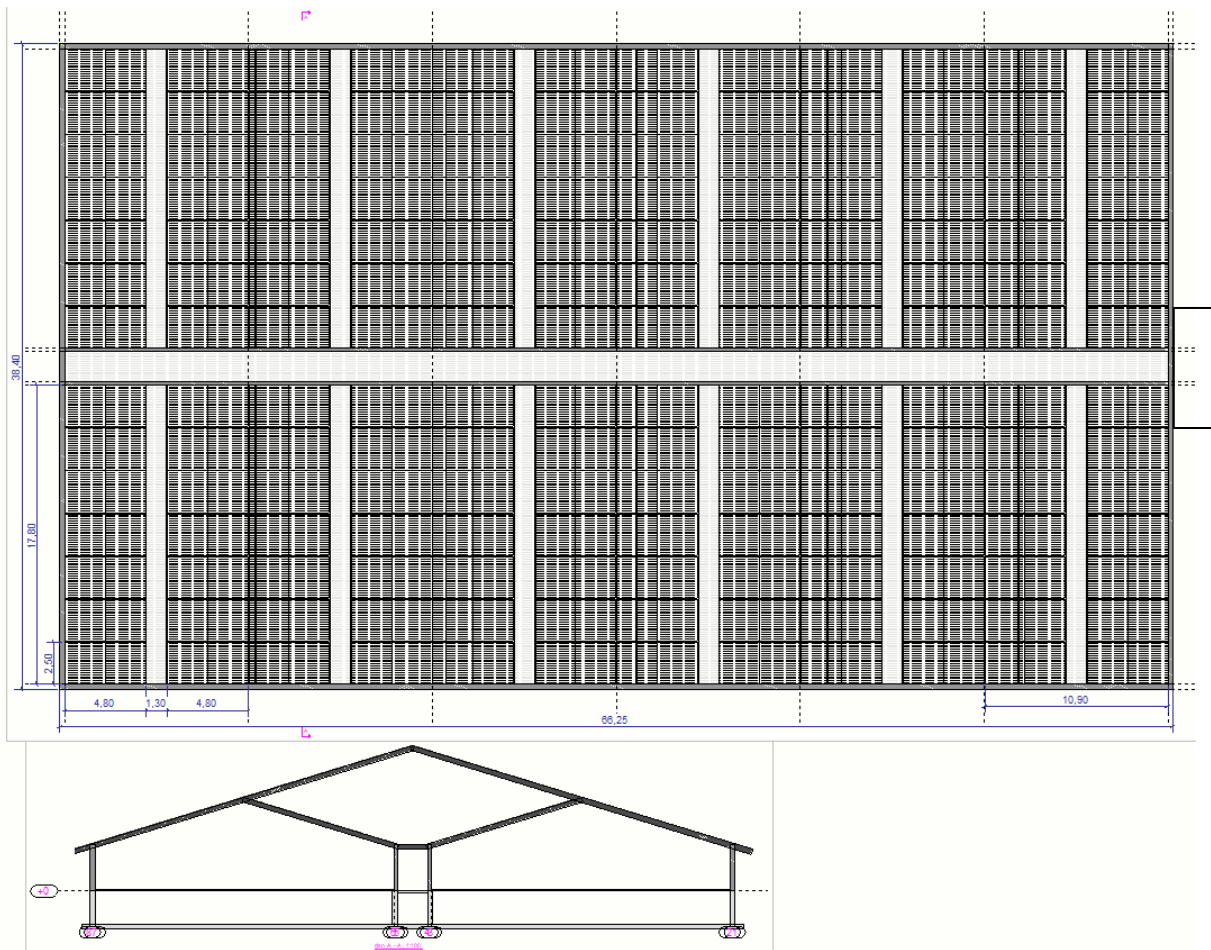
Figuur 3a en 3b: dwarsdoorsnede en doorsnede nieuwe stal met 1680 mestvarkens .

SCENARIO - NIEUWE STAL, 2520 MESTVARKENS

Voor een **nieuwbouwstal** (figuur 4) van **2520 mestvarkens**; ammoniakemissiearm; wordt uitgegaan van volgende eigenschappen:

- a) stal met luchtwasser
- b) met centraal afvoerkanaal
- c) kanaalventilatie
- d) 6 compartimenten van elk 28 hokken met 15 mestvarkens → 2520 Mestvarkens
- e) mestopslag in de mestkelder (2m diep)

Studieopdracht stallenbouw



Figuur 4a en 4b: dwarsdoorsnede en doorsnede nieuwe stal 2520 mestvarkens.

RESULTATEN

1. Mestschuiven

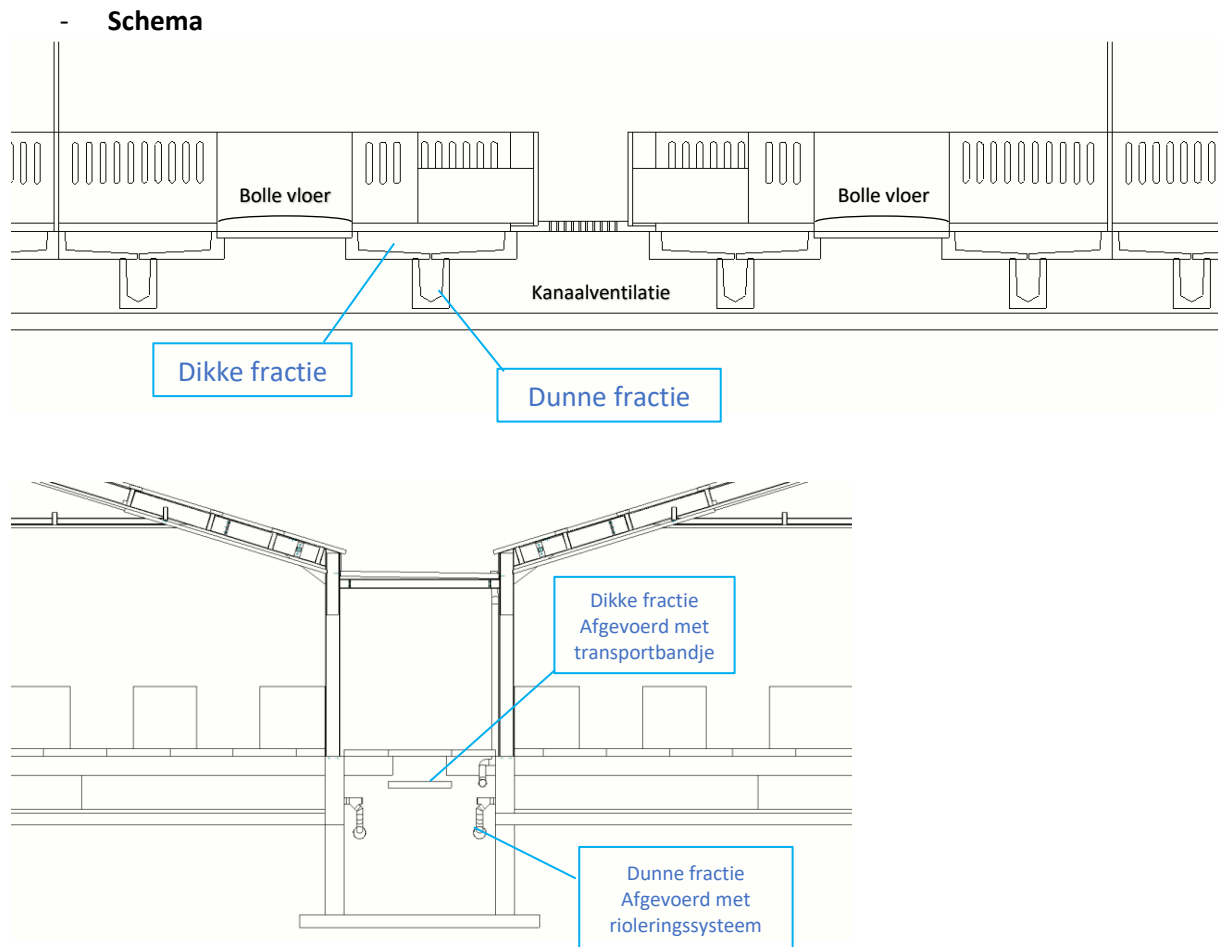
NIEUWBOUW

a) VeDoWS - systeem

- Omschrijving

Het VeDoWS-stalsysteem is opgenomen in de lijst van ammoniakemissiearme stalsystemen (Vlaams ammoniakreductiebeleid). Het werkingsprincipe berust op een efficiënte scheiding van vaste fractie en urine met als doel om ureasevorming en bijhorende luchtmissies tegen te gaan. De gescheiden afvoer van mest en urine gebeurt door middel van een afzonderlijke gier- en mestgoot met mestschraper. Onder de roostervloer wordt een ondiepe kelder gecreëerd die toelaat om de urine (of 'dunne fractie') te scheiden van de vaste mest (of 'dikke fractie'). Met behulp van een schraper wordt de vaste mest dagelijks uit de mestgoot verwijderd. Deze primaire mestscheiding in de kelder is de basis van een lagere ammoniakemissie. Bovendien is deze primaire scheiding ook gunstig voor het biogaspotentieel van de dikke fractie. De mest kan zo erg vers worden afgevoerd. Met dit systeem is kanaalventilatie mogelijk. Gezien het als AEA-systeem erkend is, is er geen luchtwater en centraal afvoerkanal vereist.

Studieopdracht stallenbouw



Figuur 5a en 5b: doorsnedes Vedows-stal in lengte- en breedterichting.

- **Verschillen t.o.v. referentiestal**

Bij vergelijking van een Vedows-systeem t.o.v. een klassieke stal met luchtwasser, werden volgende verschillen in rekening gebracht.

In de plaats van één diepe kelder, met tussenmuren voor de kanaalventilatie en lintelen voor de roosters, wordt uitgegaan van een ondiepe put, zonder al deze muren en lintelen, en **één dieper kanaal**, waar de transportband in zit. De dikke fractie, die op het transportbandje valt, wordt in een bovengrondse container afgedraaid. Deze container moet overdekt zijn, waarvoor op het einde van de stal een extra ruimte nodig is.

Dit systeem werkt standaard met kanaalventilatie, hiervoor zijn geen extra binnenmuren nodig. Het Vedows-systeem is ammoniakemissiearm; dus is er ook geen luchtwasser en centraal afvoerkanaal nodig. Verder zijn er wel transportbanden, betonnen elementen, schuiven en sturing nodig.

Studieopdracht stallenbouw

 - **Kostprijsberekening**

De kost van de transportbanden, betonnen elementen, schuiven en sturing zit tussen € 90 à 110 per plaats (Vermeulen Construct, 2020). Het Vedows-systeem staat op de AEA-lijst; dus een luchtwasser is niet nodig. Hierdoor is er ook geen centraal afvoerkanaal nodig. De kelder van het Vedows-systeem is doorgaans ongeveer 90cm diep; centraal is er een diepe kelder van ongeveer 2,5m diep.

Samenvatting voor 1680 MV:

Beschrijving	Totale kost	€/MV
Vedows	€ 168 000	€ 100,00
Geen Luchtwasser + stoel	€ 58 800	€ -35,00
Geen centraal afvoerkanaal	€ 34 290	€ -20,41
Eenvoudiger kelder	€ 35 682	€ -21,24
Extra loods voor container	€ 9000	€ 5,36
Opslag dunne fractie (70%, 9 maand)	€ 55 831	€ 33,23
Opslag digestaat van vergiste dikke fractie (30%, 9 maand)	€ 36 120	€ 21,50
	€ 140 179	€ 83,44

Samenvatting voor 2520 MV:

Beschrijving	Totale kost	€/MV
Vedows	€ 252 000	€ 100,00
Geen LW + stoel	€ 88 200	€ -35,00
Geen centraal afvoerkanaal	€ 39 750	€ -15,77
Minprijs kelder	€ 44 292	€ -17,58
Extra loods voor container	€ 9 000	€ 3,57
Opslag dunne fractie (70%, 9 maand)	€ 69 288	€ 27,50
Opslag digestaat van vergiste dikke fractie (30%, 9 maand)	€ 46 134	€ 18,31
	€ 204 180	€ 81,02

De totale bouwkost zal duurder zijn t.o.v. onze voorbeeldstal zonder mestafvoer: € 81 à 83/MV_{plaats}.

 b) *System 'AKIVAR 2.0'*

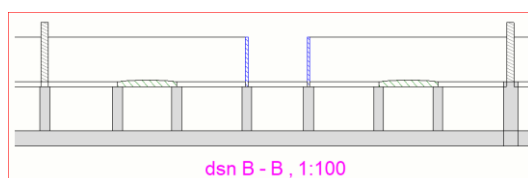
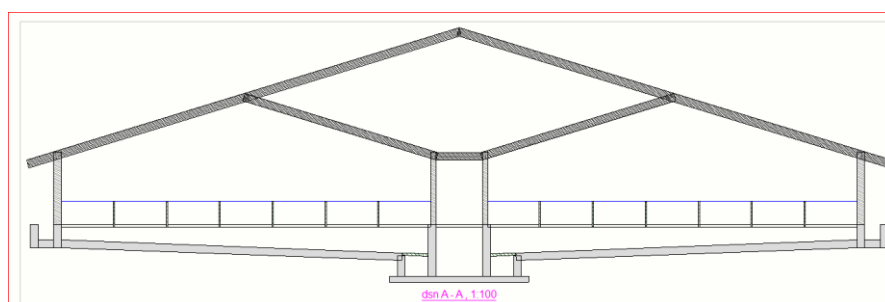
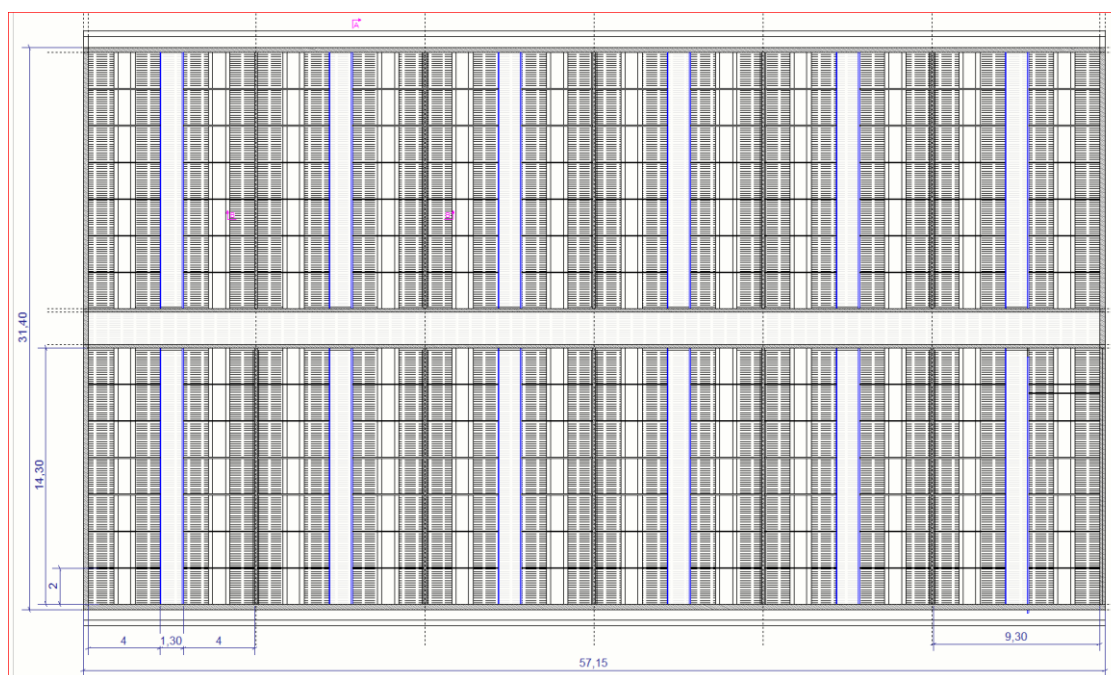
 - **Omschrijving**

Bart Vanackere en Mieke Baekelandt van het varkensbedrijf Akivar investeerden de afgelopen jaren met ondersteuning van VLIF-innovatiesteun in een nieuwbouw-mestvarkensstal gebouwd voor varkens in groepshuisvesting. De stal bestaat uit een volle roostervloer, met mestkelder onder helling.

Studieopdracht stallenbouw

De urine loopt weg via gleuven (40%) in een aparte kelder, terwijl de dikkere fractie wordt afgeschoven via mestschuiven in een andere kelder. Er wordt ongeveer 12 keer per dag geschoven. Na metingen¹ volgt inmiddels dat het systeem niet erkend is als AEA-systeem, gezien de ammoniakemissies niet voldoende verlaagd werden. Bij toepassing van dit systeem op de scenario's met 1680 en 2520 mestvarkens, wordt uitgegaan van enkele aanpassingen t.o.v. de uitvoering bij Akivar, daarom de aangepaste naam van het scenario 'Akivar 2.0' in deze studie. In deze studie wordt uitgegaan van géén groepshuisvesting. Er wordt gekozen voor een stal met bolle vloeren om een scheiding te creëren van mestkanaal en waterkanaal in de veronderstelling dat dit de ammoniakemissies verder kan helpen doen dalen.

- **Schema**



Figuur 6a, 6b en 6c: dwarsdoorsnede en doorsnedes in lengte- en breedterichting van het op Akivar gebaseerd stalsysteem.

¹ Resultaten waren niet gekend bij aanvang van deze studie.

Studieopdracht stallenbouw

 - **Verschillen t.o.v. referentiestal**

Mocht dit stalsysteem ooit op de lijst van emissiearme stalsystemen staan, kunnen volgende aannames gemaakt worden: geen luchtwater, geen centraal afvoerkanaal, kanaalventilatie, duurdere kelder want meer binnenmuren en onder helling, schuifstelsel vergelijkbaar als bij het Vedows-systeem.

Indien dit systeem toch teveel emissies geeft, is een luchtwater en een centraal afvoerkanaal terug nodig. Er is een beperkte primaire scheiding: de dikke fractie is vloeibaarder dan bij het Vedows-systeem, wat wijst op meer menging met urine. Waarschijnlijk zal deze menging in een stal met bolle vloeren, waar sowieso al een scheiding is in mestkanaal en waterkanaal is, veel minder zijn. Echter is dit nog nooit uitgetest in een opstelling met bolle vloeren.

 - **Kostprijsberekening**

Het systeem in deze studie is niet volledig hetzelfde als bij Akivar, aangezien er hier wordt uitgegaan van klassieke hokken. De meer- en minprijzen kunnen daardoor afwijken van de kostprijzen van de bouw bij het varkensbedrijf Akivar.

De kostprijs van het schuifstelsel werd overgenomen van Akivar, dit komt op ongeveer € 40/MV. Bij Akivar is een luchtwater nog nodig. In deze studie wordt de kans wel groot geacht dat het systeem hier wel ammoniakemissiearm zal zijn. Dit kan enkel bevestigd worden na metingen en is op heden dus zeker niet te beschouwen als AEA-systeem. Kanaalventilatie lijkt in dit systeem moeilijk uitvoerbaar. Eventueel kan deurventilatie een mogelijkheid zijn. In dit voorbeeld wordt uitgegaan van plafondventilatie, waardoor er toch nog een luchtkanaal nodig is in het plafond. De kostprijs van de dakconstructie blijft bij deze gelijk. De mestschuiven lopen elk tussen twee keldermuren. Hierdoor zijn er heel wat meer muren nodig, in plaats van lintelen.

Samenvatting voor nieuwbouw 1680 MV:

Beschrijving	Totale kost	€/MV
Schuifstelsel	€ 67 200	€ 40,00
Geen LW + stoel	€ -58 800	€ -35,00
Geen centraal afvoerkanaal, maar wel plafondventilatie	-	-
Meerkost kelder (onder helling + meer binnenmuren)	€ 35 532	€ 21,15
Opslag dunne fractie (30%, 9 maand)	€ 36 120	€ 21,50
Opslag digestaat van vergiste dikkere fractie (70%, 9 maand)	€ 55 831	€ 33,23
	€ 135 883	€ 80,88

Samenvatting voor 2520 MV:

Beschrijving	Totale kost	€/MV
Schuifstelsel	€ 100 800	€ 40,00
Geen LW + stoel	€ -88 200	€ -35,00
Geen centraal afvoerkanaal, maar wel luchtinlaat	-	-
Meerkost kelder (onder helling + meer binnenmuren)	€ 44 352	€ 17,60
Opslag dunne fractie (30%, 9 maand)	€ 46 134	€ 18,31

Studieopdracht stallenbouw

Opslag digestaat van vergiste dikkere fractie (70%, 9 maand)	€ 69 288	€ 27,50
	€ 172 374	€ 68,40

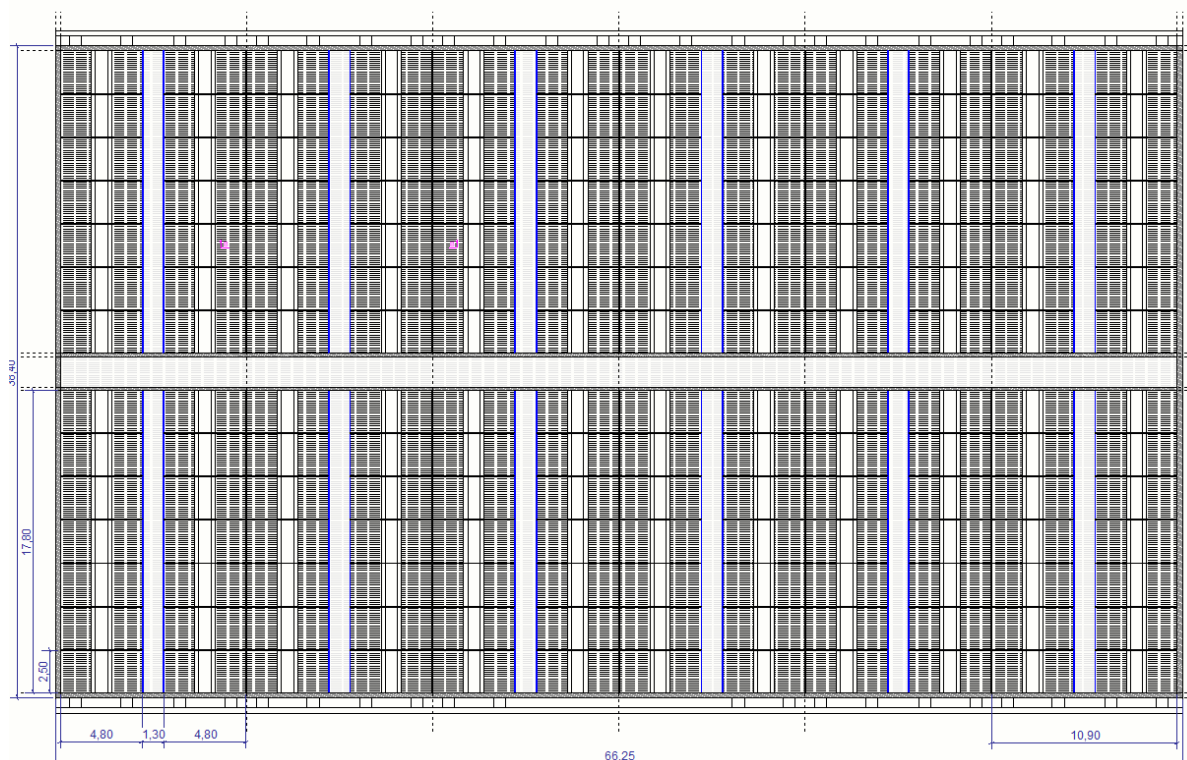
Het systeem zal duurder zijn dan een klassieke stal. Maar ligt in dezelfde lijn (afhankelijk van o.m. de grootte mogelijk iets goedkoper) van het Vedows-systeem. Voornamelijk de duurdere kelder en het extra luchtkanaal zorgen voor de meerprijs.

c) Stalsysteem met ter plaatse gestorte vloerelementen, mestschuiven en primaire scheiding van dikke en dunne fractie

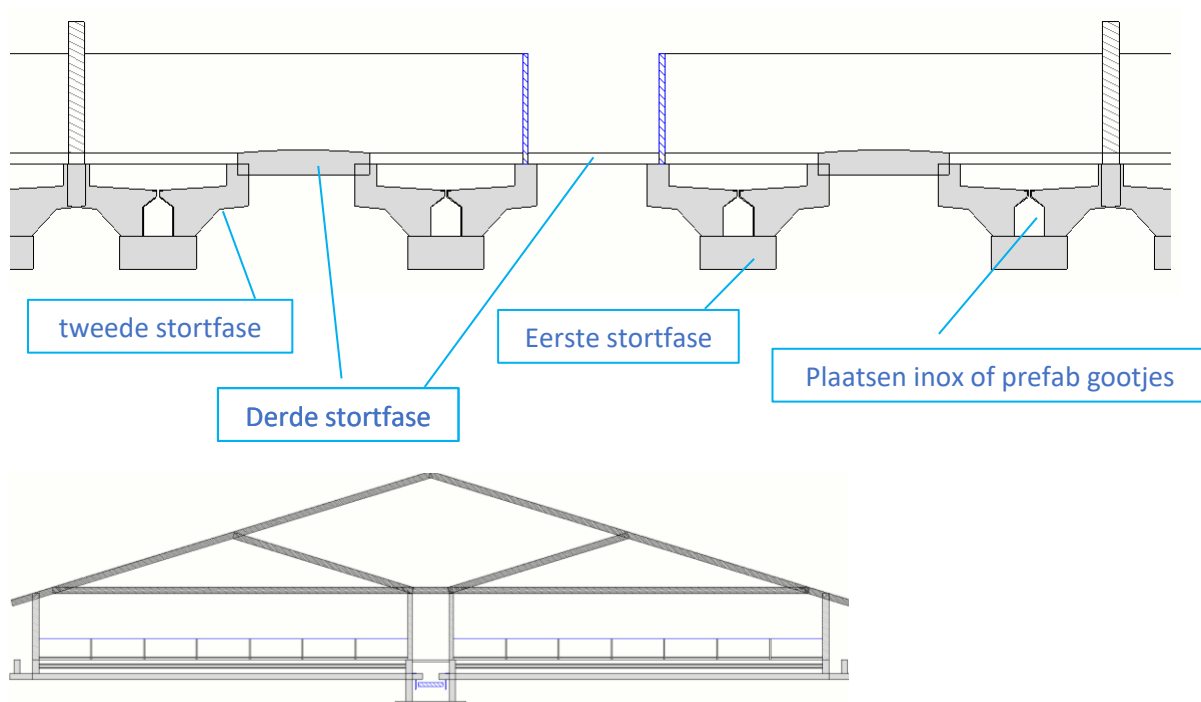
- **Omschrijving**

Vertrekkende van het idee van het Vedows-systeem zou er in plaats van eerst een ondiepe kelder te gieten, voor ter plaatse gestort beton kunnen gekozen worden. Hierdoor vervallen bijna alle prefab-elementen. In de keldervloer zitten dan al alle hellingen en goten verwerkt. In deze studie werd eenzelfde vorm verondersteld als bij het Vedows-systeem, aangezien hier de ammoniakemissienorm gehaald werd en er dus geen luchtwasser vereist is.

- **Schema**



Studieopdracht stallenbouw



Figuur 7a, 7b en 7c: dwarsdoorsnede & doorsnedes in lengte- & breedterichting v.e. stalsysteem met ter plaatse gestorte vloerelementen, mestschuiven & primaire scheiding van dikke & dunne fractie.

- **Verschillen t.o.v. referentiestal**

Aangezien hierbij het principe met het Vedows-systeem zeer gelijkaardig is, stellen we onder voorbehoud dat de ammoniakemissies hetzelfde kunnen zijn.

- **Kostprijsberekening**

De kostprijs van het schuivensysteem werd overgenomen van de case AKIVAR. Hoogstwaarschijnlijk zal een luchtwasser niet nodig zijn; bijgevolg is er geen luchtkanaal voor de uitgaande lucht nodig. Kanaalventilatie is niet meer mogelijk, een luchtkanaal voor de ingaande lucht is dus nodig. De kelder is gegoten onder hellingen en met gootjes. De keldervloer is bij voorkeur gepolierd, opdat de mestschuiven de minste weerstand hebben. De moeilijkheidsgraad van deze keldervloer is hoger.

Samenvatting voor 1680 MV:

Beschrijving	Totale kost	€/MV
Schuivensysteem	€ 67 200	€ 40,00
Geen LW + stoel	€ -58 800	€ -35,00
Geen centraal afvoerkanaal – wel plafondventilatie	-	-
Verschil kelder	€ -67 200	€ -40,00
Plaatsen inox gootjes	€ 56 520	€ 33,64
Opslag dunne fractie (70%, 9 maand)	€ 55 831	€ 33,23
Opslag digestaat van vergiste dikke fractie (30%, 9 maand)	€ 36 120	€ 21,50
	€ 89 671	€ 53,38

Studieopdracht stallenbouw

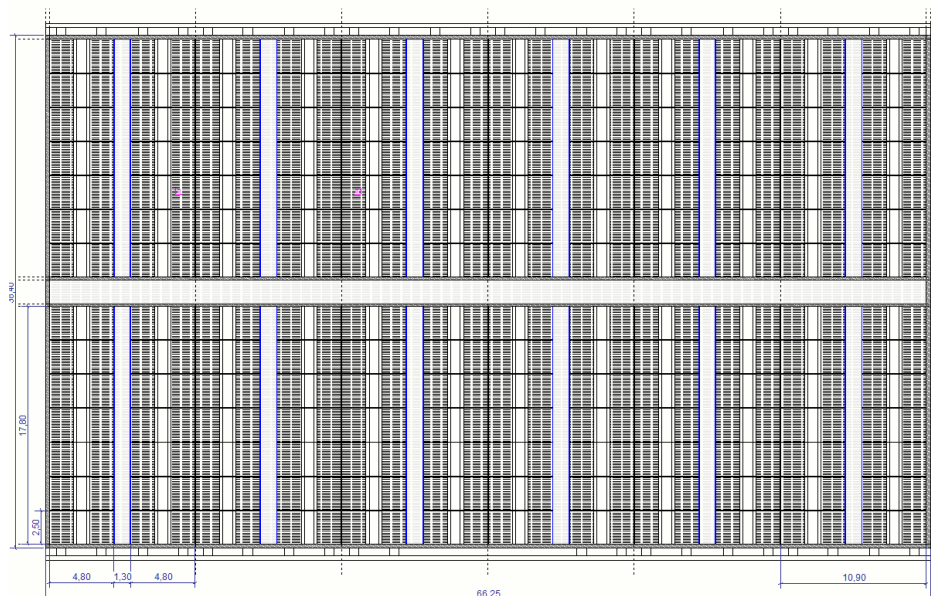
Samenvatting voor 2520 MV:

Beschrijving	Totale kost	€/MV
Schuivensysteem	€ 100 800	€ 40,00
Geen LW + stoel	€ -88 200	€ -35,00
Geen centraal afvoerkanaal – wel plafondventilatie	-	-
Verschil kelder	€ -100 800	€ -40,00
Plaatsen inox gootjes	€ 69 120	€ 27,43
Opslag dunne fractie (70%, 9 maand)	€ 69 288	€ 27,50
Opslag digestaat van vergiste dikke fractie (30%, 9 maand)	€ 46 134	€ 18,31
	€ 96 342	€ 38,23

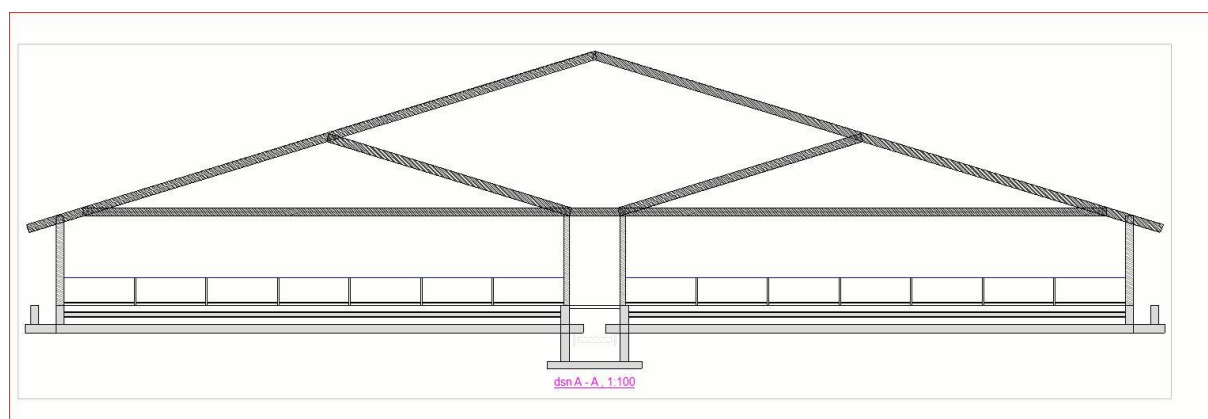
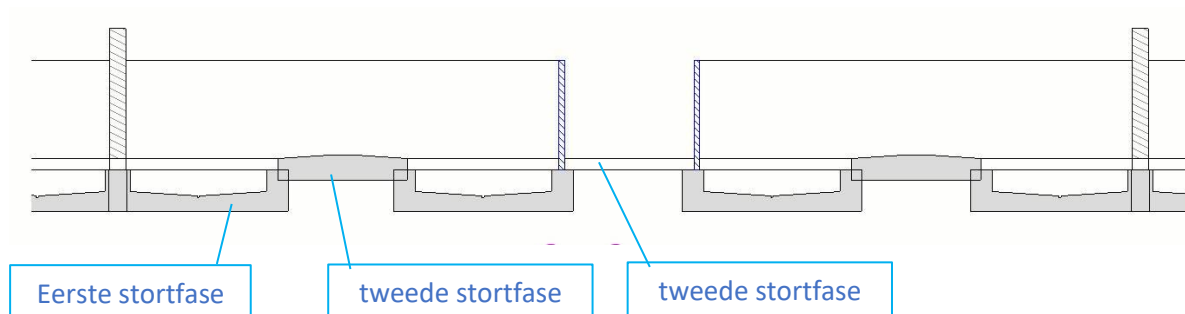
De kostprijs loopt (op de kost voor externe opslag van de mest na) gelijk met een klassieke stal met luchtwater en diepe kelder. Er wordt centraal één diepe kelder gegoten, analoog als bij het VeDoWs-systeem. De rest is nu in principe een ter plaatse gestorte vloer, wat in 3 stortfasen gegoten kan worden. Hierdoor zijn er geen lintelen, roosters en bolle vloer-elementen nodig, enkel roosters tussen de volle vloeren en afdek van de diepe kelder zijn noodzakelijk.

d) Ter plaatse gestort zonder primaire scheiding
- Omschrijving

Omdat het bij de aanvang van deze studie geen zekerheid is dat mest in kader van broeikasgasemissiereductie en optimalisatie van het biogaspotentieel moet gescheiden worden, werd ook een scenario zonder primaire scheiding meegenomen. Dit is een variant op vorig bouwconcept in die zin dat er gekozen wordt voor het goedkoopste afvoersysteem zonder primaire scheiding van de mest. De inox goten worden in deze situatie niet meegerekend. In de keldervloer zitten alle hellingen verwerkt. De mest wordt afgeschoven in een diep kanaal met ruwe mest.

- Schema


Studieopdracht stallenbouw



Figuur 8a, 8b en 8c: dwarsdoorsnede en doorsnedes in lengte- en breedterichting van een stalsysteem met ter plaatse gestorte vloerelementen en mestschuiven voor verse afvoer van mest in zijn geheel.

- **Verschillen t.o.v. referentiestal**

Deze stal heeft een eenvoudige onderbouw: één centrale diepe kelder als afstort. Het schuivensysteem is te vergelijken met vedows of akivar.

- **Kostprijsberekening**

Samenvatting voor 1680 MV:

Beschrijving	Totale kost	€/MV
Schuivensysteem	€ 67 200	€ 40,00
LW blijft	-	-
Centraal afvoerkanaal blijft, plafondventilatie	€ 34 290	€ 20,41
Verschil kelder	€ -67 200	€ -40,00
Plaatsen inox gootjes	-	-
Opslag digestaat	€ 69 288	€ 41,24
	€ 103 578	€ 61,65

Studieopdracht stallenbouw

Samenvatting voor 2520 MV:

Beschrijving	Totale kost	€/MV
Schuivensysteem	€ 100 800	€ 40,00
LW blijft	-	-
Centraal afvoerkanaal blijft, plafondventilatie	€ 39 750	€ 15,77
Verschil kelder	€ -100 800	€ -40,00
Plaatsen inox gootjes	-	-
Opslag digestaat	€ 84 059	€ 33,36
	€ 123 809	€ 49,13

BESTAANDE STAL

 a) *Ter plaatse gestort*

Bij bestaande stallen is het ombouwen van de stal naar een Vedows- of soortgelijk systeem niet mogelijk zonder grote sloopwerken. Mestschuiven moeten de mest immers tussen twee keldermuren kunnen geleiden. Voor een bestaande stal wordt hier daarom enkel het goedkoopste scenario uit nieuwbouw doorgerekend.

Dit zou vereisen dat de kelder gedeeltelijk moet aangevuld worden, om er daarna een nieuwe vloer in te gieten met o.m. afvoergootjes. Hiertoe moeten alle roosters en lintelen eruit gehaald en dan teruggeplaatst worden. De hoekwielen en aandrijving van het schuivensysteem zullen dan ook binnen in de stal moeten staan. Dit heeft tot gevolg dat er de laatste meter nooit kan geschoven worden.

In het oude luchtkanaal komt de mestband en de riolering. Dus er moet een andere oplossing gezocht worden qua ventilatie: deurventilatie, ventielen, ...

 - **Kostprijsberekening**

Beschrijving	Totale kost	€/MV
Wegnemen roosters - kelder uitspuiten - terugplaatsen roosters - leegstand	€ 21 600	€ 12,86
Maken gaten in muur	€ 12 000	€ 7,14
Plaatsen citerne	€ 3 000	€ 1,79
Plaatsen inox gootjes	€ 56 520	€ 33,64
Vloer gieten + muurtjes	€ 197 396	€ 117,50
Schuifsysteem	€ 67 200	€ 40,00
Opslag digestaat	€ 69 288	€ 41,24
	€ 427 004	€ 254,17

€ 254,17/MV is een aanzienlijke meerprijs om een bestaande stal te verbouwen. Opgelet afhankelijk van het staltype kan dit sterk variëren en zal dit vooral maatwerk zijn. Bemerkt dat er nog geen kost gerekend is voor de periode van leegstand.

Studieopdracht stallenbouw

2. Robotsysteem
NIEUWBOUW

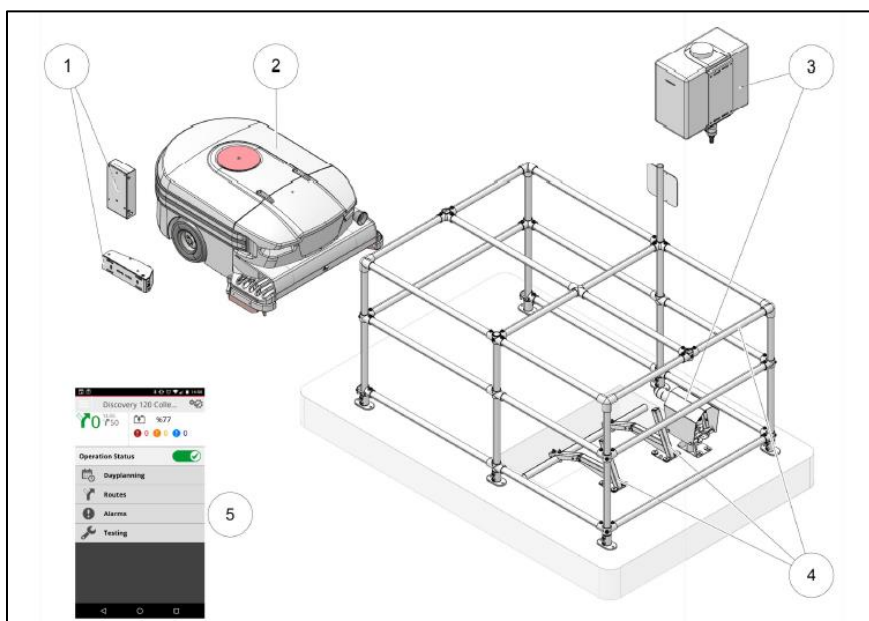
- **Omschrijving**

Het principe van dit bouwconcept stoelt op een innovatieve techniek in de melkveehouderij. Deze bestaat uit een robot die de mest opzuigt en telkens naar een verzamelpunt brengt. Vanuit het idee dit te willen gaan toepassen in de varkenshouderij

Met de gedachte deze techniek te gaan toepassen in de varkenshouderij, zou een introductie in de mestkelder de minst drastische ingrepen vragen. Opgelet: dit systeem is een denkoefening, en heeft zichzelf nog niet bewezen in de varkenssector. Ook de impact op vlak van emissies is nog niet gekend.

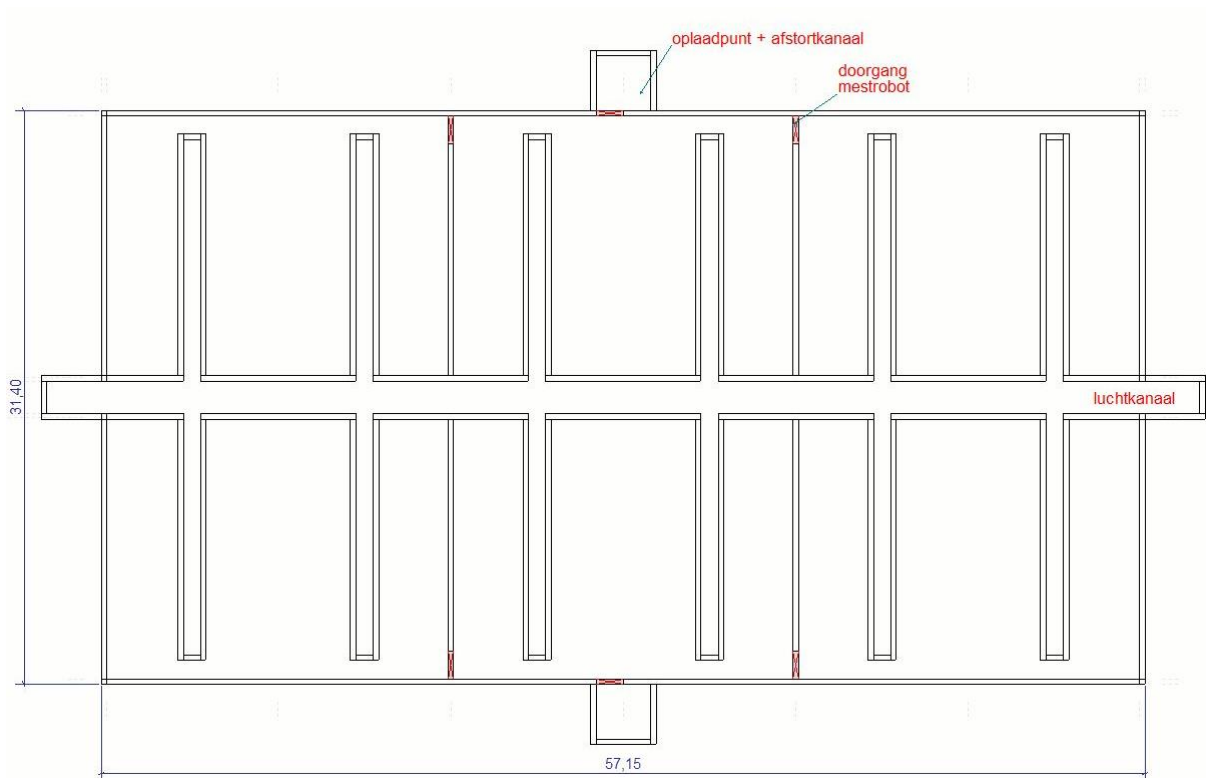
De robot loopt op geregelde tijdstippen in de mestkelder en dumpst de mest vervolgens in een afgesloten afstort. Deze afstort bevindt zich meestal nabij het oplaadpunt, bij voorkeur enigszins buiten de stal i.k.v. bereikbaarheid.

- **Schema**

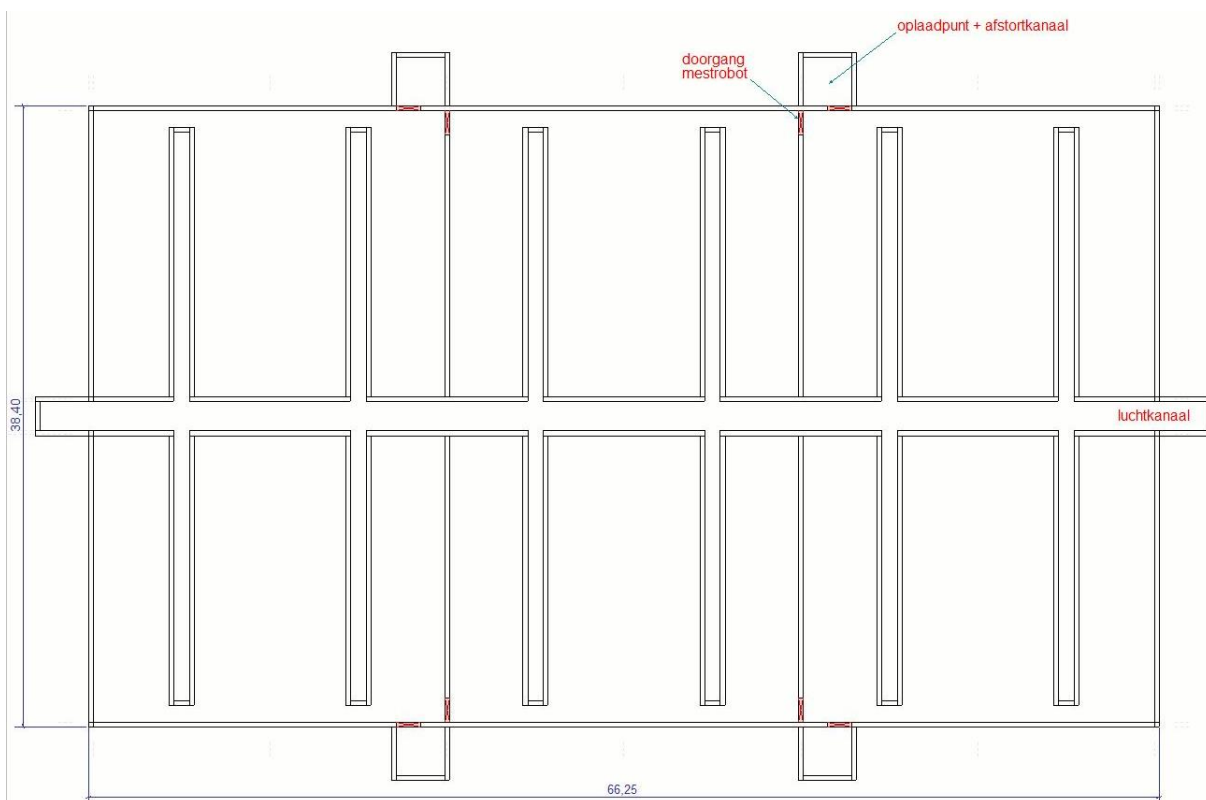


Figuur 9a en 9b: Foto en systeemoverzicht van een mestzuigrobot. 1=laadstation, 2=machine, 3=watervulstation, 4=afstort, 5= controle-applicatie (Lely, 2020).

Studieopdracht stallenbouw



Figuur 9c: Dwarsdoorsnede van stal ingericht voor een mestzuigrobot in de mestkelder voor 1680 mestvarkens.



Figuur 9d: Dwarsdoorsnede van stal ingericht voor een mestzuigrobot in de mestkelder voor 2520 mestvarkens.

Studieopdracht stallenbouw

 - **Verschillen t.o.v. referentiestal**

Deze robot kost zo'n €26500 (robot, oplaadpunt en installatie). Daarbij komend is ook een afstortpunt nodig. Bij nieuwbouw wordt er hier van uitgegaan de afstortpunten aan de buitenkant van de stal te plaatsen. De mestkelder is 1,2m diep. De robot moet van de ene afdeling naar de andere kunnen rijden. Om putventilatie te vermijden, worden er in deze studie tussen de afdelingen luiken voorzien. De mest kan tijdelijk opgeslagen worden in een citerne of een mestkelder.

De capaciteit van de robot hangt af van het aantal routes per dag. Uit de melkveehouderij is geweten dat één collector 120 koeien aankan door elke 6 uur te schuiven. De capaciteit hangt echter sterk af van de lengte van de route. Er wordt maximaal 500 m² voorgeschreven. Dit komt neer op ongeveer 8,9 m³ mest/dag, wat overeenkomt met ± 2200 mestvarkens. Om voldoende redundant te zijn en om de mest zo vers mogelijk te kunnen afvoeren wordt er in deze studie uitgegaan van schuiven om de drie uren. Daarbij wordt m.a.w. gesteld dat één robot mest van ± 1100 mestvarkens aankan. In de case van 1680 mestvarkens zouden er aldus 2 collectoren nodig zijn. In de case van 2520 mestvarkens zijn er minimaal 3 collectoren vereist, maar door de indeling van de voorbeeldstal wordt gekozen voor 4 collectoren. Dit zorgt voor een meerprijs, maar aangezien dit systeem in de praktijk nog niet gevalideerd is, is het beter om voorzichtig te rekenen.

 - **Kostprijsberekening**

In deze berekening wordt er voorzichtigheidshalve van uitgegaan dat een stal met mestrobot niet ammoniakemissiearm zal zijn en wordt de investering in o.m. een luchtwasser meegerekend.

Aan de buitenkant van het gebouw wordt een afstortkanaal aangegoten. De robot kan daar de mest dumpen in een citerne. Een aantal schuiven/kleppen zijn nodig, zodat de robot van de ene afdeling naar de andere afdeling kan.

Voor nieuwbouw van 1680 MV:

Beschrijving	Totale kost	€/MV
2 x Collector	€ 53 000	€ 31,55
2 x afstortkelder + citernes	€ 6 000	€ 3,57
6 schuiven tussen compartimenten	€ 9 000	€ 5,36
Opslag digestaat	€ 69 288	€ 41,24
	€ 137 288	€ 81,72

Voor nieuwbouw van 2520 MV:

Beschrijving	Totale kost	€/MV
4 x Collector	€ 106 000	€ 42,06
4 x afstortkelder + citernes	€ 12 000	€ 4,76
6 schuiven tussen compartimenten	€ 9 000	€ 3,57
Opslag digestaat	€ 84 059	€ 33,36
	€ 211 059	€ 83,75

Opgelet: de levensduur van de robot is nog niet gekend in een varkensmestkelder. In deze studie is geen vervangingsinvestering gerekend. Waarschijnlijk zal de levensduur korter zijn dan in een melkveestal, deze robot is namelijk gemaakt voor een goed verluchte melkveestal.

Studieopdracht stallenbouw

BESTAANDE STAL

- Omschrijving

Bij ombouw van een bestaande stal wordt ervan uitgegaan de afstortpunten in het midden van de stal te plaatsen.

- Kostprijsberekening

Voor ombouw bestaande stal 1680 MV:

Beschrijving	Total kost	€/MV
Wegnemen roosters - kelder uitspuiten - terugplaatsen roosters - leegstand	€ 21 600	€ 12,86
Maken gaten in muur	€ 2 500	€ 1,49
Collector	€ 53 000	€ 31,55
Maken afstort + citerne	€ 9 000	€ 5,36
Schuiven tussen compartimenten	€ 9 000	€ 5,36
Opslag digestaat	€ 69 288	€ 41,24
	€ 164 388	€ 97,85

Voor ombouw bestaande stal 2520 MV:

Beschrijving	Total kost	€/MV
Wegnemen roosters - kelder uitspuiten - terugplaatsen roosters - leegstand	€ 21 600	€ 8,57
Maken gaten in muur	€ 2 500	€ 0,99
Collector	€ 106 000	€ 42,06
Maken afstort + citerne	€ 18 000	€ 7,14
Schuiven tussen compartimenten	€ 9 000	€ 3,57
Opslag digestaat	€ 84 059	€ 33,36
	€ 241 159	€95,70

Met een kost van €97,85/MV tot €95,70/MV, kunnen we de mest relatief vers uit de stal krijgen.

Er zijn echter wel een aantal voorwaarden:

- De keldervloer moet mooi plat gegoten zijn. Als de bestaande keldervloer niet plat zou gegoten zijn (of teveel barsten vertoont), moet er een nieuwe vloer in gegoten worden: minimaal 12 cm dik, wat neerkomt op zeker €25/m² extra (niet meegenomen in huidige berekening).
- De schuiven tussen de compartimenten moeten steeds zo snel mogelijk en zo goed mogelijk afgesloten worden.
- Oplaadpunt staat best buiten de stal

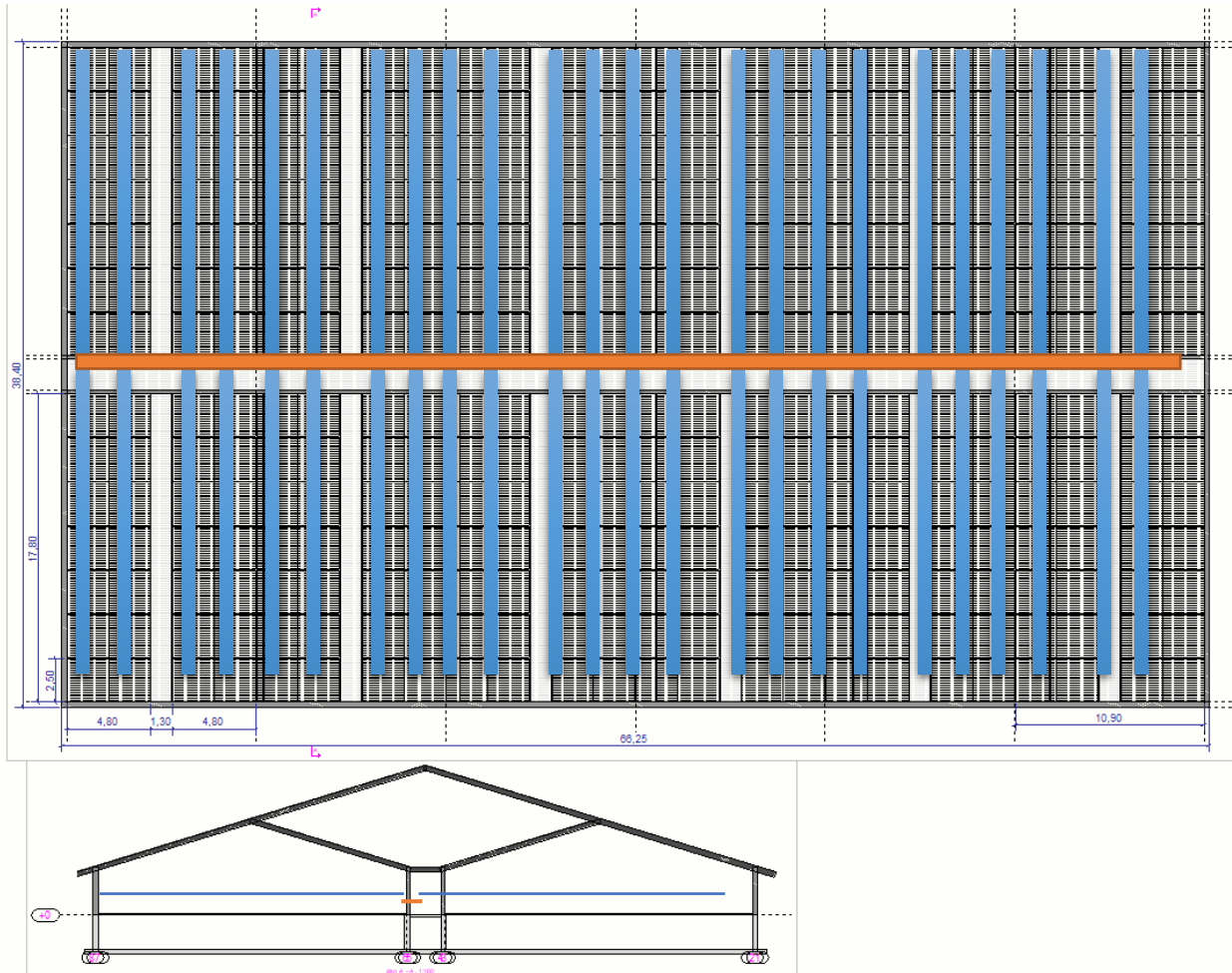
Opgelet: kosten voor leegstand werden hierin nog niet meegerekend.

3. Transportband

- Omschrijving

Dit idee bestaat eruit om onder de roosters transportbanden te monteren die de mest naar buiten afdraaien. Het principe is mits enige abstractie te maken qua afvoerrichting vergelijkbaar met het Vedowssysteem, maar in plaats van mestschuiven worden er transportbanden gebruikt.

- **Schema**



Figuur 10a en 10b: dwarsdoorsnede en doorsnede in breedterichting van een stalsysteem met transportbanden voor verse afvoer van mest.

- **Verschillen t.o.v. referentiestal**

Dit systeem is ook (nog) niet emissiearm, waardoor een luchtwasser verplicht blijft. Mits zeer regelmatig de band af te draaien, zou men kunnen redeneren dat deze stal ook ammoniakemissiearm kan worden. Enkel een meting kan hierover uitsluitsel geven. Er wordt in deze berekening uitgegaan van de situatie waarin het bouwconcept ammoniakemissiearm zal zijn.

Studieopdracht stallenbouw

 - **Kostprijsberekening**

Voor nieuwbouw van 1680 MV:

Transportbandjes	€ 400 000	€ 238,10
Geen LW + stoel	€ -58 800	€ -35,00
Geen centraal afvoerkanaal	€ -34 290	€ -20,41
Extra loods voor container	€ 9 000	€ 5,36
Ondiepe kelder	€ -35 682	€ -21,24
Opslag dunne fractie (70%, 9 maand)	€ 55 831	€ 33,23
Opslag digestaat van vergiste dikke fractie (30%, 9 maand)	€ 36 120	€ 21,50
	€ 372 179	€ 221,54

Voor nieuwbouw van 2520 MV:

Transportband geleverd en geplaatst zal minstens €500 per lopende meter kosten. Voor een nieuwbouwstal van 2520 mestvarkens, zouden we al 944 lopende meter transportband nodig hebben, wat al neerkomt op minimaal €188 per mestvarkensplaats. Plaatsing in een bestaande stal zou nog veel duurder zijn.

Transportbandjes	€ 472 000	€ 187,30
Geen LW + stoel	€ -88 200	€ -35,00
Geen centraal afvoerkanaal	€ -39 750	€ -15,77
Extra loods voor container	€ 9 000	€ 3,57
Ondiepe kelder	€ -44 292	€ -17,58
Opslag dunne fractie (70%, 9 maand)	€ 69 288	€ 27,50
Opslag digestaat van vergiste dikke fractie (30%, 9 maand)	€ 46 134	€ 18,31
	€ 424 180	€ 168,33

Studieopdracht stallenbouw

CONCLUSIES

Volgende tabellen geven een overzicht van de berekende scenario's voor nieuwbouw (tabel 1) en bestaande stallen (tabel 2). Hieruit kunnen we concluderen dat **voor nieuwbouw** het **kelderloos systeem met ter plekke gestort beton** de goedkoopste perspectieven biedt voor dagverse afvoer van mest, in hoofdzaak moet enkel de kost voor externe mestopslag gerekend worden ten opzichte van het referentiescenario. Bij **bestaande stallen** schuilt (mits onderzoek en ontwikkeling in de bedrijfs sfeer zich hierop toelegt) de goedkoopste oplossing in een geautomatiseerd systeem met **mestrobots** die de mest als het ware onder de varkens gaan **wegzuigen**. Systemen met mestschuiven vragen al snel meer dan 250 euro per mestvarkensplaats (kelderloos, o.b.v. gegoten beton). Andere systemen die niet verder in detail werden doorgerekend vragen te grote ingrepen en zullen al snel richting de prijs voor nieuwbouw van een ammoniakemissiearme stal (± 400 euro per mestvarkensplaats) bewegen.

Tabel 1: Meerkost van diverse **nieuwbouwconcepten** voor verse mestafvoer ten opzichte van een referentiestal zonder verse mestafvoer. Alle scenario's zijn incl. externe opslag digestaat (en dunne fractie van mest waar van toepassing). ^aScenario's uitgaande van geen luchtwasser: €35/MVplaats uitgespaard, opgelet enkel Vedows is hier reeds erkend als AEA.

Meerkost t.o.v. referentie (€/MV _{plaats})	1680 MV _{plaats}	2520 MV _{plaats}
Transportband	222 ^a	168 ^a
Mestschuiven		
• Vedows	83 ^a	81 ^a
• 'Akivar 2.0'	81 ^a	68 ^a
• Kelderloos	53 ^a	38 ^a
• Kelderloos, niet gescheiden	62	49
Mestrobot	82	84

Tabel 2: Kost van diverse **verbouwconcepten** voor verse mestafvoer. Alle scenario's zijn incl. externe opslag van digestaat (en waar van toepassing dunne fractie van mest) en excl. leegstand. (*) Niet verder bekeken wegens niet beloftevol.

Meerkost t.o.v. referentie (€/MV _{plaats})	1680 MV _{plaats}	2520 MV _{plaats}
Transportband	Niet evident (*)	Niet evident (*)
Mestschuiven		
• Vedows	Niet evident (*)	Niet evident (*)
• 'Akivar 2.0'	Niet evident(*)	Niet evident (*)
• Kelderloos	Niet evident (*)	Niet evident (*)
• Kelderloos, niet gescheiden	254	Niet evident (*)
Mestrobot	98	96

REFERENTIES

- Aarnink, A.J.A., De Groot, J. & Ogink, N. (2019). Brongerichte maatregelen voor beperking emissies uit bestaande varkensstallen. Wageningen: Wageningen University & Research.
- Boerenbusiness (2016). Mest moet je niet schuiven maar verzamelen.
[https://www.boerenbusiness.nl/tech/artikel/10872188/mest-moet-je-niet-schuiven-maar-verzamelen,geraadpleegd augustus 2020.](https://www.boerenbusiness.nl/tech/artikel/10872188/mest-moet-je-niet-schuiven-maar-verzamelen,geraadpleegd%20augustus%202020)
- Rundveeloket (2020). Demonstratie mestrobots Hooibeekhoeve.
https://www.rundveeloket.be/sites/default/files/inline-files/demoproef%20mestrobots_Hooibeekhoeve.pdf, geraadpleegd augustus 2020.
- Vermeulen Construct (2020). *Persoonlijke communicatie via Yzersterk.*

Bijlage 9: Piloottest monovergisting varkensmest

Monovergisting varkensmest

Pilootschaaltest

Sander Vandendriessche
Anke De Dobbelaere

Pocket Power



ONDERZOEK & ADVIES IN LAND- & TUINBOUW

Inhoud

1	Inleiding	2
2	Hypothese	3
3	Materiaal en methoden	3
3.1	Pilootinstallatie	3
3.2	Voeding	4
3.3	Analyses	4
3.4	Timing	5
4	Resultaten en discussie	5
4.1	Droge stofgehalte	6
4.2	Temperatuur	7
4.3	Verblijftijd	8
4.4	Biogas- en methaanpotentieel	8
4.5	Elektriciteitsproductie en -verbruik	10
4.6	Organische reactorbelasting	12
4.7	pH	12
4.8	Zwavel	13
4.9	C/N	13
4.10	Stikstof, kalium & fosfor	14
4.11	Ruw vet, ruw eiwit, ruwe celstof, koolhydraten	14
4.12	Schuimvorming	14
5	Conclusie en toekomstig onderzoek	14
6	Referenties	15

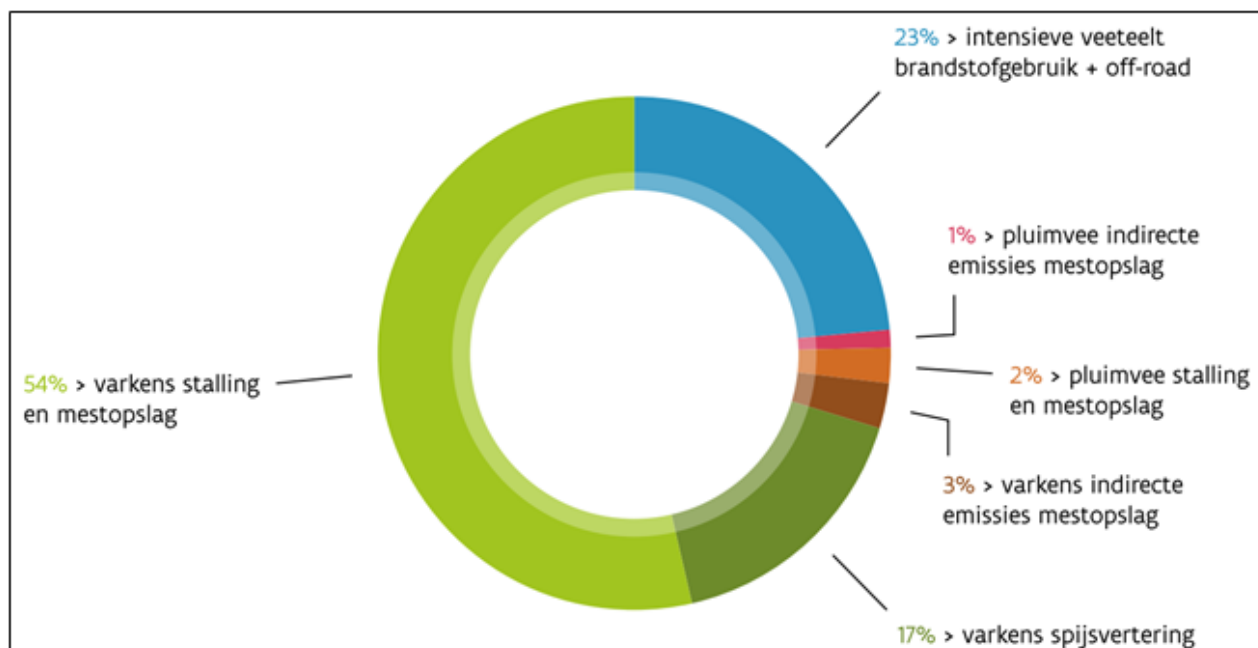
Het project Pocket Power is een project van Inagro en Universiteit Gent dat wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.

1 Inleiding

Op 9 december 2019 werd het Vlaams klimaatplan goedgekeurd. Vlaanderen heeft als doelstelling om tegen 2030 zijn broeikasgasemissies in niet-ETS sectoren (gebouwen, transport, landbouw, afval) met 35% te verlagen t.o.v. 2005. De beleidslijnen en belangrijkste maatregelen voor niet-energetische emissies gekoppeld aan dierlijke productie binnen de landbouw zetten in op (Vlaamse Regering, 2019):

- Minder enterische emissies (methaan)
- Minder emissies bij mestopslag en mestmanagement (methaan, lachgas)

Vergisting wordt m.a.w. aanzien als een belangrijke strategie om broeikasgasemissies uit mestopslag binnen de veehouderij te gaan verlagen. Onderzoek binnen het VLAIO LA project Pocket Power door Universiteit Gent en Inagro (Vergote et al., 2019) toonde via modellering en simulering (van een specifiek West-Vlaams melkveebedrijf met pocketvergister) aan dat pocketvergisting op runderdrijfmest wel 70 % van de methaanemissies uit mestopslag zou kunnen reduceren mits de mest vers wordt vergist en voldoende tijd in de vergister blijft. Met het geproduceerde gas kan vervolgens hernieuwbare energie opgewekt worden (bv. onder de vorm van elektriciteit en warmte d.m.v. een warmtekrachtkoppeling). Rekening houdende met o.a. 4 % lekverliezen en vermeden emissies door de productie van hernieuwbare elektriciteit kan dit volgens de simulatie van Vergote et al. (2019) een totaalplaatje opleveren van 53 % broeikasgasemissiereductie als de vergister performant draait. Hoewel nog niet onderzocht voor de varkenssector, is ook daar een aanzienlijke reductie van broeikasgasemissies uit mestopslag te verwachten mits de mest vers kan afgevoerd en vergist worden (Figuur 1).



Figuur 1: Broeikasgasemissies verbonden aan intensieve veehouderij-activiteiten (2016), samen goed voor 18% van de broeikasgasemissies uit landbouw of 1337 kton CO₂-equivalenten (VMM in Platteau et al., 2018).

Met pocketvergisting valt bovendien geld uit te sparen door zelf hernieuwbare energie op te wekken. Op vandaag beperkt pocketvergisting in Vlaanderen zich vooral tot de melkveehouderijsector. Het potentieel om dit uit te breiden naar de varkenssector is groot. Echter is monovergisting van verse varkensmest vergistingstechnisch geen evidentie. Binnen Pocket Power werden een aantal scenario's op laboschaal onderzocht om varkensmest vers te gaan vergisten. Hoewel er op laboschaal nog geen ideaal vergistingsscenario werd bekomen, leert o.m. praktijkcase Akivar ons dat het op grotere schaal in principe wel haalbaar moet zijn. Verkennende testen in de eigen vergister van Inagro met VeDoWS-mest (vaak in

combinatie met gewasresten) leerden ons dat er mits aanlengen met varkensdrijfmest om de viscositeit te verlagen en mits gericht afstellen van de mixer (om schuimvorming tegen te gaan) wel mogelijkheden zijn om tot een vergistingstechnisch haalbare case te komen.

Gezien het potentieel van deze maatregel voor de land- & tuinbouwsector en de beperkte aanwezigheid van andere gewasresten op varkensbedrijven, zetten we een test op met enkel (monovergisting van) de verse dikke varkensmest (bekomen via primaire scheiding door het VeDoWS-stalsysteem), in combinatie met varkensdrijfmest wanneer blijkt dat de verpompbaarheid te laag is bij het enkel hanteren van VeDoWS-mest.

2 Hypothese

Met dit onderzoek willen we via een verkennende vergistingsproef op pilotschaal in de vergistingsinstallatie van Inagro nagaan of er mits sturing in de viscositeit (door aanlengen van VeDoWS-mest met varkensdrijfmest) en het gericht afstellen van het mengsysteem en de verblijftijd kan gekomen worden tot een stabiel vergistingsproces. Dit zal ons meer inzicht verschaffen in belangrijke operationele parameters en de algemene haalbaarheid van monovergisting van varkensmest. Er werd geopteerd voor een piloot-vergistingstest om te bekijken tot welk meest gunstig vergistingsscenario in de praktijk kan bekomen worden mits sturing in de verhouding VeDoWS- vs. varkensdrijfmest, aanpassing van de verblijftijd en vooral gerichte menging.

3 Materiaal en methoden

De aanpak van deze vergistingstest op pilotschaal bestond uit verschillende onderdelen.

3.1 Pilootinstallatie

De test werd uitgevoerd in de pilootinstallatie van Inagro, operationeel sinds 2007 (Figuur 2). De installatie is een klassieke CSTR-reactor (200 m³ met een gevuld volume van circa 150 m³), met een elektrisch vermogen van 31 kW, die wordt aangestuurd door Inagro in het mesofiele temperatuursgebied ($\pm 38^{\circ}\text{C}$). Biomassa wordt gemengd m.b.v. een Peters Fermento Mixer (11 kW), verstelbaar in breedte en hoogte. Vooraleer het biogas verbrandt wordt in een wartekranchkoppeling (WKK), worden waterdamp en zwavel verwijderd via respectievelijk een condensatiestap en biologische ontzwaveling.



Figuur 2: Overzicht van de pilotinstallatie op Inagro: (1) Opslagtanks voor de vloeibare varkensdrijfmest; (2) Trioliet schroefpers om de VeDoWS-varkensmest te voeden; (3) Mixer; (4) Reactor; (5) Luchtinjectie voor biologische ontzwoeling; (6) WKK; (7) Gedeeltelijk overdekte sleufsilo's voor de opslag van VeDoWS-varkensmest

3.2 Voeding

De voeding bestond uit een mix van VeDoWS-varkensmest en varkensdrijfmest. Voor de aanvoer van verse varkensmest was Inagro afhankelijk van externen gezien er geen eigen varkensbedrijf op de site is. Voor de VeDoWS-mest werd beroep gedaan op een landbouwer met VeDoWS-stal. De mest werd geleverd aan Inagro en tijdelijk opgeslagen in een deels overdekte sleufsilo. Om de viscositeit en verpompbaarheid van de VeDoWS-mest te kunnen bijpassen werd ook varkensdrijfmest aangevoerd. Deze werd in een tanksilo opgeslagen. Er werd beoogd om telkens zo veel mogelijk mest van eenzelfde kwaliteit aan te leveren (bv. mest van eenzelfde type dieren en eenzelfde ouderdom) gedurende de volledige periode van deze testen.

3.3 Analyses

Volgende zaken werden dagelijks opgevolgd:

- Voeding van de vergister
- Energieproductie en -verbruik
- Temperatuur
- Gasproductie en -samenstelling
- Waarnemingen omtrent schuim
- Instellingen van de mixer
- Afgevoerd volume digestaat
- Speciale waarnemingen

Van elke batch nieuwe mest werd een staal genomen door een erkende staalnemer. Bovendien werd ongeveer om de tien dagen een staal van het digestaat genomen om op die manier het vergistingsproces te kunnen monitoren. Deze stalen werden geanalyseerd op volgende parameters door Inagro:

- pH
- organische koolstof (kg/ton VM)
- Geleidbaarheid (mS/cm)
- totaal geoxideerd stikstof (TON) (kg/ton VM)
- ammonium stikstof (kg NH₃-N/ton VM)
- Totale stikstof (kg/ton VM)
- Minerale stikstof (kg/ton VM)
- Kjeldahl stikstof (kg/ton VM)
- Kalium (kg/ton K₂O VM)
- Fosfor (kg/ton P₂O₅ VM)
- Droge stof (kg/ton VM)
- Organische stof (kg/ton VM)
- Verhouding C/N
- VOZ/TAC

Bovendien werden deze stalen door Innolab bijkomstig op volgende parameters geanalyseerd:

- Droge stof (%)
- Organische droge stof (% DS)
- Biogaspotentieel (m³ biogas/ton) via EPi-test
- Methaangehalte (%)
- Methaanpotentieel (m³ CH₄/ton)

Daarnaast werd door Innolab ook een BMP-test uitgevoerd tijdens de opstartfase van de test van de VeDoWS-mest, wat ons een meer gedetailleerde inschatting geeft over de gewenste verblijftijd en de totale biogasopbrengst over deze tijdsperiode.

3.4 Timing

De duur van deze test was van 1 januari 2020 tot 20 maart 2020. De eigenlijke staalnames startten echter pas op 22 januari aangezien de vergister in de weken voordien nog in een overgangsfase zat. Er werd een verblijftijd van 30-40 dagen gehanteerd.

4 Resultaten en discussie

Het vergistingsproces verloopt zo optimaal mogelijk wanneer procesparameters zo stabiel mogelijk worden gehouden. Micro-organismen kunnen zich wel aanpassen aan nieuwe omgevingsfactoren, maar dit gebeurt geleidelijk aan. Daarom is het belangrijk de verschillende procesparameters zoals pH, droge stofgehalte, organische reactorbelasting, temperatuur, ... zo stabiel mogelijk te houden (Biogas-E, no date). Een overzicht van de analyses en hun standaarddeviatie doorheen het verloop van de test wordt weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Overzicht van de analyses op de ingaande biomassa en het digestaat

	VeDoWS	Varkensdrijfmest	Digestaat
pH	7,15±0,32	8,34±0,36	8,40±0,24
Organische koolstof (kg/ton VM)	117,27±5,39	32,50±3,35	58,55±3,39
Geleidbaarheid (mS/cm)	4,57±1,24	6,12±0,51	8,02±0,47
totaal geoxideerd stikstof (TON) (kg/ton VM)	<0,0046	<0,0046	<0,0046
N_{amm} (kg NH₃-N/ton VM)	1,78±0,40	3,26±0,25	5,72±0,30
N_{tot} (kg/ton VM)	10,50±1,41	5,60±0,53	9,60±0,28
N_{min} (kg/ton VM)	1,78±0,39	3,28±0,25	5,73±0,28
N_{Kjehl} (kg/ton VM)	10,50±1,41	5,60±0,53	9,58±0,31
Kalium (kg/ton K₂O VM)	7,14±0,87	5,28±0,54	6,75±1,06
Fosfor (kg/ton P₂O₅ VM)	9,48±0,75	3,90±0,42	7,60±0,43
Droge stof (kg/ton VM)	255,18±9,39	81,46±8,39	150,33±6,19
Organische stof (kg/ton VM)	211,09±9,49	58,50±6,03	105,25±6,08
Verhouding C/N	11,62±2,04	5,82±0,23	6,12±0,23
VOZ/TAC	1,91±0,31	0,18±0,05	0,29±0,05
Droge stof (%)	25,15±0,72	7,94±0,76	15,20±0,37
Organische droge stof (% DS)	82,64±1,00	71,38±1,53	70,47±1,18
Ruw vet (kg/ton)	20,76±4,43	1,68±0,42	4,59±0,73
Ruw eiwit (kg/ton)	49,68±6,47	12,58±0,72	23,18±1,78
Koolhydraten (kg/ton)	66,36±22,58	19,53±4,08	30,30±7,67
Biogaspotentieel (m³ biogas/ton)	107,40±23,29	25,00±3,56	43,60±5,18
Methaangehalte (%)	60,80±1,48	58,50±1,29	59,80±1,48
Methaanpotentieel (m³ CH₄/ton)	62,20±12,77	14,75±2,06	26,20±2,59
Ruwe celstof (g/kg DS)	283,20±103,48	289,00±22,58	315,75±49,05

Een aantal cruciale parameters die het verloop van het vergistingsproces verder zullen gaan beïnvloeden worden hieronder besproken.

4.1 Droge stofgehalte

Naargelang het droge stofgehalte (DS) van het vergistingsproces onderscheiden we natte processen (DS < 20%) en droge processen (DS > 20%). De meeste Vlaamse installaties werken met natte vergisting. Natte en droge processen steunen op dezelfde principes maar zullen andere voorbehandelingen, reactorconstructies en nabehandelingen kennen. Bij natte vergisting is het inputmateriaal en digestaat verpompbaar. Dit betekent ook dat voorafgaand aan de vergisting verontreinigingen zoals stenen moeten verwijderd worden. Door verdunning met andere substraten kunnen ook geconcentreerde stromen

worden verwerkt. Er zijn veel uitvoeringsvormen beschikbaar waarbij de CSTR (continuous stirred tank reactor) de meest voorkomende is (Biogas-E, no date).

Gedurende de looptijd van de test werd natte vergisting beoogd, d.w.z. een droge stofgehalte < 20%. Er werd hiervoor gekozen aangezien dit bij de huidige kleinschalige vergisters in België standaard is. Als er gekozen zou worden voor droge vergisting moet het proces volledig omgeslagen worden en zijn er extra investeringen nodig, wat niet de bedoeling kan zijn van de ontwikkelingen die de laatste jaren reeds gebeurd zijn op vergistingstechnisch vlak. Het doel van deze test was te kijken of varkensmest onder de huidige omstandigheden stabiel kan vergist worden.

Aangezien de VeDoWS-mest gebruikt tijdens de test een DS-gehalte had van $25,15\% \pm 0,72\%$ moest dit aangelengd worden met varkensdrijfmest (DS: $7,94\% \pm 0,76\%$). Er werd initieel een dagelijkse voeding aangehouden van 3 ton VeDoWS en 2 ton varkensdrijfmest, verspreid over meerdere voedingsbeurten per dag. De vaste VeDoWS-mest werd elk uur aangevoerd via de vjzelpers, terwijl de varkensdrijfmest elke 2 uur werd toegevoegd vanuit de silo's. In de periode van 26/1 tot 5/2 werd tijdelijk minder varkensdrijfmest toegevoegd wegens een tekort. Dit liet zich ook voelen bij het afpompen van het digestaat, wat hierdoor moeizamer verliep. Om dit probleem te ondervangen werd in de daaropvolgende periode wat extra drijfmest bijgepompt, om vanaf 12/2 terug de initiële verhouding aan te houden. Echter werd dan opgemerkt dat het afpompen van het digestaat nog steeds niet altijd van een leien dakje liep. Daarop werd dan beslist om vanaf 15/2 dagelijks 2000 ton VeDoWS en 2000 ton varkensdrijfmest toe te voegen. Dit werd gedurende het verloop van de test telkens wat bijgesteld zodat de verhouding VeDoWS:drijfmest schommelde tussen 2-2,5:2. Dit kon gedaan worden omdat er bij deze verhouding altijd voldoende gas was om de WKK draaiende te houden, met een gemiddeld vermogen van zo'n 18 kW.

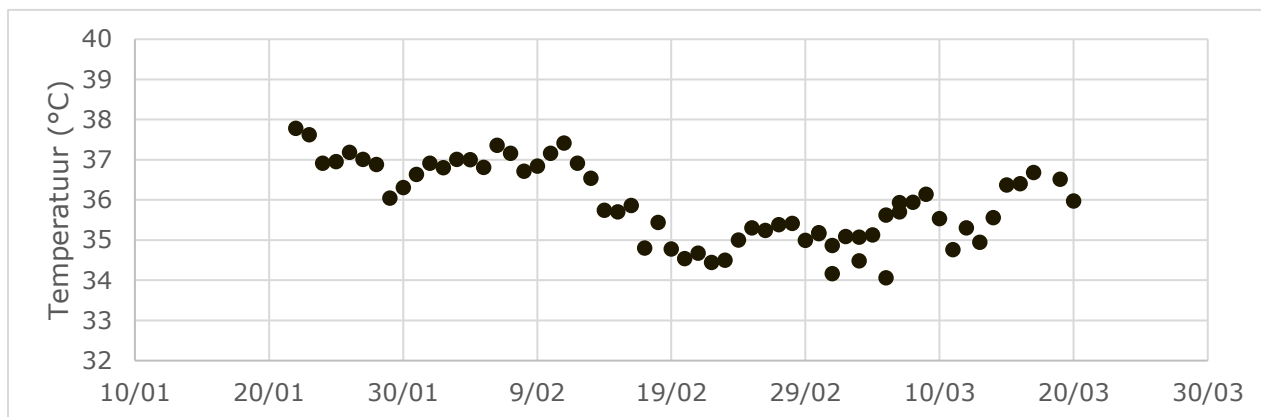
Het digestaat had een gemiddeld DS-gehalte van $15,20\% \pm 0,37\%$. Wegens de kleine standaarddeviatie kan geconcludeerd worden dat het DS-gehalte doorheen het volledige verloop van de proef vrij constant werd gehouden.

4.2 Temperatuur

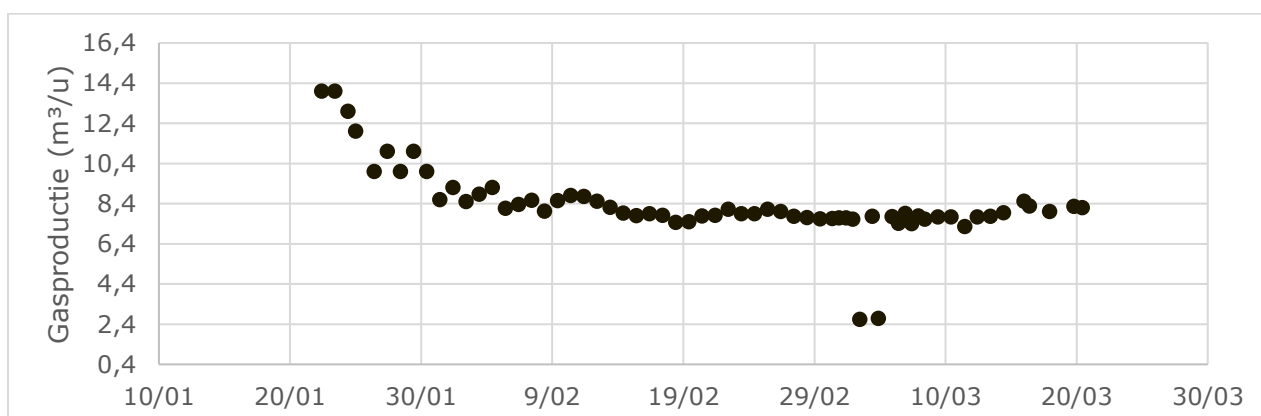
Er wordt een onderscheid gemaakt tussen mesofiele processen (32 - 42 °C) en thermofiele processen (48 - 55 °C). Mesofiele vergisting is een robuuster proces in vergelijking met thermofiele vergisting, heeft een lagere energiebehoefte en is minder gevoelig voor toxiciteit. Het proces verloopt trager, maar bij voldoende lange verblijftijd wordt uiteindelijk evenveel biogas geproduceerd. Een temperatuurstijging naar 43 - 48 °C kan bij mesofiele vergisting reeds onomkeerbare schade aanrichten; het tijdelijk afkoelen van de vergister brengt minder schade met zich mee. Bij thermofiele vergisting verloopt het afbraakproces sneller waardoor een hogere belasting van de reactor mogelijk wordt. Door de kortere verblijftijd kunnen de reactoren ook een heel stuk kleiner gebouwd worden. De hoge temperatuur zorgt bovendien voor een afdoening van pathogene micro-organismen. Dit wil echter niet zeggen dat deze methode zonder meer mag toegepast worden als alternatief voor pasteurisatie. Immers, er moet worden voldaan aan Verordening 1069/2009 en alternatieven voor de behandeling 'minimaal 1 uur op 70°C' moeten door de verwerker gevalideerd worden en erkend worden door de bevoegde overheid. Het thermofiele proces heeft een hogere energiebehoefte en is gevoeliger aan verstoring van de procesparameters. Zo kunnen temperatuurschommelingen van ± 2 °C al een negatieve invloed uitoefenen op het proces (Biogas-E, no date).

Gedurende de test werd een mesofiele temperatuur aangehouden en werd gemikt op 38 °C. Er werd geopteerd om een mesofiele temperatuur na te streven aangezien in het verleden reeds succesvol varkensmest in combinatie met groenteresten werd vergist in deze temperatuurrange. Echter werd deze

waarde nooit gehaald doorheen de test en werd in de eerste helft van februari zelfs een dalende trend waargenomen. Dit is te wijten aan infrastructurele problemen met het warmwatercircuit. De temperatuur herstelde zich nadien echter weer langzaam aan (Figuur 3). Ook bij de dagelijkse gasproductie werd een analoge trend waargenomen (Figuur 4), al werd er geen direct verband gevonden tussen de temperatuur en de gasproductie. Een mogelijke vaststelling hier is dat hoe hoger de temperatuur is, hoe meer gas gevormd kan worden, al kon dit niet statistisch aangetoond worden op basis van de beschikbare data.



Figuur 3: Temperatuursverloop doorheen de looptijd van de test



Figuur 4: Verloop van de gasproductie doorheen de test.

4.3 Verblijftijd

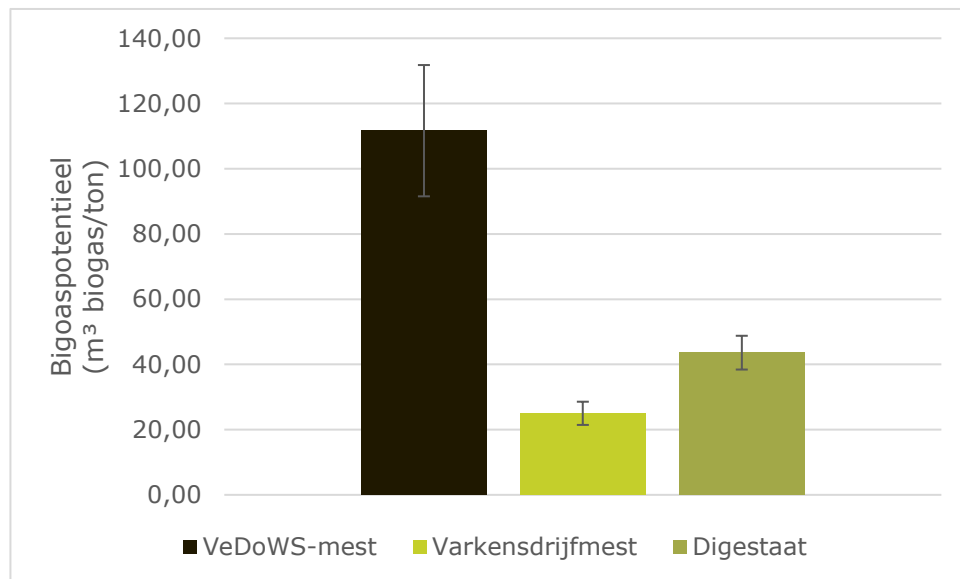
Bij mesofiele, kleinschalige vergisting wordt een verblijftijd van minimaal 30 dagen geadviseerd, om zo de micro-organismen voldoende tijd te gunnen om te kunnen reproduceren zodat uitspoeling vermeden wordt. Doorheen het verloop van de test werd daarom een verblijftijd van 30-40 dagen beoogd. Met een dagelijkse voeding van 2 ton VeDoWS en 2 ton varkensdrijfmest en een nuttig volume van 150 m³ wordt er een verblijftijd van 40,8 dagen gehaald. Met een dagelijkse voeding van 3 ton VeDoWS en 2 ton varkensdrijfmest is dit 33,5 dagen.¹ De minimale verblijftijd van 30 dagen werd dus doorheen het volledig verloop van de test gehaald.

4.4 Biogas- en methaanpotentieel

Het biogaspotentieel van VeDoWS-mest ($107,40 \pm 23,29$ m³ biogas/ton) is zoals reeds geweten is merkbaar hoger dan dat van varkensdrijfmest ($25,00 \pm 3,56$ m³ biogas/ton) met bovendien een hoger

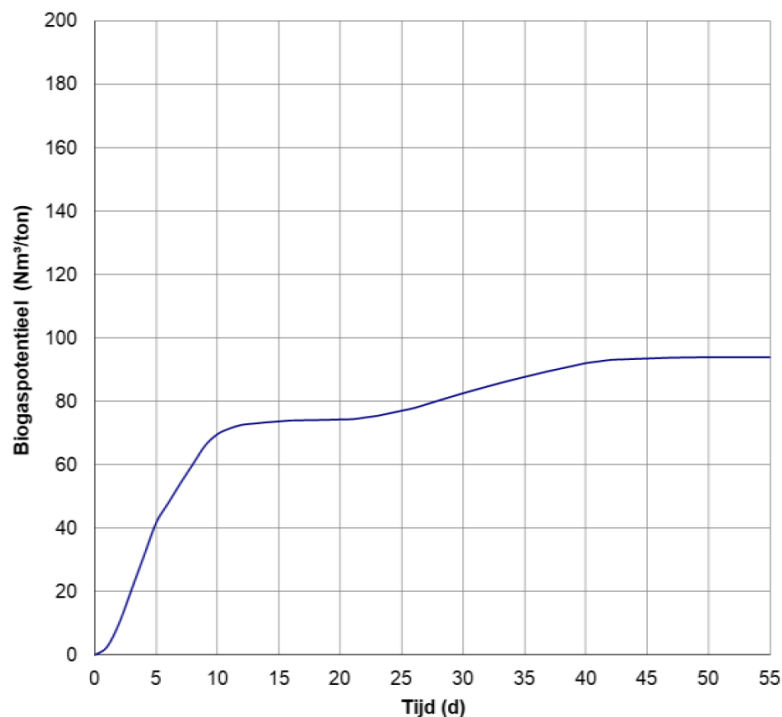
¹ Voor varkensdrijfmest wordt rekening gehouden met een dichtheid van 1,040 ton/m³; voor VeDoWS-mest wordt rekening gehouden met 0,800 ton/m³ (<https://edepot.wur.nl/358252>)

methaangehalte in het gas, weliswaar niet significant (Tabel 1). Opvallend is de grote standaarddeviatie in het biogaspotentieel van de VeDoWS-mest, ondanks dat steeds een gelijkmatige mest beoogd werd. Eénmalig (4 februari) werd wel VeDoWS-mest van zeugen in plaats van vleesvarkens aangeleverd. Het biogaspotentieel van deze dikke fractie van zeugenmest was slechts $69 \pm 4 \text{ m}^3$ biogas/ton. Wanneer dit staal weggelaten wordt uit de analyses is het gemiddeld biogaspotentieel van VeDoWS-mest $111,67 \pm 20,13$, met als hoogste gemeten waarde 138 m^3 biogas/ton. Opvallend is dat het digestaat nog een groot biogaspotentieel bezit, met een gemiddelde waarde van maar liefst $43,60 \pm 5,18 \text{ m}^3$ biogas/ton (Figuur 5). Dit is zelfs significant hoger dan de toegediende varkensdrijfmest en impliceert dat de verblijftijd eigenlijk onvoldoende was.



Figuur 5: Gemiddeld biogaspotentieel doorheen de test

Dit bleek ook uit de BMP-test die werd uitgevoerd van de VeDoWS-mest (Figuur 6). Opvallend is dat de curve na zo'n 10 dagen reeds 70% van het biogas gevormd heeft en daarna afvlakt, alvorens na 25 dagen terug verder te stijgen tot dag 48. Hierna werd geen gasproductie meer waargenomen, waarna op dag 55 de biogassamenstelling is geanalyseerd. Uit deze BMP-test bleek dat dit staal een biogaspotentieel heeft van $93,9 \text{ Nm}^3/\text{ton}$, wat rekening houdende met de meetonzekerheid in lijn ligt met waardes bepaald via de EPI-test.

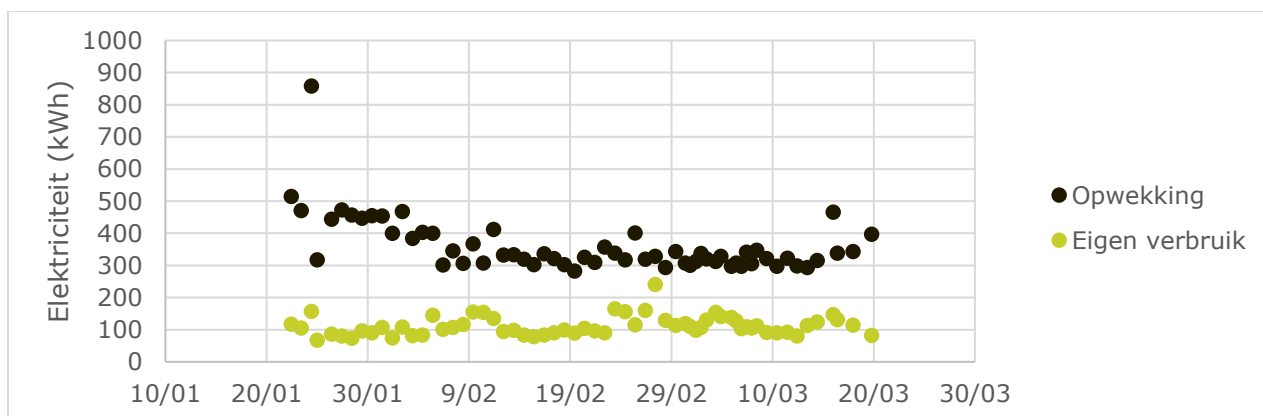


Figuur 6: Biogasproductieverloop van VeDoWS-mest tijdens een BMP-test

Uit deze vaststelling kan besloten worden dat het beter zou zijn om de VeDoWS-mest te mengen met teruggepompt digestaat. Op die manier kan er én meer energie uit de mest gehaald worden met eenzelfde verblijftijd, én kunnen er minder emissies vrijkomen bij de digestaatopslag. Een belangrijke kanttekening hierbij is dat dit zeker nog meer in detail moet onderzocht worden; er kan namelijk verondersteld worden dat dit een opconcentratie van bepaalde nutriënten teweegbrengt wat mogelijks ongunstig kan zijn voor het vergistingsproces.

Een andere vraag die gesteld kan worden is in hoeverre het noodzakelijk is om een erg lange verblijftijd aan te houden. Er blijkt namelijk dat na 10 dagen reeds zo'n 70% van het biogas gevormd is. Er moet m.a.w. gezocht worden naar een economisch optimum: zo veel mogelijk energie produceren in een zo kort mogelijke tijdspanne, met als extra belangrijk aandachtspunt de mogelijk vrijstelling van broeikasgasemissies.

4.5 Elektriciteitsproductie en -verbruik



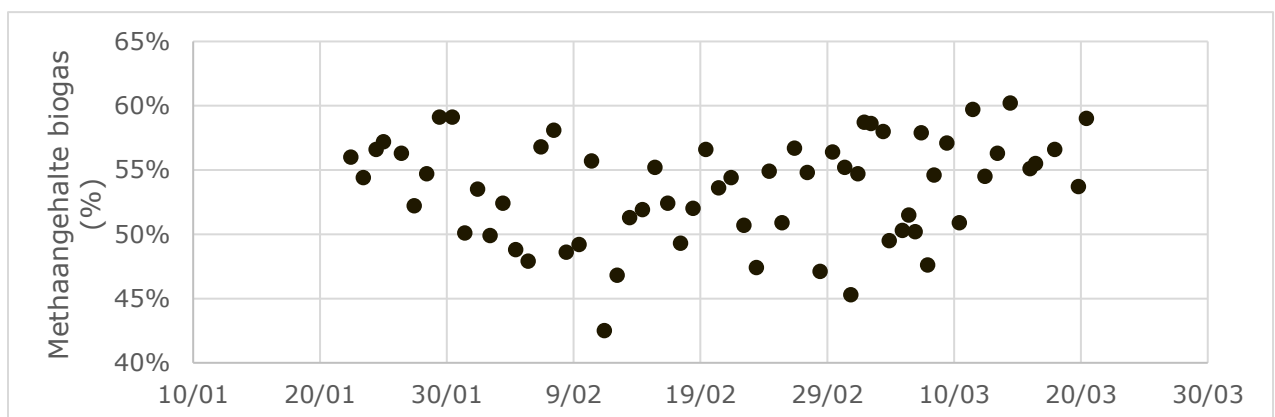
Figuur 7: Dagelijkse opgewekte elektriciteit en het eigen verbruik van de vergister

Gedurende de test was er een gemiddelde gasproductie van 8,4 m³/u en draaide de WKK met een gemiddeld vermogen van 18 kW. Per m³ biogas zou er dus bij 100% efficiëntie circa 2,1 kWh geproduceerd kunnen worden.

Uit de data blijkt dat in de periode van 22/01/2020 tot 20/03/2020 bruto 20.832 kWh elektriciteit werd opgewekt, waarvan 14.352 kWh netto opbrengst was. Rekening houdende met het gemiddeld biogaspotentieel dat nog in het digestaat aanwezig was (43,60 ± 5,18 m³ biogas/ton), is als het ware 13.080 m³ biogas 'verloren' gegaan. Het hanteren van een langere verblijftijd blijkt dus wel van belang te zijn indien een maximale hoeveelheid energie uit het biogas gewonnen wenst te worden. Om 100% van het potentieel van VeDoWS-mest te benutten zou een verblijftijd van 45 dagen nodig zijn zoals uit de BMP-test bleek. Bij een verblijftijd van 30 dagen wordt slechts 88% van het potentieel benut.

Van de 20.832 kWh opwekte elektriciteit werd 31% door de vergister zelf verbruikt. De mixer draaide namelijk vrij veel: om de 20 minuten gedurende gemiddeld 6 minuten. Bovendien werd er telkens na het voeden nog eens extra geroerd. Naast de dagelijkse 72 standaard mixbeurten komen er dus nog 36 (er werd elk uur VeDoWS gevoed en elke 2 uur varkensdrijfmest) mixbeurten bij, wat het totaal op 108 mixbeurten per dag brengt, met een gemiddelde mixbeurt van zo'n 6 minuten. Dagelijks werd er dus maar liefst 10,8 uren gemixt. Aangezien de mixer een gemiddeld vermogen van 10 kW gebruikte om te draaien betekent dit dat er dagelijks ongeveer 108 kWh eigen verbruik was voor het roerwerk. Geëxtrapoleerd naar 60 dagen komt dat neer op een eigen verbruik van 6.480 kWh. Dit is vrij veel en is ook te zien in het grote percentage eigen verbruik van de vergister. Een gerichte menging lijkt echter wel noodzakelijk te zijn om schuimvorming zo veel mogelijk te vermijden. De opzet van deze test was echter niet om zo veel mogelijk netto energie te produceren, maar om het proces zo stabiel mogelijk te laten verlopen.

Bovendien werd opgemerkt dat de kwaliteit van het gas sterk schommelde doorheen de test (Figuur 8). Een eenduidige verklaring hiervoor werd niet gevonden, maar vermoedelijk was dit te wijten aan de toch wel variërende samenstelling van de inputstromen (zie 4.11).



Figuur 8: Methaangehalte van het biogas (%)

Het geproduceerde gas tijdens de BMP-test bevatte 58,0% methaan. Te verwachten is wel dat men in een continu systeem methaangehaltes tussen de 55 en 58 % zal bekomen. In de pilootinstallatie werd echter een gemiddelde methaanconcentratie van 54 ± 4% waargenomen. Dit is iets lager dan verwacht volgens de BMP-test, maar is logisch aangezien de VeDoWS-mest aangelengd werd met varkensdrijfmest. Er werd vastgesteld dat de gaskwaliteit stabiel werd naarmate er dieper geroerd werd. Bovendien was de kwaliteit over het algemeen gezien ook hoger wanneer er geroerd werd dichtbij waar de VeDoWS-mest de vergister in ging ten opzichte van waar de varkensdrijfmest binnenkwam. Goede menging lijkt dus ook naar het behalen van een goede gaskwaliteit toe van belang te zijn.

4.6 Organische reactorbelasting

De organische reactorbelasting is de hoeveelheid organische stof (ODS) gevoed per eenheid van reactorvolume. Over het algemeen wordt gesproken van een lage belasting bij minder 4 kg ODS/(dag.m³) en van een hoge belasting bij meer dan 8 kg ODS/(dag.m³), al zijn dit slechts ruwe richtwaardes en is dit afhankelijk van het type installatie en het type voeding. Bij een (te) lage belasting wordt een deel van het reactorvolume onderbenut, waardoor de investeringskost van de installatie relatief duur uitvalt. Bij een te hoge belasting wordt stress uitgeoefend op de bacteriepopulatie. De procesgevoeligheid stijgt met een stijgende belasting. Schommelingen in organische belasting tot 10 % geven normaal weinig tot geen problemen (Biogas-E, no date).

Het gemiddelde OS-gehalte van VeDoWS-mest was 211,09 ± 9,49 kg/ton mest. Voor varkensdrijfmest was dit 58,50 ± 6,03. Bij een voeding van 3 ton VeDoWS in combinatie met 2 ton varkensdrijfmest en een gevuld volume van 150 m³ is de organische reactorbelasting (ORB) dus als volgt:

$$ORB = \frac{3 \frac{\text{ton}}{\text{dag}} * 211,09 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}}{150 \text{ m}^3} + \frac{2 \frac{\text{ton}}{\text{dag}} * 58,50 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}}{150 \text{ m}^3} = 5,00 \frac{\text{kg OS}}{\text{m}^3 \text{ dag}}$$

Bij het voeden van 2 ton VeDoWS in combinatie met 2 ton varkensdrijfmest is dit als volgt:

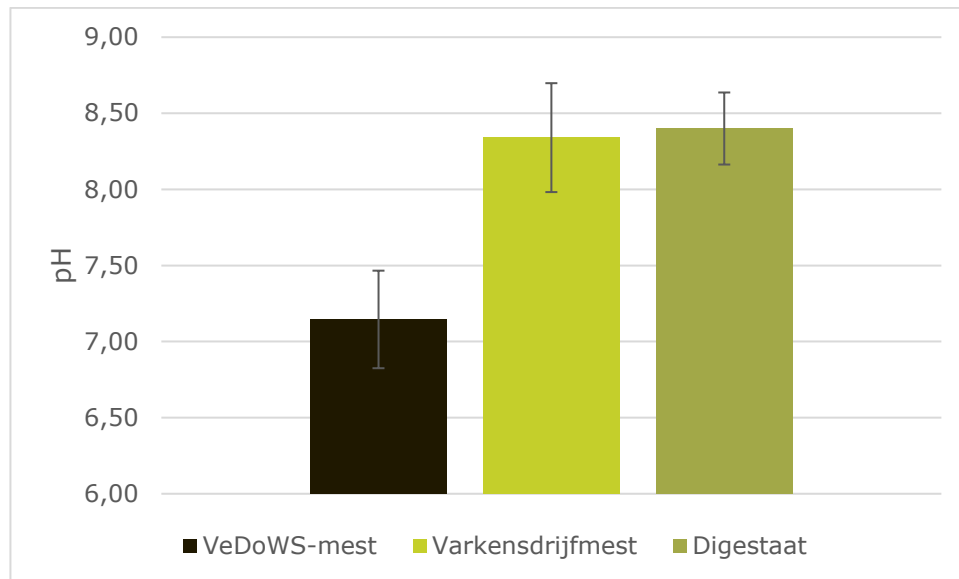
$$ORB = \frac{2 \frac{\text{ton}}{\text{dag}} * 211,09 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}}{150 \text{ m}^3} + \frac{2 \frac{\text{ton}}{\text{dag}} * 58,50 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}}{150 \text{ m}^3} = 3,59 \frac{\text{kg OS}}{\text{m}^3 \text{ dag}}$$

De ORB schommelde dus doorheen de test, wat niet zo ideaal is naar processtabiliteit toe. Desodanks verliep het proces vrij stabiel en was er een gelijkmatige elektriciteitsproductie doorheen de test.

4.7 pH

De optimale pH voor het vergistingsproces ligt tussen de 7,5 en 8,2 voor een eentrapproces. Bij een te hoge belasting van de reactor kunnen vluchtige vetzuren zich opstapelen. Een opstapeling van deze vetzuren zorgt voor verzuring van de reactor. Bij verzuring worden de methanogene bacteriën die instaan voor de omzetting van vluchtige vetzuren tot biogas, geremd en verwerken dus minder vetzuren, wat op zijn beurt opnieuw zorgt voor nog meer opstapeling van vetzuren. Bij een te lage pH komt CO₂ vrij in de reactor. Dit zorgt voor een biogasmengsel met meer CO₂ en dus een lagere kwaliteit. Het gevormde CO₂-gas veroorzaakt daarnaast ongewenste schuimvorming in de reactor. Wanneer dergelijke signalen optreden tijdens het vergistingsproces kan best gekozen worden voor een verlaging van de reactorbelasting, zodat de methanogene bacteriën tijd krijgen om de vluchtige vetzuren te verwerken (Biogas-E, no date).

De pH bleef gedurende de volledige duur van de test vrij constant (Figuur 9). Er was nooit een verzuring van de reactor waarneembaar. Ondanks dat uit 4.6 bleek dat de ORB misschien hoog was bij de start bleef de pH stabiel doorheen de looptijd van de test. De ORB zat dus zeker nog niet op zijn limiet.



Figuur 9: Gemiddelde pH gedurende de test.

Verzuring kan ook gedetecteerd worden met een vetzuuranalyse. De FOS/TAC verhouding wordt gehanteerd als maat voor verzuring van de reactor. Hierbij geeft FOS (= Vluchtige Organische Zuren) een indicatie van de totale vetzuurconcentratie en is TAC (= Totale Anorganische Koolstof) een maat voor de buffercapaciteit. De verhouding tussen beiden is belangrijk en wordt best gehouden tussen 0,3 en 0,4. Een hogere verhouding geeft aan dat zuren zich opstapelen en er te veel gevoed wordt. De voeding verminderen of stoppen met voeden is dan aangewezen. Bij een lagere verhouding mag de voeding worden opgedreven (Biogas-E, no date).

Doorheen de test werd opgemerkt dat de FOS/TAC verhouding van VeDoWS heel wat hoger ligt dan dat van de varkensdrijfmest en het digestaat. Het digestaat heeft een FOS/TAC-verhouding van $0,29 \pm 0,05$, wat zeker een aanvaardbare range is.

4.8 Zwavel

Op 24 januari 2020 werd tijdens een nazicht waargenomen dat de H₂S-sensor defect was. Het gevolg hiervan is dat er geen automatische persluchtinjectie gebeurde waardoor biologische ontzwaveling stilviel. Hierdoor werd er toen ook manueel een zwavelconcentratie van 2000 ppm gemeten. Aangezien deze sensor tegelijk ook het methaangehalte van het gas meet, werd besloten om deze niet onmiddellijk te vervangen. Indien hier wel voor werd geopteerd, konden er gedurende een drietal weken geen gasmetingen gebeuren en was er bijgevolg geen idee van het methaangehalte in het biogas. Uit de BMP-test bleek dat het biogas een zwavelgehalte van 171 ppm onder de vorm van H₂S bevatte, wat een gemiddelde waarde is. Het is onmogelijk om in te schatten wat de H₂S-concentratie in werkelijkheid was in de installatie. Om toch eventuele H₂S-vorming zo goed mogelijk te ondervangen werd elke 20 minuten gedurende 30 seconden perslucht geïnjecteerd. Dit om ongewenste H₂S-vorming toch tegen te kunnen gaan.

4.9 C/N

In tegenstelling tot runderdrijfmest is de C/N-verhouding van varkensmest aan de lage kant, wat een stabiele vergisting bemoeilijkt. Uit Tabel 1 valt wel duidelijk af te leiden dat de C/N-verhouding van VeDoWS-mest heel wat hoger is dan die van varkensdrijfmest ($11,62 \pm 2,04$ ten opzichte van $5,82 \pm 0,23$). Dit komt omdat de stikstof zich vooral in de dunne fractie bevindt en zal er dus mede voor zorgen dat het biogaspotentieel stijgt wanneer enkel de dikke fractie aangewend wordt. Een optimale C/N-

verhouding voor een goed vergistingsproces is echter 25 à 30. Ondanks een lage C/N-verhouding werd hier toch een stabiel vergistingsproces bekomen.

Door het vergistingsproces wordt organisch materiaal in de mest deels afgebroken tot gas. Het digestaat heeft een gemiddelde C/N-verhouding van $6,12 \pm 0,23$. De C/N-verhouding is dus afgenomen ten opzichte van het inputmateriaal. Echter zou deze waarde bij een optimaal vergistingsproces nog lager moeten liggen aangezien C dan nog meer afgebroken wordt en N meer gemineraliseerd is. Deze relatief hoge C/N-verhouding is ook een mogelijke verklaring voor het aanwezige restpotentieel in het digestaat.

4.10 Stikstof, kalium & fosfor

Uit Tabel 1 valt af te leiden dat de hoeveelheid minerale stikstof in het digestaat hoger is dan in het inputmateriaal. Bovendien is de hoeveelheid K en P in het digestaat ongeveer gelijk aan de hoeveelheid K en P van het inputmateriaal. Dit is een logisch gevolg aangezien door vergisting geen nutriënten verloren gaan, maar de stikstof beter beschikbaar is voor gewassen door mineralisatie.

De Totale Ammoniakale Stikstof (TAN) geeft ook een indicatie van hoe het proces loopt. Een teveel aan ammoniakale stikstof in de reactor kan inhibitie van het proces veroorzaken. Ammoniak (NH_3) is de toxische vorm verantwoordelijk voor deze inhibitie. Het evenwicht tussen ammonium en ammoniak in waterig milieu is afhankelijk van temperatuur en pH. Het aandeel ammoniak neemt toe bij hogere temperatuur en hogere pH, waardoor thermofiele systemen meer gevoelig zijn voor N-inhibitie. Voor mesofiele processen wordt een richtwaarde van maximaal 6 kg TAN-N/ton digestaat en voor thermofiele processen een richtwaarde van maximaal 3,5 kg TAN-N/ton digestaat gehanteerd (Biogas-E, no date). Het digestaat had gedurende de test een gemiddelde waarde van $5,72 \pm 0,30$ kg NH_3 -N/ton, wat binnen de aanvaardbare range ligt.

4.11 Ruw vet, ruw eiwit, ruwe celstof, koolhydraten

Het hogere biogaspotentieel van VeDoWS-mest t.o.v. varkensdrijfmest wordt ook geïllustreerd in het verschil van ruw vet, ruw eiwit en koolhydraten (Tabel 1). Vetten, eiwitten en eenvoudige koolhydraten worden namelijk als vlot vergistbaar beschouwd. De vrij grote standaarddeviaties maken het echter moeilijk eenduidige conclusies te trekken. Een mogelijke verklaring voor de schommelende methaaninhoud van het biogas kan te maken hebben met de variërende samenstellingen van de inputmaterialen.

4.12 Schuimvorming

Tijdens de BMP-test werd geen schuimvorming gedetecteerd. Ook in de pilootvergister kon schuim vrij vlot onder controle gehouden worden dankzij een gerichte menging in combinatie met een schuimklopper.

5 Conclusie en toekomstig onderzoek

Na twee verblijftijden monovergisting van varkensmest in de pilootinstallatie van Inagro kan geconcludeerd worden dat het vergisten van varkensmest stabiel lijkt te kunnen gebeuren. Hierbij is het echter belangrijk het proces goed op te volgen en gericht te gaan mengen. Op die manier kan schuimvorming onder controle gehouden worden. Er bleek echter wel dat er nog vrij veel uitgistingspotentieel in het digestaat zit, wat impliceert dat de verblijftijd verlengd dient te worden onder

mesofiele omstandigheden. Dit werd bevestigd in een BMP-test van VeDoWS-mest, waaruit bleek dat slechts na 45 dagen het volledige biogaspotentieel benut was. Echter, na 10 dagen was reeds zo'n 70% van het biogaspotentieel benut, wat erop kan wijzen dat het mogelijk economisch interessanter kan zijn om een kortere verblijftijd te hanteren, of digestaat terug te sturen naar de reactor om zo dit restpotentieel ook te benutten. Echter is verder onderzoek nog vereist om de haalbaarheid hiervan na te gaan.

Het doel van deze test was in de eerste plaats om te kijken of het vergistingsproces van varkensmest stabiel kan verlopen. Wanneer echter vanuit economisch oogpunt gekeken wordt, is het belangrijk te zoeken naar een economisch optimum om zo veel mogelijk energie te produceren in een zo kort mogelijke tijd, met de nodige aandacht om broeikasgasemissies zo veel mogelijk te reduceren. Daarom kan het mogelijk interessant zijn om in vervolgonderzoek het effect van een kortere verblijftijd te testen, specifiek voor VeDoWS-mest. Hierbij dienen alle besproken parameters nauwkeurig opgevolgd te worden én dienen de broeikasgasemissies gemonitord te worden.

Ondanks niet-ideale procesparameters (te lage temperatuur, probleempjes bij afpompen digestaat, schommelende C/N-verhouding), kan algemeen geconcludeerd worden dat monovergisting van varkensmest vergistingstechnisch stabiel te krijgen is binnen de pilootinstallatie van Inagro. Ook de actieve installatie op het varkensbedrijf Akivar bevestigt dit.

6 Referenties

Biogas-E. <https://www.biogas-e.be/kennisenininnovatie/procesvoering>, geraadpleegd op 10/04/2020.

Platteau J., Lambrechts G., Roels K. & Van Bogaert T. (reds.) (2018). Uitdagingen voor de Vlaamse land- en tuinbouw. Landbouwrapport. Departement Landbouw en Visserij, Brussel, 451p..

Vergote, T. L., Vanrolleghem, W. J., Van der Heyden, C., De Dobbelaere, A. E., Buysse, J., Meers, E., & Volcke, E. I. (2019). Model-based analysis of greenhouse gas emission reduction potential through farm-scale digestion. *Biosystems Engineering* 181: 157-172.

Vlaamse Regering (2019). <https://beslissingenvlaamseregering.vlaanderen.be/document-view/5DEE26395084E7000800019A> & <https://beslissingenvlaamseregering.vlaanderen.be/document-view/5DEF6F895084E700080004AA>, geraadpleegd op 13/12/2019.



Bijlage 10: Technische tekening en business case varkens- en preibedrijf

Inleiding

Op basis van realistische aannames en typische eigenschappen van varkens- en preibedrijven werd door Bioelectric een bouwschema en kostprijsberekening uitgewerkt voor de plaatsing van een kleinschalige vergister op dergelijke bedrijven. Hierbij werd in de mate van het mogelijke steeds rekening gehouden met:

- Beschikbaarheid van aanwezige uitrusting op het bedrijf
- Gewenste verblijftijd
- Warmtebehoefte van het bedrijf
- Variatie en onzekerheid van inputstromen
- Duurzaamheid en kostprijs van de materialen
- Onderhoudsvriendelijkheid
- Mogelijkheden tot sturing door de landbouwer

Deze blauwdruk streeft tevens naar standaardisatie om verdere toepassing en ontwikkeling vlot te laten verlopen. Hierbij werd getracht een overzicht te maken van de nodige materialen, werkuren en een inschatting van de kostprijzen hiervan, zowel voor installatie en onderhoud, om op die manier finaal een inschatting van de rendabiliteit te kunnen maken.



Varkensmest

Input parameters



Pipedrive data older then 1 day ' -> Refresh !

DETAILS KLANT:

Bedrijfsnaam: Test boerderij 1 Blauwdruk
Gewenste leverdatum: **1-12-2020**
Datum: 8-9-2020
Type offerte: **Verkoop & Samenwerking**

GRONDSTOF:

<input checked="" type="checkbox"/> Mest - Varkens (Vedows):	*	Schattir	⊖	Meting	
Aantal varkens:	1.500				
Beschikbare mest:	500			ton/jaar	
Beschikbare kwaliteit:	110			m ³ (bio)gas/ton mest	
Beschikbaar biogas:	54.978			m ³ /jaar	
<input checked="" type="checkbox"/> Mest - Varkens (drijfmest)	*	Schattir	⊖	Meting	
Aantal varkens:	1.500				
Beschikbare mest:	1.500			ton/jaar	
Beschikbare kwaliteit:	25			m ³ (bio)gas/ton mest	
Beschikbaar biogas:	37.500				
TOTAAL BIOGAS:	92.478			m³/jaar	

ENERGIE:

Elektrisch:

Verbruik: **110.000** kWh/jaar
Eigen verbruik: **85%**
Aankoopprijs extern: **0,210** €/kWh

Thermisch:

Nuttig gebruik: **Enkel winter**
Max afzet vermogen: **25,0** kW
Waarde: **0,010** €/kWh

EXTRA INVESTERINGEN:

Extra opslag: **0** m³
Extra investering: **25.000** €

OPTIES:

GENERAL:

Elektrisch:
Softstarters op motoren >5kW
3-fase stekker - 32A

Detectoren:
Gas en rook detector (1 per biogas motor)

Gas:
Fakkelt
Gas koeler - standaard in 60kW en 74kW container
*Optie te nemen bij optie extra dakisolatie

ENGINE:

Easy start:
Easy start system* - standaard voor 60 en 74 kW container
*Enkel beschikbaar op WG1605-type biogas motor

Warmte meters:
Warmte meters op geproduceerde & beschikbare warmte

SLURRY:

Verse mest pomp:
Doda pomp 9,2kW (standaard) - Lengte van de pomp: **2.5m**
Doda pomp 15kW - Lengte van de pomp: **1.5m**
No intake pump

Digestaat pomp:
Band pomp (standaard)
Lobben pomp 5kW
Centrifugaalpomp - standaard in 60 en 74kW container

Gravitaire uitloop

Aansluitingen:

PERROT aansluiting aan de zijkant van de container (standaard)
BAUER aansluiting aan de zijkant van de container

Inpompleiding:

Kaaswei inlaat op de inpompleiding (in de container)
Manuele klep op inpompleiding (in de container)

VERGISTER:

Mixer:

Extra mixer 9kW - 30m draad (excl. paal kit)
Extra mixer 15kW - 30m draad (excl. paal kit)

Vaste paal voor extra mixer

In hoogte verstelbare paal voor extra mixer (enkel bij H-type reactor)

Venster:

Extra venster (2de) in de reactor

Schuim:

Anti-schuim injectie pomp
Schuim detector

Trap:

Trap* - standaard voor S6H en S8H silo
Enkel beschikbaar H-type silo

KLIMAAT:

Isolatie:

+2cm wand en vloer isolatie - standaard voor S6H en S8H silo
Dakisolatie reactor - standaard voor S6H en S8H silo

Ventillatie:

Ventilator afdekset + extra rooster
Externe inlaat voor ventilator afdekset

Bescherming:

Extra bescherming tegen vorst (Enkel beschikbaar met optie 'Ventilator afdekset')

Offerte verkoop:



INSTALLATIE:

Silo:	S2	
Standtijd:	33	dagen
Container:	16kW	
Productiviteit:	7.500	draaiuren = Max

DETAILS KLANT:

Bedrijfsnaam:	Test boerderij 1 Blauwdruk
Gewenste leverdatum:	1-12-2020
Datum:	8-9-2020

FINANCIEEL:

VLIF-steun:

Pompsysteem(+elektronica)+piping:	€ 15.350
Mestmixer(+elektronica):	€ 16.155
Opslag:	€ 0
Extra investering:	€ 0
Type investering:	Bestaande boerderij
Steun percentage:	40%
Steun Silo (15%):	€ 7.705
<u>Totaal:</u>	€ 20.307

Investerings:

Container:	€ 80.737	
Silo (incl. plaatsing):	€ 51.368	
Opties:	€ 16.340	
Eerste jaar onderhoud:	Incl.	
Opslag:	€ 0,00	
Extra investering:	€ 25.000	Extra investering: beton,
VLIF-steun:	-€ 20.307	mengput & mixer, injectie-
<u>Totaal:</u>	<u>€ 153.138</u>	meter, netstudie &
		vergunningen

Opbrengst per jaar:

Besparing verbruik:	€ 18.953
Verkoop aan het net:	€ 717
Verkoop GSC's:	€ 9.207
Verkoop WKC's:	€ 9.207
Besparing verwarming:	€ 969
<u>Totaal:</u>	<u>€ 39.052</u>

Kosten per jaar:

Type overeenkomst:	Full Service
Onderhoudscontract:	€ 9.700
Verwacht carbon verbruik:	€ 484
<u>Totaal:</u>	<u>€ 10.184</u>

KERNCIJFERS:

Investerings:	153.138,00 €	
Biogas installatie:	148.445,26 €	
Netto 1ste jaar:	39.051,89 €	
Netto vanaf 2de jaar:	28.868,29 €	
Terugverdientijd:	5,0	jaar
Rendement op 10 jaar (IRR %):	17,3%	
Vermeden CO ₂ uitstoot:	91.562	kg CO _{2,eq} /jaar
CO ₂ reductie:	39%	
km-equivalent auto CO ₂ uitstoot:	759.851	km
Equivalent aantal auto's:	51	auto's

Offerte geldig tot: 7-11-2020

Offerte samenwerking:



INSTALLATIE:

Silo:	S2		
Standtijd:	33	dagen	
Container:	16kW		
Productiviteit:	7.500	draaiuren =	Max

DETAILS KLANT:

Bedrijfsnaam:	Test boerderij 1 Blauwdruk
Gewenste leverdatum:	1-12-2020
Datum:	8-9-2020

FINANCIËLE DETAILS:

Elektrisch:

Verwachte afname vergister:	90.251	kWh
Aankoop elektr. extern nu:	€ 18.953	
Bioelectric Tarief:	€ 0,150	€/kWh
Aankoop elektr. Vergister:	€ 13.538	
Besparing elektriciteit:	€ 5.415	

Thermisch:

Verwachte afname vergister:	96.851	kWh
Besparing verwarming:	€ 969	

Investerings (klant):

Extra investering:	€ 15.000
--------------------	----------

(EUR 25k minus forfait Bioelectric van EUR 10k voor voorbereidende werken)

Totaal:

Eenmalige investeringen:	€ 15.000	
Besparing per jaar:	€ 6.384	
Besparing per maand:	€ 532	
Terugverdientijd:		2,3 jaar

CO₂ besparing:

Vermeden CO ₂ uitstoot:	91.562	kg CO _{2,eq} /jaar
CO ₂ reductie:	39%	
km-equivalent auto CO ₂ uitstoot:	759.851	km
Equivalent aantal auto's:	51	auto's

VERWACHT VAN KLANT:

Bouwklaar maken terrein
Aanleg betonplaat
Bekabeling, leidingwerk en internet tot bij de installatie

Offerte geldig tot: 7-11-2020

Op het bouwschema (zie achteraan) kunnen de voornaamste afmetingen van een biogasinstallatie worden afgelezen, inclusief oppervlakte & dikte van betonplaat, hoogte van reactor, etc. Op de doorsnede van de container (zie achteraan) kunnen de voornaamste componenten van de installatie worden bekeken, inclusief:

- Fakkels voor affakkelen van methaangas, in geval van excessieve gasvorming
- Schuimklopper om schuimvorming in de reactor tegen te gaan
- Gaskoeler om temperatuur van gas te beheersen vooraleer het de motor binnenkomt, zodat deze maximaal vermogen aan elektriciteit kan opwekken
- Modulaire reactor in RVS (roestvast staal) welke in maximaal 3 dagen kan worden opgebouwd
- Elektrische kast met Biotronic© besturingssysteem, welke 24/7 in de installatie op 70-tal punten metingen capteert en het mogelijk maakt de installatie vanop telefoon & computer te sturen

Op basis van de aangeleverde gegevens¹, wordt door Bioelectric een 16 kW motor + S2-reactor vooropgesteld, die voor het typebedrijf van de aannames (1500 vleesvarkensplaatsen en 1500 VeDoWS-vleesvarkensplaatsen) de minimale gewenste verblijftijd van 30 dagen zou moeten mogelijk maken. Verder wordt er geopteerd voor een 4-tal extra opties, om het vergistingsproces te versnellen:

- Fakkels, voor affakkelen van eventuele overaanbod aan gas
- Easy start systeem op basis van max. 2 minuten opstarten op EURO Super 95 en zo de 'nominal current' van een 16kW installatie te verlagen van 250A naar 50A, teneinde tijdens de opstart geen grote druk op het elektrisch circuit te steken
- Extra mixer in de reactor op vooraf bepaalde hoogte, om te verzekeren dat er ten alle tijd een homogeen mengsel in de reactor wordt vergist van VeDoWS en varkensdrijfmest. Uit vergistingstesten binnen Pocket Power bleek dat een goede menging cruciaal is om een maximale energieproductie te bekomen.
- Dakisolatie in de reactor, om warmteverliezen via de reactor te beperken.

• ¹ Bedrijf: 1500 vleesvarkens die huizen in een VeDoWS-systeem en waarvan de mest dus vers verzameld kan worden, en 1500 vleesvarkens waarvan de mest niet primair gescheiden wordt en ook niet dagvers aangeleverd kan worden. Er werd geopteerd om te vertrekken van een mix tussen VeDoWS mest en gewone drijfmest, naar analogie van de vergistingstest die op pilotschaal doorging in de biogasinstallatie van Inagro. De verpompbaarheid van varkensmest daalt namelijk naarmate het drogestofgehalte stijgt. Echter is verder onderzoek over het voeden van varkensmest vereist, aangezien het op langere termijn niet de bedoeling kan zijn om oudere mest (met dus een lager biogaspotentieel) te gaan vergisten.

- Biogaspotentieel¹
 - VeDoWS-mest: 110 m³ biogas/ton mest
 - Varkensdrijfmest: 25 m³ biogas/ton mest
- Beschikbare hoeveelheid mest:
 - VeDoWS: 1/3^{de} ton per varken per jaar¹
 - Varkensdrijfmest: 1 ton per varken per jaar¹
- Elektriciteitsverbruik bedrijf: 110.000 kWh/jaar, met een aankooprij van 0,21 €/kWh¹

In de businesscase werden twee scenario's uitgewerkt, analoog aan de manier waarop Bioelectric zijn installaties momenteel op de markt zet: het samenwerkingsvoorstel (scenario 1) en aankoop (scenario 2).

4.1.1.1.1. Scenario 1: Samenwerkingsvoorstel

In scenario 1 kan de varkenshouder goedkoper elektriciteit aankopen, opgewekt uit eigen mest, gecombineerd met gratis warmte voor de boerderij en verbeterd digestaat, zonder jaarlijkse kosten, noch de investering te maken in de biogas-installatie en (een deel van) de voorbereidende kosten. Hierbij is de mogelijkheid om de installatie aan te kopen na verloop van tijd, wanneer de varkenshouder vertrouwd is met het vergistingsproces en onderhoudswerkzaamheden.

Investerings: Netto investering van EUR 15.000

- Voorbereidende werken t.w.v. EUR 25.000:
 - EUR 7.500 voor beton, kabels en leidingen
 - EUR 7.500 voor een put & mixer van enkele kubieke meters voor voormengen van VeDoWS en varkensdrijfmest, dit zonder rekening te houden dat hiervoor een VLIF steun kan worden aangevraagd
 - EUR 5.000 voor een injectiemeter
 - EUR 5.000 voor een netstudie & vergunningen
- Vergoeding van EUR 10.000 door Bioelectric aan de varkenshouder, één kwartaal na opstart van de installatie ter compensatie van een deel van de voorbereidende kosten

Jaarlijkse opbrengsten / vermeden kosten: EUR 6.384 per jaar (op basis van 7.500 draaiuren per jaar)

- Vermeden elektriciteits-kost t.w.v. EUR 5.415 per jaar op basis van verwachte jaarlijkse afname van 90 MWh aan 15 i.p.v. 21 cent per kWh. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat met een 16kW installatie, 85% van totale elektriciteitsverbruik kan worden afgedekt en enkel tijdens piekmomenten afname zal nodig zijn aan de prijs van 21 cent per kWh.
- Vermeden kost warmte t.w.v. EUR 969 per jaar: volgens berekeningen op basis van bestaande installaties & verwachte temperatuur in Vlaanderen in lijn met het afgelopen 10 jaar gemiddelde, verwacht men na opwarming van de reactor, dat er zo'n 96,9 MWh aan thermische energie beschikbaar zal zijn. Op basis van het historische temperatuur gemiddelde verwacht men dat dit beschikbaar zal zijn van maart t.e.m. november. De waarde van deze is zeer sterk afhankelijk van de opstelling(en) op de boerderij en werd voor deze oefening gewaardeerd aan 1 cent per kWh.

Jaarlijkse kosten: 0 EUR per jaar

- Kosten voor verbruiksgoederen & onderhoud zijn in dit scenario voor de rekening van Bioelectric.

Beneden aan de streep, levert een samenwerkingsvoorstel met een 16 kW installatie ca. EUR 6.384 op (EUR 532 per maand) om hiermee een initiële investering van ca. EUR 15.000 af te betalen.

4.1.1.1.2. Scenario 2: Aankoop

In scenario 2, draagt de varkenshouder de volledige kost van de installatie inclusief onderhoud en verbruiksgoederen van de installatie.

Investerings: Netto investering van EUR 153.138 (exclusief BTW)²

- Biogasininstallatie t.w.v. EUR 148.445, inclusief opties zoals hierboven vermeld en een eerste jaar onderhoud
- Voorbereidende werken t.w.v. EUR 25.000:
 - EUR 7.500 voor beton, kabels en leidingen
 - EUR 7.500 voor een put & mixer van enkele kubieke meters voor voormengen van VeDoWS en varkensdrijfmest, dit zonder rekening te houden dat hiervoor een VLIF steun kan worden aangevraagd
 - EUR 5.000 voor een injectiemeter
 - EUR 5.000 voor een netstudie & vergunningen
- VLIF steun, ingeschat op EUR 20.307

Jaarlijkse opbrengsten / vermeden kosten: EUR 39.052

- EUR 18.953 besparing op elektriciteitsverbruik, op basis van een te verwachten netto afname van 90 MWh per jaar aan EUR 0.21 per kWh
- EUR 717 opbrengst door inleveren van elektriciteit
- EUR 18.414 uit groene stroom & warmte certificaten
- EUR 969 vermeden kost warmte: volgens berekeningen op basis van bestaande installaties & verwachte temperatuur in Vlaanderen in lijn met het afgelopen 10 jaar gemiddelde, verwacht men na opwarming van de reactor, dat er zo'n 969 MWh aan thermische energie beschikbaar zal zijn. Op basis van het historische temperatuur gemiddelde verwacht men dat dit beschikbaar zal zijn van maart t.e.m. november. De waarde van deze is zeer sterk afhankelijk van de opstelling(en) op de boerderij en werd voor deze oefening gewaardeerd aan 1 cent per kWh.

Jaarlijkse kosten: EUR 10.184, bestaande uit twee componenten:

- Onderhoudscontract van EUR 9.700 per jaar. Dit onderhoudscontract garandeert een technisch rendement van 90% op kwartaalbasis.
- Verwacht carbonverbruik ten bedrage van EUR 484 per jaar. Gezien deze sterk afhangt van het zwavelgehalte in het biogas wordt deze apart gefactureerd.

² Een belangrijke opmerking is hierbij dat in dit scenario reeds uitgegaan wordt van een aangepast stalsysteem (VeDoWS-stal in combinatie met gewone varkensdrijfmest). Als de stal nog moet omgebouwd worden, gaat dit uiteraard nog gepaard met een extra kost die nog in rekening gebracht moet worden (zie ook studie stallenbouw).



Deze businesscase illustreert dat deze techniek op in aanmerking komende varkensbedrijven best rendabel kan zijn, op basis van de gebruikte parameters:

	Scenario 1 – Samenwerking	Scenario 2 - Aankoop
Terugverdiëntijd	2,4 jaar	5,0 jaar
Investeringsrendement (10 jaar)³	40,0%	17,3%

Bovenstaande kerncijfers zijn uiteraard zeer case specifiek en een business case dient steeds bedrijf per bedrijf bekeken te worden ten opzichte van o.a. de hoeveelheid en kwaliteit van beschikbare mest en de voorbereidende kosten. Zo werd hierboven rekening gehouden dat het juiste staltype reeds aanwezig is en met aanwezigheid van een na-opslag voor het digestaat, wat niet op alle bedrijf voorhanden is.

³ Internal Rate of Return op 10 jaar: gangbare term om rendement op een investering te meten. Meer informatie op <https://www.investopedia.com/terms/i/irr.asp>



Prei

Input parameters



Pipedrive data older than 1 day ' -> Refresh !

DETAILS KLANT:

Bedrijfsnaam: Test boerderij 2 Blauwdruk
Gewenste leverdatum: **1-12-2020**
Datum: 8-9-2020
Type offerte: **Verkoop & Samenwerking**

GRONDSTOF:

<input checked="" type="checkbox"/> Prei resten:	*	Schattir	o	Meting
Aantal hectare prei:		30		
Aantal ton preiresten per ha:		25		
Beschikbare afvalstroom:		750		ton/jaar
Beschikbare kwaliteit:		46		m ³ (bio)gas/ton mest
Beschikbaar biogas:		34.615		m ³ /jaar
TOTAAL BIOGAS:		34.615		m³/jaar

ENERGIE:

Elektrisch:

Verbruik: **110.000** kWh/jaar
Eigen verbruik: **85%**
Aankoopprijs extern: **0,210** €/kWh

Thermisch:

Nuttig gebruik: **Enkel winter**
Max afzet vermogen: **25,0** kW
Waarde: **0,010** €/kWh

EXTRA INVESTERINGEN:

Extra opslag:	15.000	€
Zandverwijdering & wassen:	32.000	€
Inkuilapparatuur:	2.000	€
Extra investering:	49.000	€

OPTIES:

GENERAL:

Elektrisch:
Softstarters op motoren >5kW
3-fase stekker - 32A

Detectoren:
Gas en rook detector (1 per biogas motor)

Gas:
Fakkel
Gas koeler - standaard in 60kW en 74kW container
*Optie te nemen bij optie extra dakisolatie

ENGINE:

Easy start:
Easy start system* - standaard voor 60 en 74 kW container
*Enkel beschikbaar op WGI605-type biogas motor

Warmte meters:
Warmte meters op geproduceerde & beschikbare warmte

SLURRY:

Verse mest pomp:
Doda pump 9,2kW (standaard) - Lengte van de pomp: **2.5m**
Doda pump 15kW - Lengte van de pomp: **1.5m**
No intake pump

Digestaat pomp:
Band pomp (standaard)
Lobben pomp 5kW
Centrifugaalpomp - standaard in 60 en 74kW container
Gravitaire uitloop

Aansluitingen:
PERROT aansluiting aan de zijkant van de container (standaard)

BAUER aansluiting aan de zijkant van de container

Inpopleiding:

Kaaswei inlaat op de inpopleiding (in de container)
Manuele klep op inpopleiding (in de container)

VERGISTER:

Mixer:

Extra mixer 9kW - 30m draad (excl. paal kit)
Extra mixer 15kW - 30m draad (excl. paal kit)

Vaste paal voor extra mixer

In hoogte verstelbare paal voor extra mixer (enkel bij H-type reactor)

Venster:

Extra venster (2de) in de reactor

Schuim:

Anti-schuim injectie pomp
Schuim detector

Trap:

Trap* - standaard voor S6H en S8H silo
*Enkel beschikbaar H-type silo

KLIMAAT:

Isolatie:

+2cm wand en vloer isolatie - standaard voor S6H en S8H silo
Dakisolatie reactor - standaard voor S6H en S8H silo

Ventillatie:

Ventilator afdekset + extra rooster
Externe inlaat voor ventilator afdekset

Bescherming:

Extra bescherming tegen vorst (Enkel beschikbaar met optie 'Ventilator afdekset')

Offerte verkoop:



INSTALLATIE:

Silo:	S2	
Standtijd:	86	dagen
Container:	11kW	
Productiviteit:	5.092	draaiuren = 58%

DETAILS KLANT:

Bedrijfsnaam:	Test boerderij 2 Blauwdruk
Gewenste leverdatum:	1-12-2020
Datum:	8-9-2020

FINANCIEEL:

VLIF-steun:

Pompsysteem(+elektronica)+piping:	€ 15.350
Mestmixer(+elektronica):	€ 16.155
Extra investering:	€ 49.000
Type investering:	Bestaande boerderij
Steun percentage:	40%
Steun Silo (15%):	€ 7.705
Totaal:	€ 39.907

Investeringen:

Container:	€ 75.789
Silo (incl. plaatsing):	€ 51.368
Opties:	€ 14.840
Eerste jaar onderhoud:	Incl.
Extra investering:	€ 49.000
Injectiemeter:	€ 5.000
Netstudie & vergunning:	€ 5.000
Beton:	€ 4.991
VLIF-steun:	-€ 39.907
Totaal:	€ 166.082

Opbrengst per jaar:

Besparing verbruik:	€ 8.468
Verkoop aan het net:	€ 320
Verkoop GSC's:	€ 4.167
Verkoop WKC's:	€ 4.167
Besparing verwarming:	€ 432
Totaal:	€ 17.555

Kosten per jaar:

Type overeenkomst:	Full Service
Onderhoudscontract:	€ 9.000
Verwacht carbon verbruik:	€ 322
Totaal:	€ 9.322

KERNCIJFERS:

Investeringen:	166.082 €	
Biogas installatie:	141.998 €	
Netto 1ste jaar:	17.555 €	
Netto vanaf 2de jaar:	8.232 €	
Terugverdientijd:	19,0	jaar
Rendement op 15 jaar (IRR %):	-0,9%	
Vermeden CO ₂ uitstoot:	36.143	kg CO _{2,eq} /jaar
CO ₂ reductie:	42%	
km-equivalent auto CO ₂ uitstoot:	299.943	km
Equivalent aantal auto's:	20	auto's

Offerte geldig tot: 7-11-2020



Op het bouwschema (zie achteraan) kunnen voornaamste afmetingen van een biogasinstallatie worden afgelezen, inclusief oppervlakte & dikte van betonplaat, hoogte van reactor, etc. Op de doorsnede van de container (zie achteraan) kunnen de voornaamste componenten van de installatie worden bekeken, inclusief:

- Fakkels voor affakkelen van methaangas, in geval van excessieve gasvorming
- Schuimklopper om schuimvorming in de reactor tegen te gaan
- Gaskoeler om temperatuur van gas te beheersen vooraleer het de motor binnenkomt, zodat deze maximaal vermogen aan elektriciteit kan opwekken
- Modulaire reactor in RVS (roestvast staal) welke in maximaal 3 dagen kan worden opgebouwd
- Elektrische kast met Biotronic© besturingssysteem, welke 24/7 in de installatie op 70-tal punten metingen capteert en het mogelijk maakt de installatie vanop telefoon & computer te sturen

Hierbij valt op te merken dat hoewel de installatie een kleiner vermogen heeft (11kW t.o.v. 16kW) dan de installatie hierboven beschreven voor vergisten van varkensmest, dat de standtijd tot 86 dagen kan oplopen. Dit gezien een S2-reactor met volume van 176 m³ de kleinste maat is in het gamma die wordt aangeboden door Bioelectric. In de businesscase worden volgende investeringen, kosten en opbrengsten in rekening gebracht:

Investeringskosten: EUR 166.082

- Biogas installatie t.w.v. EUR 142.000, inclusief opties hierboven vermeld en een eerste jaar onderhoud
- Voorbereidende werken t.w.v. EUR 64.000⁴:
 - EUR 32.000 voor verkleining en wassen
 - EUR 2.000 voor inkuilapparatuur
 - EUR 15.000 voor extra digestaatopslag
 - EUR 5.000 voor injectiemeter
 - EUR 5.000 voor netstudie & vergunningen
 - EUR 5.000 voor beton en leidingen
- VLIJF steun, ingeschat op EUR 39.907

Jaarlijkse opbrengsten / vermeden kosten: EUR 17.555

- EUR 8.468 besparing op elektriciteitsverbruik, op basis van een te verwachte netto afname van 87 MWh per jaar aan EUR 0.21 per kWh
- EUR 320 opbrengst door inleveren van elektriciteit
- EUR 8.335 uit groene stroom & warmte certificaten⁵
- EUR 432 vermeden kost warmte: volgens berekeningen op basis van bestaande installaties & verwachte temperatuur in Vlaanderen in lijn met het afgelopen 10 jaar gemiddelde, verwacht men na opwarming van de reactor, dat er zo'n 100 MWh aan thermische energie beschikbaar zal zijn. Op basis van het historische temperatuur gemiddelde verwacht men dat dit beschikbaar zal zijn van maart t.e.m. november. De waarde van deze is zeer sterk afhankelijk van de opstelling(en) op de boerderij en werd voor deze oefening gewaardeerd aan 1 cent per kWh.

⁴ Inschatting prijzen op basis van offertes of eerder onderzoekswerk binnen Pocket Power

⁵ Hierbij wordt er gerekend met EUR 74.4 per MWh voor groenestroomcertificaten en EUR 31.3 per MWh voor warmtekrachtcertificaten



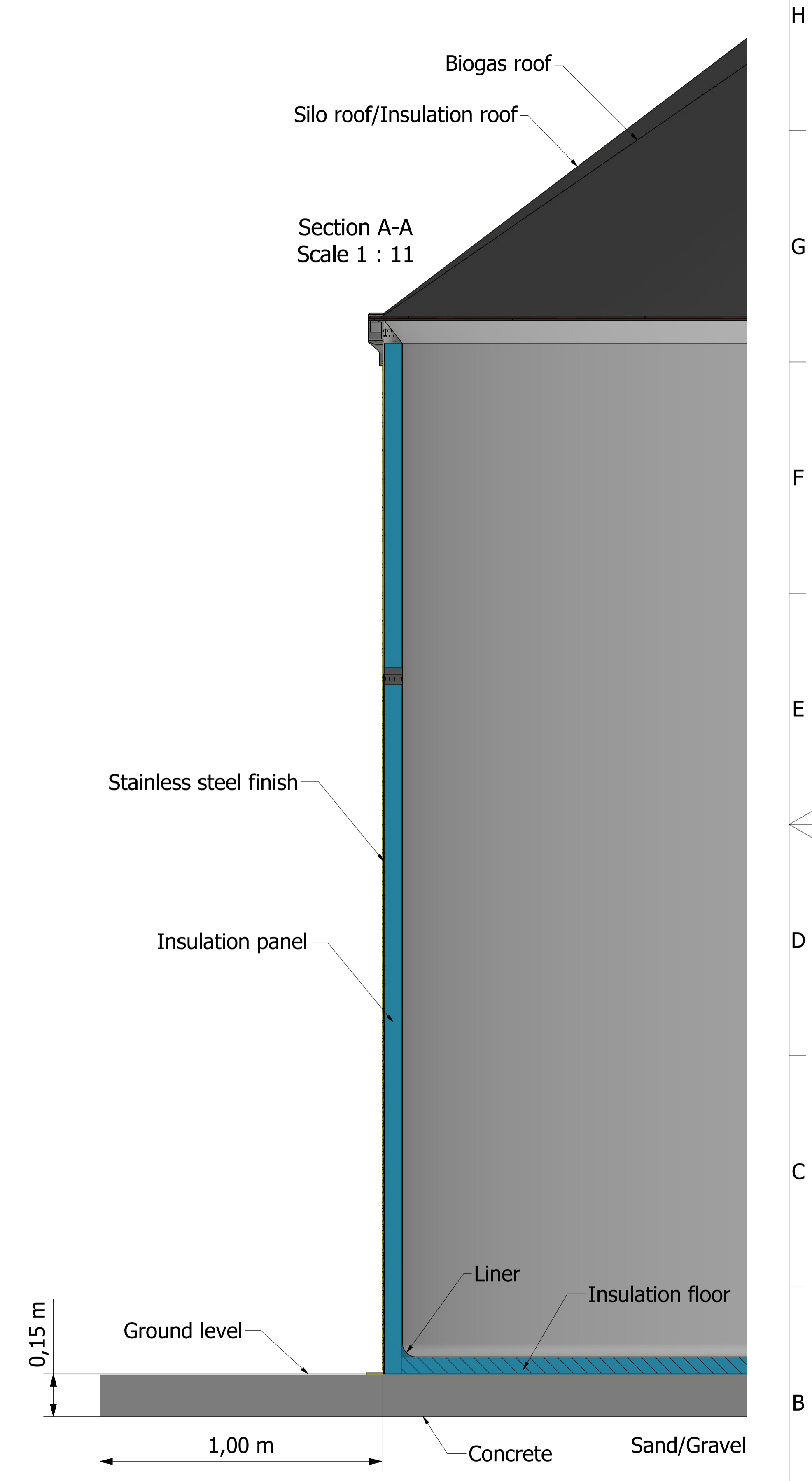
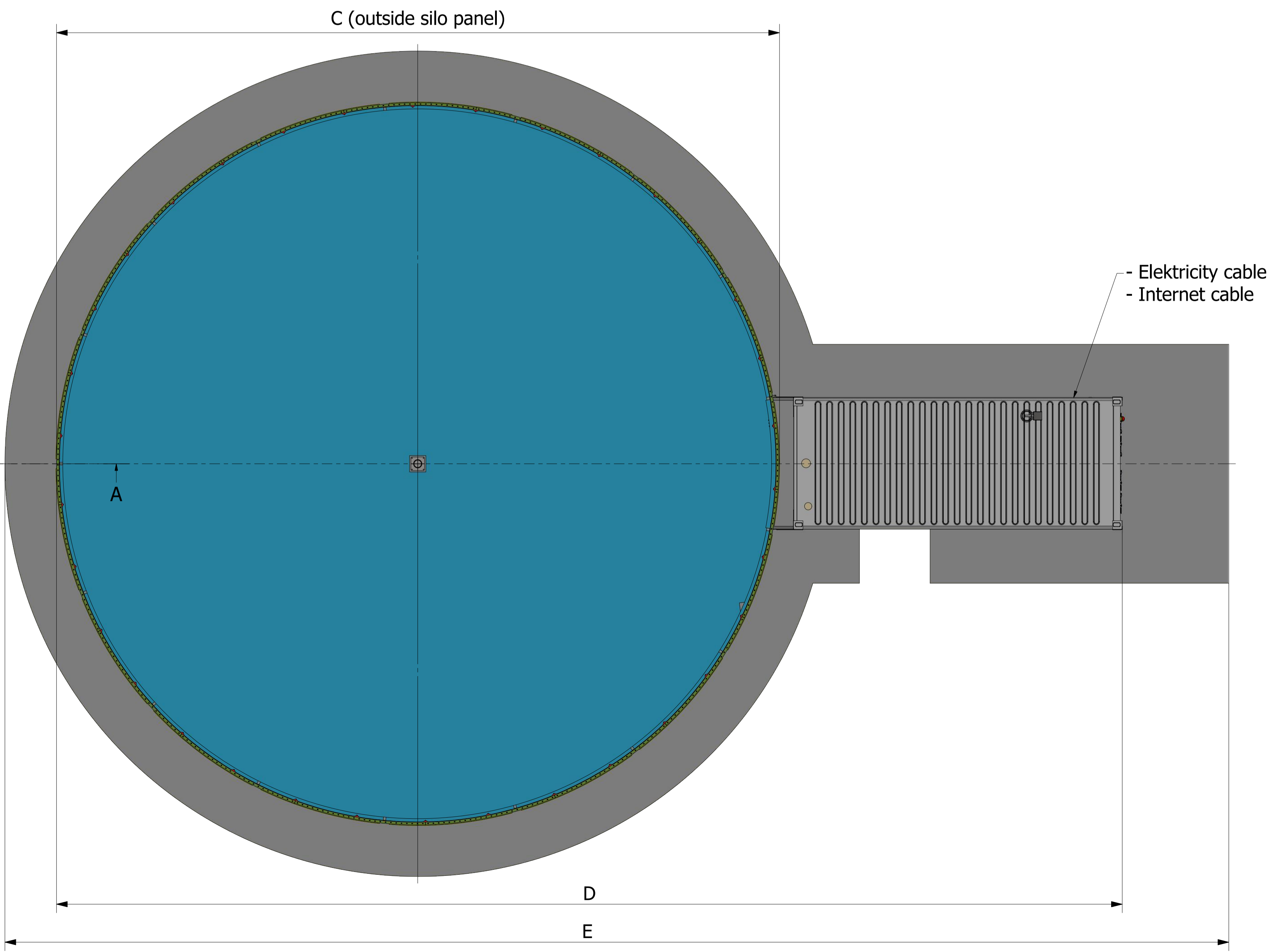
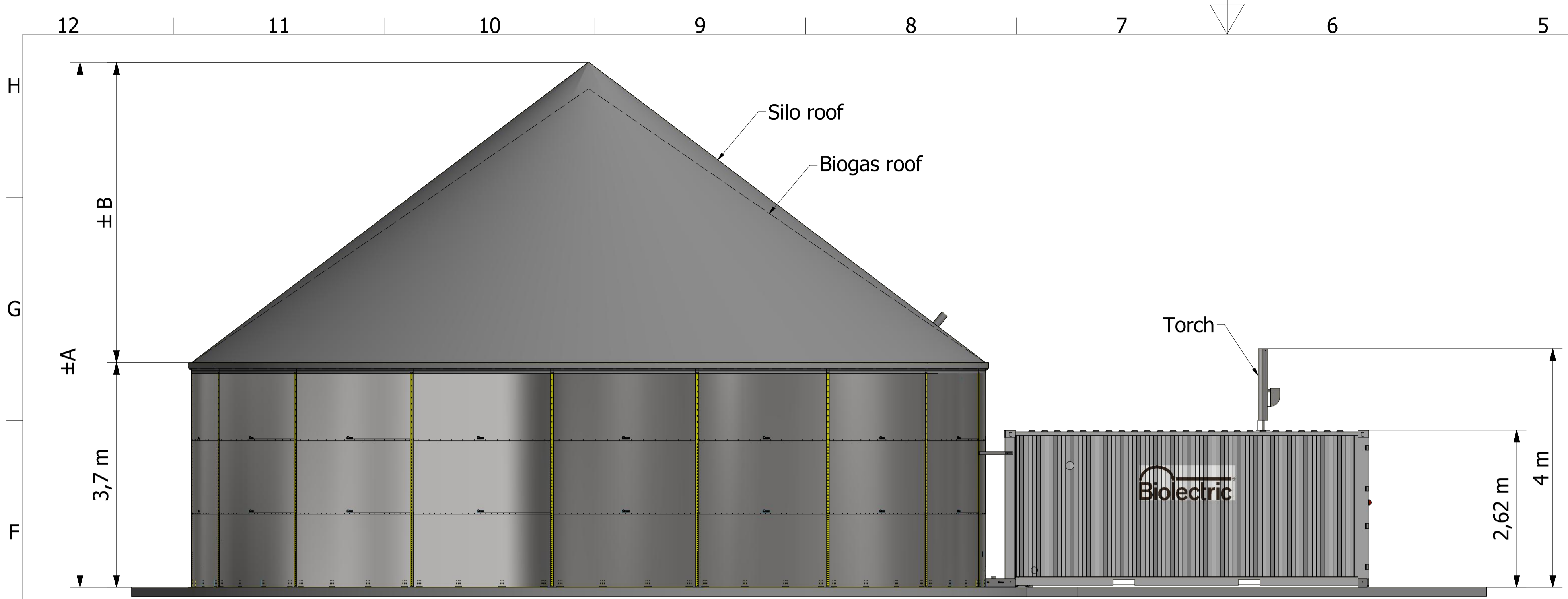
Jaarlijkse kosten: EUR 9.322, bestaande uit twee componenten:

- Onderhoudscontract van EUR 9.000 per jaar. Dit onderhoudscontract garandeert een technisch rendement van 90% op kwartaalbasis.
- Verwacht carbonverbruik ten bedrage van EUR 322 per jaar. Gezien deze sterk afhangt van het zwavelgehalte in de mest wordt deze apart gefactureerd.

Deze businesscase illustreert dat mono-vergisting van groenteresten zoals bv. op een preibedrijf wellicht nog niet voor morgen is. M.b.v. de in deze doorrekening gebruikte aannames is er namelijk een terugverdientijd van maar liefst 19 jaar. Al dienen er wel enkele nuances hierbij gemaakt te worden: extra investeringen zullen ongetwijfeld nodig zijn – meer dan op varkensbedrijven – maar dit zal heel sterk bedrijfsspecifiek zijn.



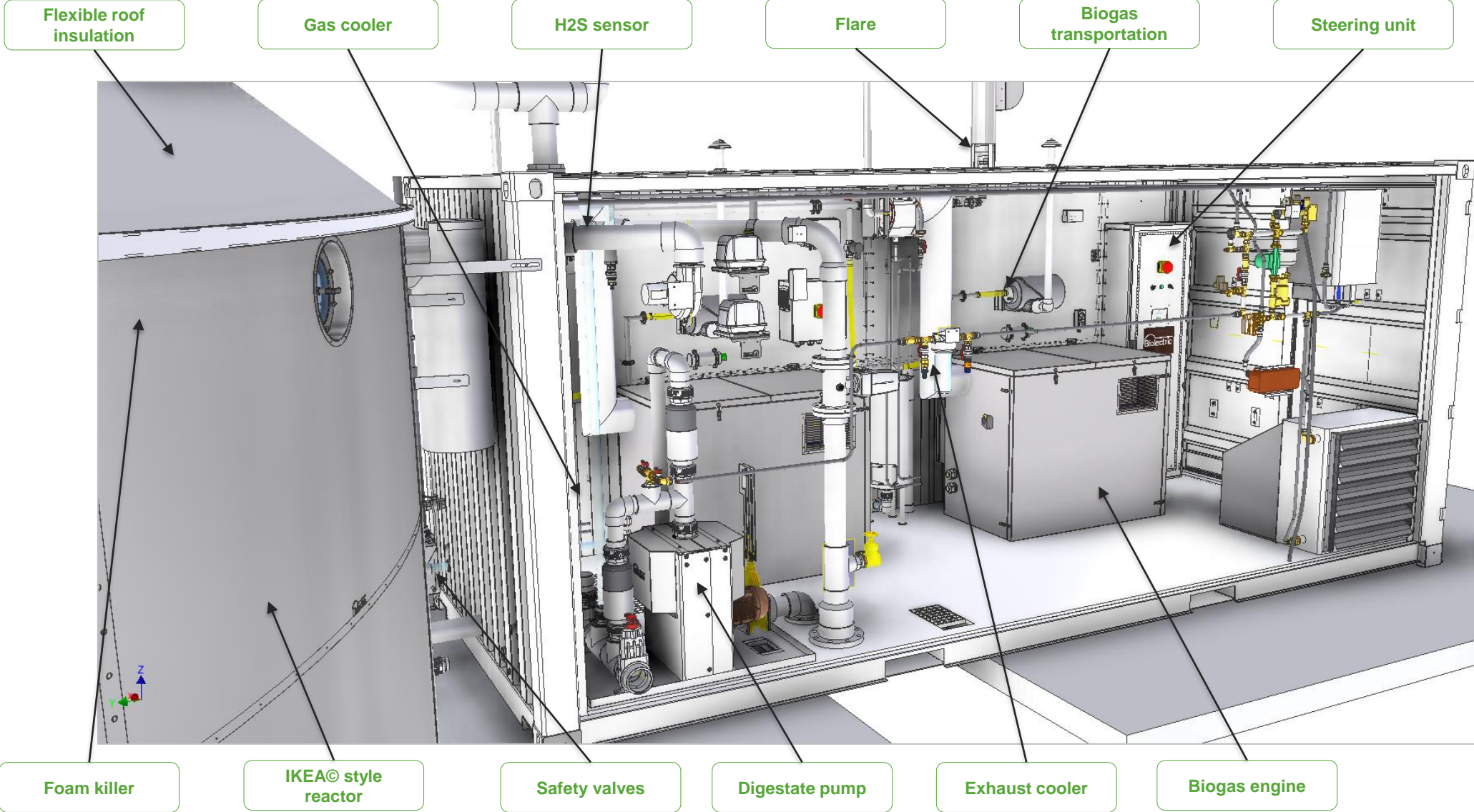
Technische tekeningen



-	S2	S3	S4
A	8,3 m	8,7 m	8,7 m
B	4,5 m	5 m	5 m
C	10,9 m	13,2 m	15,6 m
D	17,2 m	19,6 m	21,9 m
E	20,2 m	22,5 m	24,9 m

Naam Cristian Ojeda	Formaat A1	Materiaal	Gewicht	Schaal 1 : 50	Date 18/03/2020	
Bioelectric Temse - Belgium www.Bioelectric.Be +32 (0) 3 689 29 28		REACTOR S2-S3-S4		Edite A	Pag. 1 / 1	

Overzicht huidige installatie





Bijlage 11: Literatuurstudie vergisting preiresten

Vergisting preiresten

Potentieel en toekomstperspectieven

Sander Vandendriessche

Pocket Power

WP4, T4.4: Aanpak vergistingstechnische aspecten

Inhoudsopgave

Inhoud

Inhoudsopgave	1
Lijst van afbeeldingen	2
Lijst van tabellen.....	2
1 Inleiding	3
2 Doelstelling.....	5
3 Samenstelling inputstroom.....	6
3.1 Belangrijke vergistingstechnische parameters	6
3.2 Samenstelling prei	6
4 Voorbehandeling.....	8
5 Methaanproductiepotentieel.....	9
6 Conclusie.....	10
7 Referenties	11

Lijst van afbeeldingen

Figuur 1: Wereldwijde preiproductie, uitgedrukt in tonnages (linkerschaal) en oppervlakte (rechterschaal) (Hanci et al., 2018)	3
Figuur 2: Preiresten (2014)	4
Figuur 3: Gerealiseerd en resterend productiepotentieel (Tessens, 2018)	5

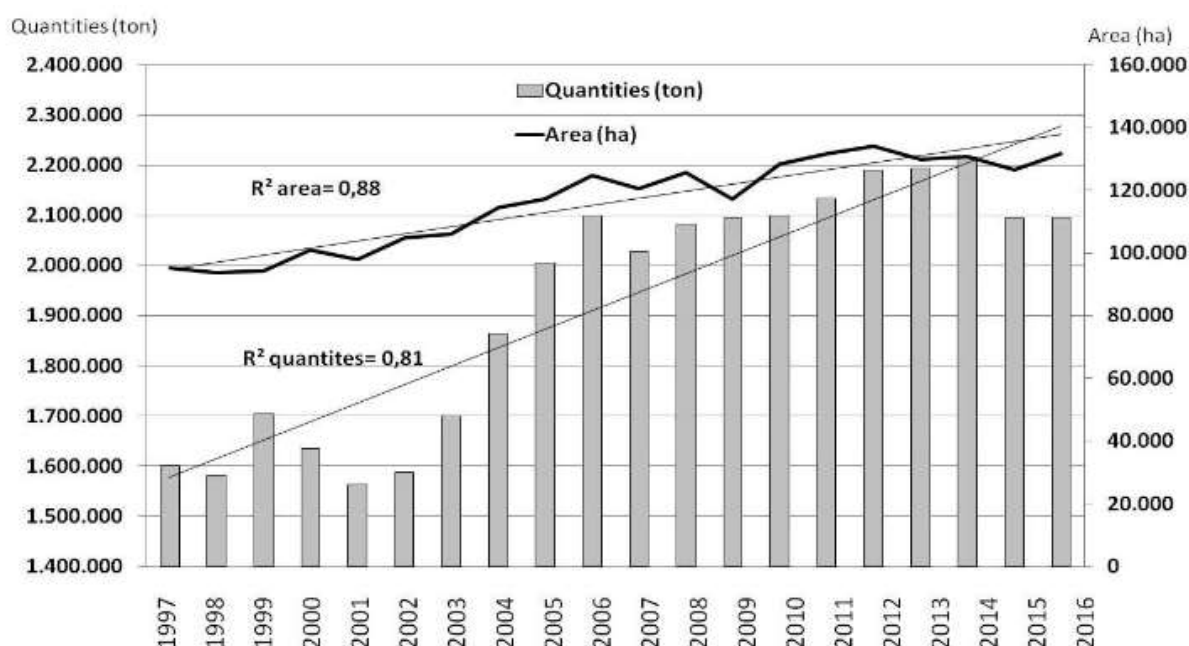
Lijst van tabellen

Tabel 1: Analyse van preiresten zonder voorafgaande behandeling	7
Tabel 2: Wijzigingen in de preisamenstelling na verschillende voorbehandelingsstappen (De Dobbelaere et al., 2015)	9

1 Inleiding

Op heel wat landbouwbedrijven zijn er gewasresten beschikbaar. Deze vaak stikstofrijke nevenstromen vormen een verhoogd risico voor stikstofverliezen en broeikasgasemissies. Vooral na oogst in de herfst zijn gewasresten die achterblijven op het veld een grote bron van nitraatuitloging. Dit komt omdat biomassa met een hoge stikstofinhoud en een lage C/N-verhouding achter blijft. Bovendien is de mate van stikstofmineralisatie en de nitrificatiesnelheid nog relatief hoog in de herfst. Door deze redenen is het aangewezen om dergelijke gewasresten te verwijderen. Hergebruik van deze stromen kan mogelijk een bijdrage leveren tot het sluiten van nutriëntenkringlopen. Echter is dit uitdagend wegens hun snelle afbraak, waardoor bewerkingsstappen (zoals bijvoorbeeld inkuilen, composteren of vergisten) vereist zijn. Het product dat overblijft na deze bewerkingsstappen kan vaak gebruikt worden als organische meststof of bodemverbeteraar waardoor nutriëntenkringlopen gesloten worden (Viaene, Agneessens et al., 2017).

Prei (*Allium ampeloprasum* var. *Porrum*) vormt een belangrijke bron van oogstresten. Volgens een marktonderzoek van Hanci, Pinar et al. (2018) is de wereldwijde productie van prei sinds de millenniumwisseling sterk gestegen tot 2.100.000 ton in 2016. De teelt is vooral efficiënter geworden aangezien de productie sneller steeg dan de oppervlakte waarop prei geteeld wordt (Figuur 1).



Figuur 1: Wereldwijde preiproduktie, uitgedrukt in tonnages (linkerschaal) en oppervlakte (rechtterschaal) (Hanci et al., 2018)

De preiteelt is in België niet weg te denken in de landbouwsector. België zou volgens diezelfde studie van Hanci et al. (2018) de grootste exporteur ter wereld zijn. In 2016 werd er volgens het Belgisch statistiekbureau 2 743,26 ha prei geteeld in Vlaanderen, waarvan 1 677,06 ha bestemd voor de versmarkt en 1 066,2 bestemd voor de industrie (Tessens, 2018). In Vlaanderen staat prei in voor 25,5% van het totaal groentearaal in openlucht voor vers gebruik. Voor industriële

verwerking is dit cijfer 4,9% (Platteau, Lambrechts et al., 2018). Dit maakt prei één van de belangrijkste vollegrondsgroenten in Vlaanderen.

Prei bestemd voor de industrie wordt op het veld bij de wortel afgesneden en van het groen ontdaan. Bij prei bestemd voor de versmarkt wordt het groen vaak niet afgesneden op het veld, maar op een speciaal hiervoor ingerichte verwerkingseenheid op of naast het bedrijf. Vaak wordt dit nadien terug op het veld gebracht. Bij preiproduktie gaat dus een groot deel van de biomassa verloren (Bernaert, 2013). Deze oogstresten bedragen ongeveer 10 ton/ha bij prei bestemd voor de versmarkt en 20-30 ton/ha bij prei bestemd voor de industrie. Geëxtrapoleerd op de totale hoeveelheid oogstresten op jaarbasis komt dit dus overeen met 16 670,60 ton bij prei voor de versmarkt en 26 655,00 ton bij prei voor de industrie (Tessens, 2018). Ook het groen van de prei dat uiteindelijk bij de consument terecht komt, wordt tegenwoordig in de keuken nauwelijks verwerkt. Volgens Platteau et al. (2018) is 29% van de voedselverliezen in de tuinbouw afkomstig van prei bestemd voor de versmarkt.

Deze preireststromen (Figuur 2) kunnen enkele nadelige gevolgen hebben. Denk hierbij aan verzuring, nutriëntenuitspoeling en gasvormige nutriëntenv verliezen zoals methaan, lachgas en ammoniak. Tevens wordt de overlevingskans van preipathogenen verhoogd wanneer deze resten niet aangepakt worden (ILVO, 2014).

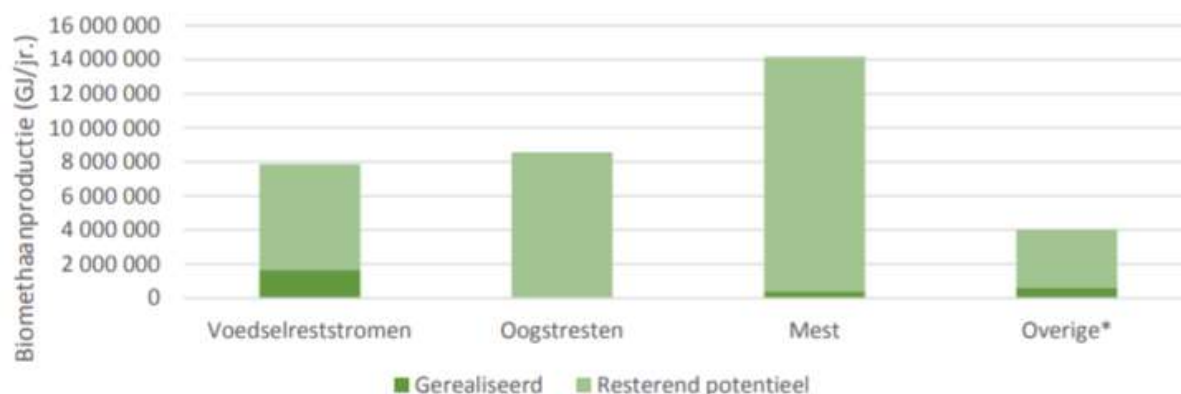


Figuur 2: Preiresten (2014)

Deze potentiële problemen kunnen mogelijk aangepakt worden door dergelijke reststromen te gaan valoriseren. Echter zijn toepassingen in voeding of veevoeder tot dusver beperkt. Nochtans wees onderzoek uit dat de groene bladeren een bron zijn van antioxidanten, welke de gezondheid positief beïnvloeden (Verstraete, 2013). Een andere optie is om deze oogstresten te gaan valoriseren als bio-energie, door ze onder gecontroleerde omstandigheden in een vergistingsinstallatie te brengen. Door gebruik te maken van een kleinschalige vergister zou de milieubelasting van achtergebleven preiresten verlaagd kunnen worden en kan tevens energie geproduceerd worden die omwille van de kleinschaligheid nuttig op het bedrijf kan aangewend worden.

2 Doelstelling

De teelt van gewassen moet meer en meer bekeken worden als de teelt van dubbeldoelsoorten: soorten die zowel een voedingswaarde hebben als het potentieel om energetisch gevaloriseerd te worden (Tessens, 2018). Er zijn reeds verschillende onderzoeken gevoerd naar de toepassing van oogstresten in de biogassector, maar met uitzondering van een uienstielbedrijf dat uienresten vergist, wordt dit vooralsnog niet toegepast in Vlaanderen. Een snelle toevoer van de oogstresten is belangrijk aangezien deze snel kunnen rotten. Bovendien verloopt het vrijkomen van oogstresten in pieken waardoor voldoende opslagcapaciteit gewenst is. Het oogsten van deze reststromen is tevens niet evident waardoor extra inspanningen van de landbouwer vereist zijn. Daarnaast kunnen de oogstresten ook vervuild zijn met bijvoorbeeld zand, wat zich mogelijk kan ophopen in de vergistingstank en zo de werking kan verstoren. Deze samenloop van zaken bemoeilijkt de valorisatie van reststromen in de biogassector. Nochtans is er heel wat potentieel om deze stromen – net als mest, voedselreststromen of overige stromen – te gaan vergisten (Figuur 3).



Figuur 3: Gerealiseerd en resterend productiepotentieel (Tessens, 2018)

Een lokaal netwerk van kleinschalige vergistingsinstallaties kan een oplossing zijn om het transport van de oogstresten te beperken, waardoor een snelle verwerking mogelijk is.

In deze literatuurstudie worden de mogelijkheden met betrekking tot vergisting van preiresten beschreven. Het vergistingspotentieel van een welbepaald inputmateriaal hangt af van zowel de samenstelling van het inputmateriaal als vergistingstechnische zaken.

In een eerste fase zal daarom de samenstelling van de preiresten worden nagegaan. Dit is noodzakelijk om te onderzoeken of er mogelijke problemen tijdens de vergisting zouden kunnen optreden. Hierbij is het van belang voldoende aandacht te besteden aan kritieke parameters die het methaanproductiepotentieel kunnen beïnvloeden (zoals bijvoorbeeld het energiegehalte, C/N-ratio, DS-gehalte ...). Tevens wordt onderzocht welke parameters de methaanopbrengst zullen gaan beïnvloeden en hoe geanticipeerd kan worden op mogelijke problemen, zoals bijvoorbeeld de versheid van het materiaal of onzuiverheden zoals zand. Uiteindelijk is het voornaamste doel om enkele vergistingstechnische parameters te gaan definiëren die tot het grootste biogaspotentieel voor preiresten kunnen leiden, zowel qua constructie als qua processturing.

3 Samenstelling inputstroom

3.1 Belangrijke vergistingstechnische parameters

De fysische en chemische samenstelling van het organisch afval zijn belangrijke informatie voor het ontwerpen en het uitbaten van een vergistingsinstallatie, aangezien dit mee de biogasproductie en de processtabiliteit bepaalt. Belangrijke parameters zijn o.a. het DS-gehalte, de nutriënteninhoud, de C/N-verhouding, de partikelgrootte en de biodegradeerbaarheid. Deze laatste parameter wordt bepaald door de biogasopbrengst en het percentage aan vaste deeltjes die omgezet worden gedurende het proces (Zhang, El-Mashad et al., 2007).

Algemeen wordt aangenomen dat eenvoudige koolhydraten (zoals zetmeel en suikers) zeer goed vergistbaar zijn. Ook vetten en eiwitten zijn vlot vergistbaar. Complexe koolhydraten (zoals vezelrijke gewassen) worden als moeilijker vergistbaar beschouwd en complexe polymeren (zoals lignine in houtachtig afval) worden zelfs als niet vergistbaar beschouwd (Biogas-E, 2006). Het DS-gehalte is belangrijk omdat te veel water leidt tot een lager biogaspotentieel. Het is dus m.a.w. van belang om het materiaal zo droog mogelijk naar de vergister te kunnen brengen. Echter is een belangrijke kanttekening hierbij dat de materie nog steeds voldoende verpompbaar moet zijn om verstoppingsproblemen te voorkomen.

Tanimu, Ghazi et al. (2014) stelden dat een stijging in de C/N-ratio over het algemeen leidt tot een hogere biogasopbrengst. Bij een hogere ratio is er namelijk een meer stabiele pH en betere methanogene activiteit, te wijten aan een beter bufferend effect. Aangezien de microbiële populatie in een vergistingsproces 25 tot 30 keer sneller koolstof dan stikstof verbruikt, bedraagt optimale C/N-ratio 25-30. Een te lage C/N-ratio kan resulteren in een grote hoeveelheid van totaal ammoniakale stikstof en vluchtige vetzuren. Opstapeling van deze intermediären kan leiden tot verminderde methanogene activiteit en uiteindelijk zelfs tot een totale stopzetting van het proces.

Klimiuk, Pokój et al. (2010) onderzochten de biogasproductiviteit van plantaardige gewassen zonder toevoeging van mest of andere cosubstraten. Er bleek dat de omzetting van cellulose en hemicellulose afhankelijk is van de ratio polysacharide t.o.v. lignine. Hoe meer lignine er in de plantbiomassa zit, hoe slechter de methaanopbrengst. Bij grote hoeveelheden lignine dient een langere verblijftijd aangehouden te worden. Specifiek voor dit onderzoek werd waargenomen dat er voor bijvoorbeeld *Miscanthus* een verblijftijd van meer dan 60 dagen vereist is, indien er geen specifieke voorbehandeling plaatsvindt.

Als oogstresten vergist worden, gebeurt dit over het algemeen als cosubstraat met dierlijke mest en/of andere producten. Meestal dienen deze voorbehandeld te worden. Dit kunnen simpele mechanische partikelgrootte-reducties zijn of meer complexe handelingen die de lignocellulose moleculen kunnen afbreken zodat het beter toegankelijk is voor micro-organismen. Er wordt aangenomen dat een partikelgrootte van 1 cm leidt tot goede vergisting en goede menging met andere substraten (Wellinger, Murphy et al., 2013).

3.2 Samenstelling prei

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** worden enkele analyseresultaten van prei(resten) weergegeven. Grote verschillen in de samenstelling kunnen verklaard worden doordat de prei in verschillende seizoenen en op verschillende locaties geoogst is. Hieruit kan afgeleid worden dat

preiresten wellicht niet optimaal te vergisten zijn door de lage C/N-verhouding en hoge zandfractie.

Tabel 1: Analyse van preiresten zonder voorafgaande behandeling

	(De Dobbelaere, Vervisch et al., 2015)	(de Ruijter, Huijsmans et al., 2010)	(Koca & Tasci, 2016)	(Viaene, 2016)	(Hidalgo & Martín-Marroquín, 2015)
Koolstof (% VM)	3.40	3,40 – 5,02	-	-	5,11
Kjeldahl stikstof (g/kg VM)	1.34	0,20 – 0,29	-	-	
Kalium (g/kg VM)	2.76	0,29 - 0,35	-	-	
Fosfor (g/kg VM)	0.21	0,03 – 0.04	-	-	
Droge stof (%)	10.00	9,60 – 10,90	7,98 – 14,77 ^a	32	11,97
Organische stof (% VM)	6.16	7,46 – 7,52	-	-	
Zandfractie (% VM)	3.36	-	-	-	23,56 ^b
C/N	-	12,8 – 24,1	-	13,88	12,07

^a Betreft DS-gehalte van prei zelf; niet enkel preiresten

^b Betreft asgehalte (dus meer dan enkel zandfractie)

4 Voorbehandeling

De grootste bottleneck voor de vergisting van preiresten is zand. Zand is namelijk inert, waardoor het zich makkelijk kan ophopen in de reactor. Bijgevolg daalt het nuttig volume, wat uiteindelijk minder biogasopbrengst tot gevolg heeft en aldus een lager rendement veroorzaakt. Daarom is het aangewezen om voorafgaand zand (en mogelijke andere onzuiverheden zoals aarde) te gaan verwijderen (via een bezinkput of een wasinstallatie), ofwel een zandafvoer in de reactor te voorzien.

Bovendien bevat deze preireststroom heel wat vocht. Hierdoor dient de biomassa zo snel mogelijk gestabiliseerd te worden om bederf tegen te gaan. In de doctoraatsstudie van Bernaert (2013) werd nagegaan hoe het groen van de prei kon gestabiliseerd worden. Hierbij werd gekeken naar fermentatie- en droogtechnieken. Verse prei kan tot 85-87% water bevatten. Om een goede bewaring te garanderen is het belangrijk dat het vochtgehalte lager is dan 15%. Door de wateractiviteit te reduceren wordt microbiële groei geïnhibeerd, met als gevolg minder afbraakreacties, waardoor een verbeterde stabiliteit van het product bekomen wordt. Verschillende methodes kunnen hiervoor gebruikt worden: vriesdrogen, luchtdrogen en *Refractance Window drying*, waarbij infrarood licht gebruikt wordt om water te verwijderen. De drie onderzochte droogmethodes bleken ook allen vrij effectief. Luchtdrogen bleek goed te zijn om antioxidanten te behouden en is goedkoop. Een hoog vochtgehalte zorgt tevens voor een lager biogaspotentieel. Er kan dus verondersteld worden dat gedroogde preiresten meer energie per ton kunnen opwekken dan ongedroogde preiresten. Een bijkomend probleem hierbij is dat de oogstresten niet altijd even goed verpompbaar zijn. Prei bijvoorbeeld dient idealiter eerst vermalen te worden met een shredder. Dit toestel gaat de preiresten mechanisch versnijden tot een homogene brij.

Fermentatie van de groene preibladeren leidt tot een hogere antioxidanten en polyfenolen inhoud. Op nutritioneel vlak lijkt de fermentatie van prei dus veelbelovend te zijn als stabilisatietechniek. Bovendien is dit niet duur. De effectiviteit van inkuilen werd ook door Inagro onderzocht m.b.v. 10 liter-vaten waarin preiresten fermentatie ondergaan. Hieruit bleek dat prei zonder problemen gedurende langere tijd kan bewaard worden. Initieel treedt hierbij een sterke verzuring en daling van het biogaspotentieel (tot 25%) op, maar dit blijft nadien stabiel.

In het kader van het project ARBOR werden preiresten reeds voorbehandeld om nadien hun biogaspotentieel te gaan bepalen. Eerst werd de prei gewassen om onzuiverheden (zoals bijvoorbeeld zand) te verwijderen. Nadien werden ze versneden, om tot slot nog geperst te worden om zo water te verliezen. De samenstelling van de preiresten na elke stap wordt weergegeven in Tabel 2 (De Dobbelaere et al., 2015).

Tabel 2: Wijzigingen in de preisenstelling na verschillende voorbehandelingsstappen (De Dobbelaere et al., 2015)

	Input	Gewassen	Versneden	Geperst
Koolstof (% VM)	3.40	2.90	4.00	7.40
Kjeldahl stikstof (g/kg VM)	1.34	1.09	1.30	1.88
Kalium (g/kg VM)	2.76	2.40	2.04	2.51
Fosfor (g/kg VM)	0.21	0.15	0.19	0.27
Droge stof (%)	10.00	6.46	8.61	18.20
Organische stof (% VM)	6.16	5.23	7.17	13.28
Zandfractie (% VM)	3.36	0.44	0.71	3.75

De wasstap toont duidelijk aan dat dit effectief is voor zandverwijdering: de ratio van zandfractie t.o.v. organische stof daalt namelijk van 0.55 tot 0.08. Na het versnijden blijft deze ratio zo goed als identiek, terwijl ze na het persen opnieuw toeneemt tot 0.28. Dit zou erop kunnen wijzen dat een deel van de organische stof verloren gaat in de vloeibare fractie tijdens het persen. De fractie organische stof kan dus verhoogd worden door deze voorbehandelingen toe te passen, wat positief is naar vergisting toe. Echter gaat er wel een deel verloren tijdens de scheidingsstap. De uiteindelijke zandfractie blijkt ongeveer even groot te zijn. De persstap heeft dus zeker enkele voordelen (groter gehalte organische stof en groter DS-gehalte). Het nadeel is echter dat de zandfractie opnieuw even groot wordt als voordien. Bovendien is er na de persstap nog een vloeibare fractie waarvoor een oplossing moet gezocht worden. Door de hoge nutriëntenconcentratie kan dit namelijk niet zomaar geloosd worden. Dit kan eventueel worden gevaloriseerd als groeimedium voor algenproductie of bemestingsstof (De Dobbelaere et al., 2015).

Een andere belangrijke factor van dit alles is de kostprijs. Een aanpassing van een oogstmachine om preireststromen te verzamelen, wordt door constructeurs op 5 000 euro geschat. Hiernaast dient er ook nog rekening gehouden te worden met eventuele extra werkuren en extra transportmiddelen. Een was-, snij- en persinstallatie wordt geraamd op 35 000 euro. Voor valorisatie van nevenstromen is er dus extra toegevoegde waarde nodig zodat een realistische *return-on-investment* bekomen wordt (De Dobbelaere et al., 2015).

5 Methaanproductiepotentieel

In het kader van het project Arbor werd door Inagro het biogas- en methaanpotentieel van gewassen en geperste preiresten bepaald. Hieruit blijkt dat dit potentieel ten opzichte van de gangbare energiemaïs vrij laag is (115 m³ biogas en 78 Nm³ CH₄ per ton vers materiaal preiresten tegenover 223 m³ biogas en 115 Nm³ CH₄ per ton vers materiaal energiemaïs). Het potentieel is echter groot (587 Nm³/ton ODS gemeten). Er kan dus geconcludeerd worden dat preiresten een groot biogaspotentieel bevatten o.b.v. droge stof. Tenzij toegediend als vers materiaal, gezien de grote concentratie aan water dat het bevat. Dit water leidt niet tot extra productie van het energierijke methaangas en zorgt enkel voor meer volume in de reactor (De

Dobbelaere et al., 2015). Vergistingstesten uitgevoerd door biogaslabo Innolab hadden als resultaat 21-30 Nm³ CH₄ per ton preiresten. Om bijvoorbeeld een 10 kW vergister te laten draaien is, rekening houdende met een methaanpotentieel van 30 Nm³ CH₄ per ton en een hoeveelheid reststromen van 20-25 ton/ha, een minimale bedrijfsgrootte nodig van 26-32.5 ha.

Hidalgo & Martín-Marroquín (2015) voerden in Castilië onderzoek uit naar het biochemische methaanpotentieel van verschillende afvalstromen uit de agri-food sector, waaronder prei-afval. Deze stroom heeft een relatief laag C/N-gehalte en methanogene bacteriën kunnen mogelijk inhibitie vertonen door de NH₃-concentratie. Uit hun onderzoek bleek dat prei-afval geen methanogene activiteit vertoonde na een methaanproductiepotentieeltest van 55 dagen. Nochtans bleek hun theoretisch methaanproductiepotentieel interessant (78 678 m³ CH₄ per jaar op basis van een hoeveelheid van 1 480 ton). Dit toont aan dat voorbehandeling vereist is om o.a. complexe organische structuren af te breken in eenvoudige moleculen die makkelijker toegankelijk zijn voor microbiële degradatie.

Thermofiele vergisting vertoont over het algemeen minder ammoniakinhibitie dan mesofiele vergisting. Als de C/N-ratio m.a.w. te laag is zoals bijvoorbeeld bij preiresten het geval is, is het wijselijk om thermofiel te gaan vergisten (Zhang, Su et al., 2014). Het nadeel van een thermofiele vergisting is echter dat het proces gevoeliger is voor veranderende omstandigheden zoals lichte temperatuurswijzigingen.

6 Conclusie

Het vergisten van preiresten kan een uitweg bieden tegen nutriëntenuitloging en geurhinder. Echter is de samenstelling van deze resten niet optimaal voor het vergistingsproces. Daarom dienen er een aantal voorafgaande stappen uitgevoerd te worden, teneinde het vergistingsproces te optimaliseren en bijgevolg de biogasopbrengst te maximaliseren. De rendabiliteit van het vergisten van preiresten lijkt ook beperkt te worden tot de grotere bedrijven, met een oppervlakte vanaf ca 30 ha, wanneer deze reststromen continu beschikbaar zijn.

Het project Pocket Power is een project van Inagro en Universiteit Gent dat wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.



7 Referenties

- Bernaert N (2013) Bioactive compounds in leek (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*): analysis as a function of the genetic diversity, harvest time and processing techniques. In Applied Biological Sciences, Ghent University
- Biogas-E (2006) Vergisting: Omzetten van biomassa in een energierijk gas. In
- De Dobbelaere A, Vervisch B, Ryckaert B (2015) Development of agro-sidestreams for bioenergy. In ARBOR
- de Ruijter FJ, Huijsmans JFM, Rutgers B (2010) Ammonia volatilization from crop residues and frozen green manure crops. *Atmos Environ* 44: 3362-3368
- Hanci Ü, Pinar Ü, Uzun A (2018) The leek: an analysis of production and trade market in Turkey and world. In International conference on mathematics - engineering - natural & medical sciences,
- Hidalgo D, Martín-Marroquín J (2015) Biochemical methane potential of livestock and agri-food waste streams in the Castilla y León Region (Spain). *Food Research International* 73: 226-233
- ILVO (2014) Composteren als valorisatievorm van reststromen in de Vlaamse land- en tuinbouw: knelpunten en opportuniteiten. In Visserijonderzoek IvL-e (ed)
- Klimiuk E, Pokój T, Budzyński W, Dubis BJBt (2010) Theoretical and observed biogas production from plant biomass of different fibre contents. 101: 9527-9535
- Koca I, Tasci B (2016) Mineral composition of leek. *Acta Horticulturae*
- Platteau J, Lambrechts G, Roels K, Van Bogaert T (2018) Uitdagingen voor de Vlaamse land- en tuinbouw. Landbouwrapport 2018. In Brussel: Departement Landbouw en Visserij
- Tanimu MI, Ghazi TIM, Harun RM, Idris AJIjoi, management, technology (2014) Effect of carbon to nitrogen ratio of food waste on biogas methane production in a batch mesophilic anaerobic digester. 5: 116
- Tessens S (2018) Maximaal productiepotentieel van biotmethaan in Vlaanderen uit biomassa-reststromen. In Transbio (ed) Biogas-E vzw
- Verstraete K (2013) Valorisatie van prei nevenstromen, veelbelovende stabilisatie door fermentatie. In Flanders' Food,
- Viaene J (2016) Valorisatie van N-rijke oogstresten tot bodemverbeteraar. In Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek
- Viaene J, Agneessens L, Capito C, Ameloot N, Reubens B, Willekens K, Vandecasteele B, De Neve S (2017) Co-ensiling, co-composting and anaerobic co-digestion of vegetable crop residues: Product stability and effect on soil carbon and nitrogen dynamics. *Scientia Horticulturae* 220: 214-225
- Wellinger A, Murphy JD, Baxter D (2013) *The biogas handbook: science, production and applications*. Elsevier,
- Zhang C, Su H, Baeyens J, Tan TJR, Reviews SE (2014) Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. 38: 383-392
- Zhang R, El-Mashad HM, Hartman K, Wang F, Liu G, Choate C, Gamble PJBt (2007) Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. 98: 929-935

Bijlage 12: Verkleinen groenteresten

Marktstudie verkleiningsmethodes

VLAIO LA-project Pocket Power

1. Inhoudsopgave

1. INHOUDSOPGAVE	1
2. INTRODUCTIE	2
3. METHODE	2
3.1. Vergelijkingscriteria	2
3.1.1. Continu/batch	3
3.1.2. Capaciteit	3
3.1.3. Type stromen	3
3.1.4. Homogeniteit	4
3.1.5. Vreemde voorwerpen	4
3.1.6. Vermogen	4
3.1.7. Metaalmateriaal	4
3.1.8. Opmerkingen	5
3.1.9. Prijs	5
4. RESULTATEN	5
4.1. Werkingsmechanismes	5
4.1.1. Malen (Brennan and Grandison 2011)	5
4.1.2. Hakselen/versnipperen	10
4.1.3. Shredde	10
4.1.4. Elektrokinetische desintegratie	10
4.2. Vergelijkingstabel	11
5. CONCLUSIE	13
6. REFERENTIES	13

2. Introductie

Het Vlaio LA-project Pocket Power heeft als doelstelling het uitbreiden van kleinschalige vergisting naar andere deelsectoren dan de huidige melkveesector. Hiervoor wordt gekeken naar de varkenssector en de groentesector, meer specifiek de preisector. Vergistingstesten uitgevoerd in het project wijzen erop dat het vergisten van preiresten vergistingstechnisch gezien stabiel lukt. Vanwege de lange vezels in preiresten, is er echter een grotere kans dat er een drijfslag gevormd zal worden. Dit betekent minder contactoppervlak beschikbaar voor de micro-organismen en aldus een verlaagde biogasproductie. Het verkleinen van de preiresten, alvorens deze in de biogasinstallatie te brengen, vermindert de kans op vorming van een drijfslag en leidt tot een hogere biogasproductie (Rohstoffe eV 2010). Maar ook wanneer er andere groenteresten vergist worden, zal een verkleiningsstap bijdragen aan het verhogen van de biogasproductie. Er bestaan verschillende types toestellen om verscheidene organische materialen te gaan verkleinen. Dit rapport vat verschillende types samen en lijst de voor- en nadelen op voor de verkleining van niet alleen preiresten, maar ook andere organische reststromen.

3. Methode

In een overzichtstabel, zie Tabel 1 in 4.2 Vergelijkingstabel, worden verschillende werkingsmechanismes opgelijst. Per mechanisme worden verschillende installaties aangehaald die met elkaar worden vergeleken op basis van verschillende criteria. Op basis van deze criteria kunnen positieve of negatieve eigenschappen in vergelijking met de andere installaties aangeduid worden. Door deze vergelijking wordt het duidelijk welke installaties het grootste potentieel vertonen om preiresten voldoende te gaan verkleinen alvorens deze in de vergister terecht komen.

Bij elk van deze installaties wordt ook één of meerdere constructeurs en/of aanbieders vermeld. Deze constructeurs en/of aanbieders zijn gevonden voorbeelden tijdens de marktstudie of installaties die zelf werden uitgetest. Uiteraard zijn er meerdere constructeurs en/of aanbieders van dergelijke installaties en willen wij de vermelde bedrijven niet naar voor schuiven als dé voorbeeldbedrijven.

3.1. VERGELIJKINGSCRITERIA

In deze sectie worden alle onderzochte vergelijkingscriteria uitgeklaard. Waarvoor de criteria precies staat, welke verschillende opties er zijn (indien van toepassing) en welke grenzen van de criteria er gebruikt worden om de criteria als positief of negatief te evalueren. Het is echter ook mogelijk dat er geen positieve of negatieve evaluatie kan gegeven worden indien dit van teveel andere factoren afhankelijk is. In dat geval wordt er geen kleur aan de cel(len) toegewezen. Hieronder wordt bij elk criterium een voorbeeldtabel geplaatst met de verschillende kleurmogelijkheden en waarvoor deze voor dat specifieke criterium zullen staan.

Positief
Negatief
Tussenin of van andere factoren afhankelijk

3.1.1. Continu/batch

Dit criterium geeft aan of de installatie *continu* stromen kan verwerken, bijvoorbeeld door middel van constante aanvoer via een transportband, of in *batches* die om de zoveel tijd aangevoerd worden. Afhankelijk van de specifieke bedrijfsvoering hebben beide opties hun voor- en nadelen. Indien er reeds een transportband aanwezig is en deze makkelijk in het productieproces valt in te passen, kan deze optie zorgen voor minder tijdsbesteding aan het regelmatig aanvoeren van biomassa naar de verkleiner. Indien er geen transportband aanwezig is, kan een voldoende grote trioliet voldoende oplossing bieden.

Nvt
Nvt
Afhankelijk van bedrijfsvoering

3.1.2. Capaciteit

Geeft aan, indien geweten, wat de installatie maximaal kan verwerken gedurende een bepaalde tijdperiode. Een snelle of trage verwerking op zich is niet per se respectievelijk positief of negatief, maar hangt ook af van de bedrijfsvoering en het energieverbruik van de verkleiner. De capaciteit die in de tabel wordt opgegeven is de maximaal opgegeven capaciteit, maar kan, afhankelijk van de te verkleinen biomassa, nog variëren.

Nvt
Nvt
Afhankelijk van bedrijfsvoering

3.1.3. Type stromen

Deze marktstudie richt zich vooraleerst voornamelijk op het kunnen verkleinen van preiresten. Het verkleinen van agrarische reststromen is dus zo goed als een vereiste. Als de installatie daarnaast echter ook nog andere stromen (al dan niet organisch) kan verwerken, is dit een pluspunt. Dit criterium dient dus om aan te geven welk type stromen – zacht of hard, van welke stukgrootte, al dan niet vezelig, droog of verpompbaar – de installatie kan verkleinen. Hoe veelzijdiger de installatie, hoe beter.

Nvt
Droge stromen, verpompbaar
Organisch/ agrarisch

Als de afmetingen van de stromen gelimiteerd worden, doordat deze bijvoorbeeld in een bepaalde leidingdiameter moeten passen, is dit negatief als dit het aantal agrarische reststromen beperkt (bijvoorbeeld voor kolen of knolselder).

Ook een negatief punt is als de installatie enkel maar verpompbare stromen kan verkleinen. Agrarische reststromen moeten hierdoor eerst aangelengd worden met een vloeistof alvorens deze verpompt kunnen worden. Dit zorgt voor extra werk en kosten.

3.1.4. Homogeniteit

Onder de homogeniteit wordt verstaan hoe gelijkmatig de stromen worden verkleind. Welke afmetingen hebben de verkleinde stromen, en kunnen er nog vezelige of grotere stukken door de verkleiner glijpen? Om de stromen achteraf te vergisten, is een zo homogeen mogelijk eindproduct gewenst. Idealiter zo klein mogelijk, maar de limiet wordt gelegd op 20 mm en een vrij homogene verkleining.

< 20 mm
Niet verkleind
Overige

3.1.5. Vreemde voorwerpen

Bij organische stromen kan het wel eens gebeuren dat er vreemde voorwerpen zoals metaal, stenen, plastic, ..., tussen de reststromen terecht komen. Dit criterium geeft aan of de installatie hierop is voorzien, of als de installatie hierdoor in de problemen komt. Problemen kunnen kleinschalig zijn, waarbij de installatie enkel stilvalt en opnieuw opgestart dient te worden, maar kunnen de installatie, of onderdelen, ook breken. Uiteraard is dit niet gewenst, aangezien onderhoud en stil liggen van de installatie tijd en geld kost. Bij sommige installaties worden de vreemde voorwerpen afgescheiden waardoor het risico op breken van de installatie verkleind wordt.

Nooit problemen
Snel problemen
Overige

3.1.6. Vermogen

Geeft het vollastvermogen weer van de installatie. Dit staat niet gelijk met het energieverbruik. De installatie zal niet noodzakelijk continu op vollast draaien, maar kan afhankelijk van bijvoorbeeld het type biomassa lichter of zwaarder draaien. Een hoger vermogen is dus niet noodzakelijk negatief, en kan zelfs positief zijn om ook hardere, moeilijkere stromen te kunnen verwerken.

Nvt
Nvt
Afhankelijk van andere factoren

Als er meerdere vermogens worden aangegeven zoals xx-xx kW, dan is dit om aan te tonen dat ofwel de installatie zelf tot het maximumvermogen kan gaan, of dat er verschillende types van deze installatie zijn met verschillende vermogens, waarvan het laagste en hoogste vollastvermogen wordt vermeld.

Als er meerdere vermogens worden aangegeven via xx + xx kW, dan geven deze de vermogens aan van meerdere onderdelen van de installaties zoals bv. met pompen, in volgorde van vernoeming in de kolom 'Werkingsmechanisme: naam installatie'.

3.1.7. Metaalmateriaal

Het metaal waaruit de installatie, of bepaalde onderdelen ervan, is opgebouwd. Dit kan een belangrijk criterium zijn voor welk type stromen de installatie kan verkleinen en/of hoe snel/makkelijk de onderdelen van de installatie zullen breken.

Voor reststromen (bv. uienstijlen) die zure sappen vrijgeven, zal een zuurbestendig metaal nodig zijn zoals inox. Als er vaak vreemde voorwerpen – metaal, stenen of

Nvt
Nvt
Afhankelijk van reststroom

plastic – in de stromen aanwezig zijn, wordt er beter gekozen voor hardox messen. Dit criterium zal uiteindelijk dus ook invloed hebben op de levensduur van de installatie.

3.1.8. Opmerkingen

Eventuele losse opmerkingen die niet in de overige criteria passen of niet van toepassing zullen zijn voor iedere installatie komen in deze kolom terecht.

Positieve opm.
Negatieve opm.
Overige

3.1.9. Prijs

Bevat de kostprijs van de installatie, als eenmalige investering. Hierbij zijn veranderingen in bedrijfsvoering, aanpassingen nodig voor het plaatsen en/of aankoppelen van de installatie of onderhoudskosten niet meegerekend. Aangezien er wordt bekeken of de verkleiner van toepassing is voor biogasinstallaties op landbouwschaal, dus eerder kleinschalig, wordt een kostprijs hoger dan € 20.000 voor de eenmalige investering reeds aanzien als negatief.

< € 20.000
> € 20.000
€ 20.000

Uiteraard zou de terugverdientijd beter te vergelijken vallen van de verscheidene verkleiners. Deze is echter van teveel verschillende factoren afhankelijk en te case-specifiek dat deze niet voor alle verschillende scenario's berekend kan worden.

4. Resultaten

4.1. WERKINGSMECHANISMES

Het verkleinen van stromen kan op basis van verschillende werkingsmechanismes, namelijk door middel van de biomassa te malen, hakselen/versnipperen, shredden of door elektrokinetische desintegratie.

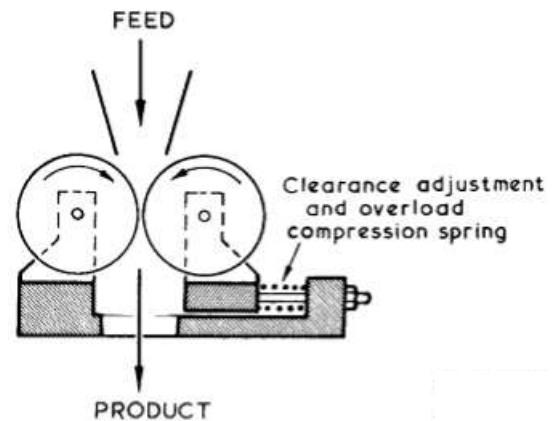
4.1.1. Malen (Brennan and Grandison 2011)

Verkleiningsmolens werken op basis van een ronddraaiend mechanisme binnenin een omkaderd frame die de langskomende biomassa zal verkleinen tot een bepaalde zeefgrootte. Dit werkingsmechanisme valt nog verder onder te verdelen onder vele verschillende werkingsmechanismes.

Voor brokkelige, kristallijne of grotere deeltjes worden rollenmolens, ofwel verbrijzelingswalsen, gebruikt. Voor zeer harde stromen worden robuuste, zware, traagwerkende molens gebruikt. Vezelige stromen vragen schijf- of pinschijfmolens.

Verkleiningsmolens kunnen voor zowel hoge als lage drogestofgehaltes gebruikt worden. Bij het gebruik van een verkleiningsmolen kan er afhankelijk van de te verwerken stroom en draaisnelheid ook warmte gegenereerd worden. Hou hierbij rekening met veiligheidsvoorschriften.

Rolmolens of **verbrijzelingswalsen** werken in het algemeen met twee cilindrische, stalen rollen op horizontale assen. Doordat deze rollen naar elkaar toe rollen wordt de reststroom, die er van bovenaf in terecht komt, door de walsen getrokken en op die manier verkleind. De rollen kunnen al dan niet gegroefd zijn.



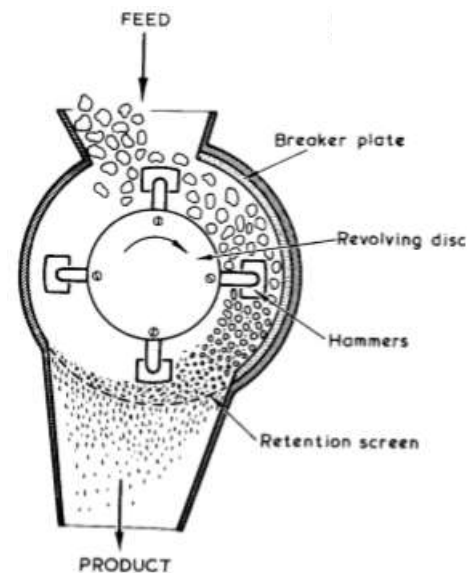
Figuur 1: een schematische voorstelling van een rolmolen (Brennan and Grandison 2011).

Wanneer de stromen botsen met lichamen of onderdelen, spreekt men van **impactmolens**. De onderdelen die voor de impact zorgen hangen vast aan een draaiende rotor en botsen op die manier met de reststromen. Hoe sneller er wordt geroeteerd, hoe sneller de stromen worden verkleind. De graad van verkleining wordt bepaald door de zeef aan de uitgang van de installatie. Onder de impactmolens wordt nog een onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten, op basis van de draaiende onderdelen.

- Hamermolens

In dit type impactmolen zijn er hamers bevestigd op de draaiende rotor. De bevestiging van de hamers aan de rotor kan al dan niet scharnierend zijn, zodat de koppen naar buiten zwenken bij het draaien. Door rond te draaien in de behuizing raken de hamers op deze manier de passerende biomassa. Eventueel kan er een brekerplaat in de behuizing gemonteerd worden waartegen de biomassa geslagen wordt door de passerende hamers voor extra verkleining. Een zeef voor de uitgang van de behuizing zorgt ervoor dat de gewenste deeltjesgrootte wordt bereikt alvorens de biomassa de behuizing verlaat.

Vezelige of kleverige materialen kunnen de zeef mogelijks verstoppen, wat niet nalaat dat de hamermolen kan gebruikt worden voor harde, brokkelige, vezelige en kleverige materialen.



Figuur 2: schematische voorstelling van de hamermolen (Brennan and Grandison 2011).

- *Beater bar mill* of klopstaafmolen

Deze impactmolen werkt volgens hetzelfde principe als de hamermolen, maar in plaats van hamers worden in deze molen balken aan de rotor bevestigd in de vorm van een kruis. Deze passeren rakelings aan de behuizing van de molen.

Marktstudie verkleiningsmethodes

- *Comminuting mill* of hakmolen

Deze impactmolen werkt nog steeds volgens hetzelfde principe, maar ditmaal met messen aan de rotor bevestigd, al dan niet scharnierend. Dit type molen wordt voornamelijk gebruikt voor zachte biomassa zoals fruit en groenten.

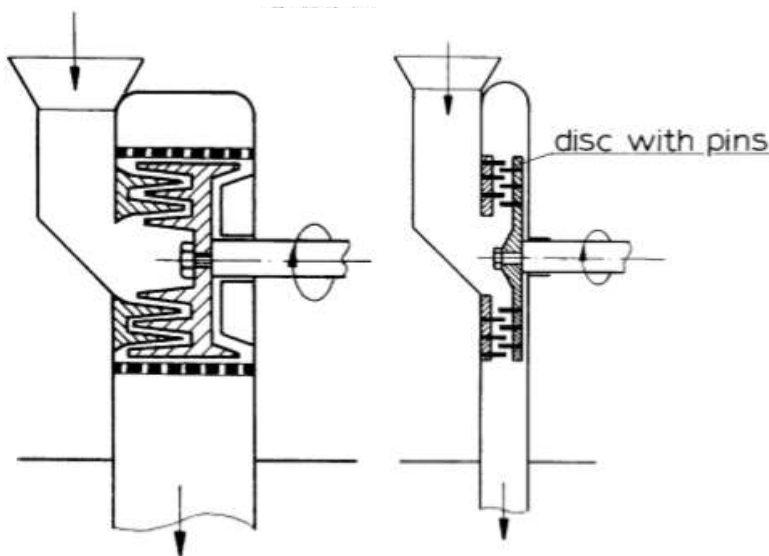
Het is ook mogelijk om de messen van een scherpe en botte kant te voorzien, waardoor de twee draairichtingen enerzijds als snijfunctie kan worden gebruikt en anderzijds als een klopstaafmolen.

- *Pin-Disc mill* of pin(-schijf)molen

Een pin(-schijf)molen kan op verschillende manieren werken. Ofwel bestaat de molen uit een stationaire en een roterende schijf. Deze schijven bevatten beide pinnen/tanden en zijn naar elkaar gericht, waarbij er maar een zeer kleine opening tussen gelaten worden. Deze opening kan bij sommige modellen aangepast worden naargelang de biomassa. Deze biomassa komt centraal tussen de schijven terecht en beweegt uitwaarts tussen de schijven, al dan niet passerend door een zeef (Figuur 3).

Ofwel bestaat de molen uit twee roterende schijven. Deze kunnen aan verschillende snelheden in dezelfde richting, of in tegengestelde richting draaien.

Pin(-schijf)molens zijn geschikt voor het verkleinen van broze of vezelige materialen.



Figuur 3: schematische voorstelling van de pin(-schijf)molen met en zonder zeef (Brennan and Grandison 2011).

- *Fluid energy (jet) mill* of vloeibare energie (straal) molen

Bij deze impactmolen worden de vaste deeltjes opgelost in een gasstroom, zoals perslucht of oververhitte stoom. Doordat deze aan een hoge snelheid en druk (700 kPa) de verkleiningsbehuizing binnengaat, gebeurt verkleining door botsing van de deeltjes met de wand.

Deze verkleiner wordt gebruikt voor deeltjes tot 10 mm, maar meestal < 150 μm en is dus minder geschikt om toe te passen in het vergistingsproces. Bovendien is ook de energie-efficiëntie relatief laag.

Wrijvingsmolens of *attrition mills* zullen druk en wrijving gaan uitoefenen doordat het te verkleinen materiaal tussen twee oppervlaktes wordt gewreven. Dit type molen is in het algemeen minder van toepassing voor het verkleinen van vezelige biomassa zoals preiresten, maar eerder voor korrelige biomassa zoals graan, maïs en rijst.

- Buhrsteen molen

Deze oudste vorm van wrijvingsmolen bestaat uit het op elkaar plaatsen van twee stenen. In de meeste gevallen zal het enkel de onderste steen zijn die zal roteren. De stenen kunnen daarentegen ook in tegengestelde richting draaien. Door passende groeven in de stenen te snijden, werkt de draaiende beweging als een schaar. De biomassa wordt via een gat in de bovenste steen in het midden gebracht en beweegt van het midden naar buiten toe.

De meest voorkomende toepassing van deze molen is het vermalen van graan/tarwe en nat malen van maïs en worden vaak aangedreven door windmolens.

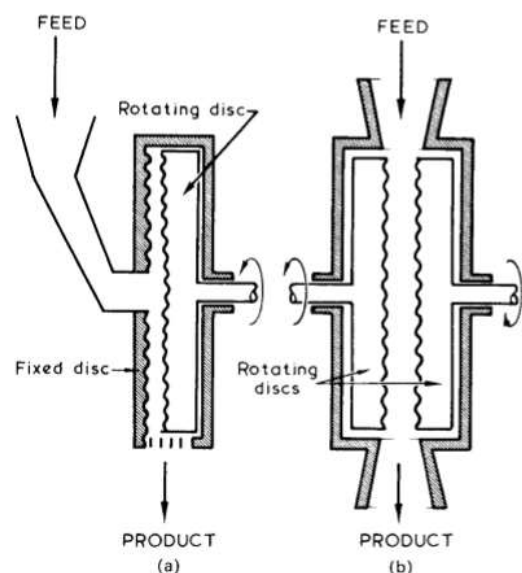
- *Single-disc attrition mill* of één-schijf wrijvingsmolen

Deze molen bestaat uit een gegroefde, roterende schijf en een stationaire schijf met bijpassende groeven. In tegenstelling tot de Buhrsteen molen staan deze schijven verticaal (Figuur 4a). De biomassa wordt tot in het midden van de schijven gebracht en gaat dan tussen de schijven en door een zeef uit de molen. Door de afstand tussen de twee schijven aan te passen, kan naast wrijving ook druk helpen bij het vermalen.

- *Double-disc attrition mill* of Twee-schijf wrijvingsmolen

Deze wrijvingsmolen werkt op exact dezelfde manier als de één-schijf wrijvingsmolen, maar dan met twee gegroefde, roterende schijven. De biomassa wordt bij deze molen van bovenaf tussen de schijven gebracht en wordt onderaan via de zeef uiteindelijk de molen uit geloodst (Figuur 4b).

- *Foos* molen

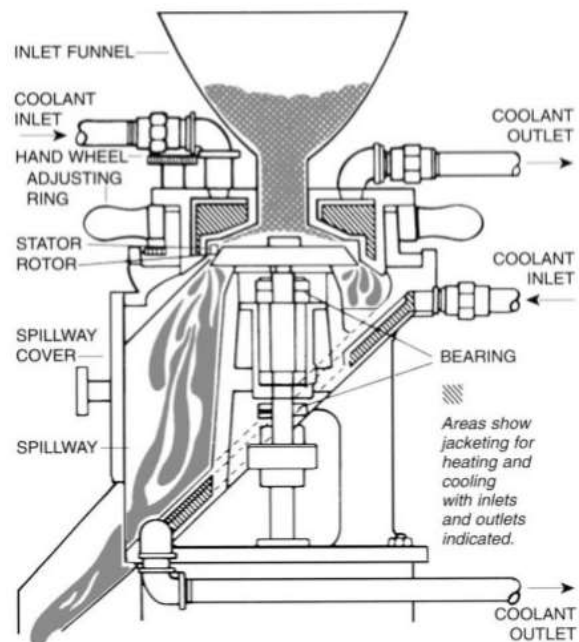


Figuur 4: schematische voorstelling van de (a) één-schijf wrijvingsmolen en de (b) twee-schijf wrijvingsmolen (Brennan and Grandison 2011).

In plaats van groeven heeft de *foos* molen knoppen op de schijven en kan dus ook beschreven worden als een gemodificeerde pin(-schijf)molen. Het gebruik van deze *foos* molen is hetzelfde als bij bovenstaande wrijvingsmolens.

- Colloïdmolen/pastamolen

De biomassa moet voorgemengd worden tot een emulsie alvorens deze in de colloïdmolen gebracht kan worden. De molen bestaat uit zowel een statisch als een roterende oppervlak. Door de hoge draaisnelheid (3000-10.000 rpm) wordt de emulsie onderworpen aan afschuiving en turbulentie. Door de nauwe afstand tussen de roterende en statische schijf, wordt de emulsie verder verkleind (Figuur 5).



Figuur 5: schematische voorstelling van een colloïdmolen, gebruikt voor het maken van een pasta (Brennan and Grandison 2011).

Deze wrijvingsmolen wordt voornamelijk gebruikt voor emulgatie van viskeuze materialen en het maken van pasta's en puree.

Een vierde type molen is de **trommelmolen**. Deze bestaat typisch uit een cilindrisch omhulsel, de trommel, al dan niet met conische uiteinden, dat langzaam om een horizontale as draait en tot zo'n 50% van het volume gevuld wordt met een vast maalmedium. Door het ronddraaien van de trommel draaien ook de maalmedia. Doordat de biomassa ook in de trommel wordt gebracht, wordt deze door het rollen en het neervallen van het maalmedium verkleind. De biomassa verlaat de trommel eenmaal deze aan het einde is, ofwel kan de trommel als zeef dienen. Het maalmedium bestaat meestal uit kogels of staven. Een nadeel is dat het maalmedium vrij snel slijt en moet dus regelmatig worden gecontroleerd en vervangen.

- Kogelmolen

In deze trommelmolen bestaat het maalmedium uit bolvormige kogels met een diameter variërend van 25-150 mm. Deze kogels bestaan veelal uit staal. Het verkleinen van biomassa hangt grotendeels af van de omwentelingsnelheid van de trommel. Bij lage snelheden rollen de kogels voornamelijk over elkaar naar beneden, terwijl bij hogere snelheden hoger worden gehesen en eerder naar beneden vallen. De aanwezige biomassa ondervindt dan respectievelijk eerder schuifkrachten en botskrachten. Kogelmolens kunnen zowel continu als batchgewijs gebruikt worden en onder zowel droge als natte omstandigheden. In een vibrerende kogelmolen trilt de trommel, waardoor de stootkracht overheerst. Ook een statische trommel is een mogelijkheid, waarbij binnenin een roerder de kogels in beweging brengt.

- Staafmolen

In deze trommelmolen bestaat het maalmedium uit maalstaven gemaakt uit koolstofstaal. De diameter varieert tussen 25-125 mm en kunnen in dwarsdoorsnede cirkelvormig, vierkantig of zeshoekig zijn. De

lengte van de staven komt normaal zo goed mogelijk overeen met de lengte van de trommel. Hierdoor werken er voornamelijk wrijvingskrachten in op de biomassa en zijn ze meer van toepassing voor het verkleinen van kleverige materialen dan de kogelmolen.

4.1.2. Hakselen/versnipperen

Hakselaars werken via meerdere, ronddraaiende messen om stromen te versnijden. Het aantal maaischijven dat op het toestel geïnstalleerd is, bepaalt de snelheid van het versnijden. Dit mechanisme komt oorspronkelijk van het gebruik voor het versnipperen van snoei- en groeiafval, maar kan via enkele aanpassingen ook gebruikt worden voor het verhakselen van reststroombiomassa. Door het horizontaal plaatsen van de rotorassen kan de biomassa bovenaan aan de installatie gevoed worden en wordt de biomassa door de maaischijven geloodst. Onderaan kan de verkleinde biomassa worden opgevangen.

4.1.3. Shredde

Shredders vermalen of versnipperen allerlei stromen door middel van ronddraaiende onderdelen. Het principe is hetzelfde als dat van hakselaars, waarbij de biomassa versnipperd wordt, maar bestaat uit robuustere onderdelen. Hierdoor zijn de installaties vaak meer geschikt voor het verkleinen van meerdere soorten reststromen en is er minder risico dat de installatie of bepaalde onderdelen breken, maar zijn de shredders ook duurder.

4.1.4. Elektrokinetische desintegratie

Bij elektrokinetische desintegratie wordt de stroom door een hoogspanningsveld gestuurd. Door deze elektrische krachten lost de vlokkenstructuur op, verkleinen samenklontering die uit dood organisch materiaal en bacteriën bestaan en daalt de viscositeit. De enzymactiviteit stijgt door de desintegratie. Met andere woorden, nutriënten zijn meer ter beschikking voor bacteriën en de organische stof kan beter worden afgebroken. Dit maakt de technologie uitermate geschikt als voorbehandeling voor vergisting.

4.2. VERGELIJKINGSTABEL

Tabel 1: Overzichtstabel met de verschillende criteria van verschillende verkleiningsinstallaties. Cellen in het groen aangeduid wijzen op een positieve eigenschap, rood duidt op een negatieve eigenschap. De werkingsmechanismes aangeduid in het geel werden door Inagro uitgetest.

Werkingsmechanisme: naam installatie		Constructeur/aanbieder				Continu/ batch	Capaciteit	Type stromen	Homogeniteit	Vreemde voorwerpen	Vermogen	Metaal-materiaal	Opmerkingen	Prei haalbaar?	Prijs
Malen		Mill Powder Tech	VBS Machinery	Lessine	Peppink	Fritsch	Batches/ Continu	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
Malen: Lump Breaker NW 300	Rekord 224	Jehlich				Continu	30t/u / 200kg/u	Organisch, < 280 mm	0,5-20mm / ?	Niet afgescheiden, geen probleem?	15 kW	Roestvrij staal	/	Niet gekend	Niet beschikbaar
Malen: Molares		Belo Groep				Continu	6-8 ton/u	Organisch	Vrij homogeen	Probleem	3-4,6 kW/ton	Hardox/gietstaal	/	Ja	65 000,00 €
Malen: Rotacut + (lobben)pomp		Vogelsang B.V.				Batches/ Continu	90-750 m³/u + 45 m³/u	Organisch, verpompbaar	Homogeen, 10-20 mm	Worden afgescheiden	1,1-15 + 7,5 kW	Slijtvast staal	Voorverkleining nodig	Ondermaats	12 750,00 €
									Combo met X-ripper: < 5mm				Pomp = zelfaanzuigend	Combo met X-ripper: ja	
Malen: Hamermolen		Vermeulen Construct NV	Wynveen	Lessine	W&K Automation		Batches/ Continu	0,5 m³/u / 260 kg/u	Organisch, droge stromen	Vrij homogeen	0,25 + 4 kW	Niet gekend	Machine valt uit bij overbelasting & voordroog	Mits verbeteringen	20 000,00 €
Malen: Walsenmolen		Wynveen				Batches/ Continu	10 t/u	Organisch, < 142 mm	Niet gekend	Probleem	18,5 kW	Staal	Ja, mits verbeteringen	Mogelijkheid met prei?	Niet beschikbaar
Malen: Kettingmolen (Bio-QZ 900)		Andritz MeWa				Batches	2-6 t/u	Organisch	Vrij homogeen	Niet afgescheiden, geen probleem	55-75 kW	Niet gekend	Mogelijkheid met prei?	Ja	95 000,00 €
Malen: Vleesmolen		NV Norbert Piceu				Batches/ Continu	950 kg/u	Vlees/organisch	Niet gekend	Ja	2,9 kW	Inox	/	Ondermaats	Niet beschikbaar
Hakselaar		BRIAND				Continu	Snelle verwerking	Organisch	Minder homogeen	Probleem?	2,2-750 kW	Niet gekend	Ondermaats	Ja	8 900,00 €
Hakselaar: Multicracker AC 100		De Kopermolen BV	Multicracker Benelux		Barbatus	Batches/ Continu	0-3 ton/u	Organisch, zacht	Minder homogeen	Ja	5,5 kW	Ondermaats	Spruitkool liet de machine uitvallen	Ondermaats	8 600,00 €
Hakselaar: Cri-man PTS		Vogelsang B.V.		Cri-Man		Continu	26-324 m³/u	Organisch, < 150 mm, verpompbaar	Ondermaats	Probleem?	0,75-18,5 kW	Niet gekend	Ook mogelijk in speciale nikkel coating (corrosief-bestendig)	Mogelijkheid met prei?	Niet beschikbaar
Hakselaar: Rondomat		Green Service	Fliegl			Batches	4,7-10,5-40m³	Organisch	Tot 12 mm	Probleem?	9,5 kW	Mogelijkheid met prei?	/	Mogelijkheid met prei?	Niet beschikbaar
Hakselaar: X-Unit + excenwormpomp		Distrimex		Wangen		Continu	1,250 m³/u / 347 l/sec	Organisch, < 350 mm, verpompbaar	Vrij homogeen	Worden afgescheiden	Niet beschikbaar	Mogelijkheid met prei?	Diameter invoerbuis limiteert product Kuiست producten	Mogelijkheid met prei?	Niet beschikbaar
Hakselaar: Hommel Rotormat 2000 Super		Maris Machines BV				Continu	600 kg/u	Broodkruidemels/ organisch, droge stromen	Tot 20 mm	Probleem?	4 kW	Roestvrij staal	Enkel voor droge stromen	Ondermaats	2 200,00 €
Hakselaar: TPF 15		Vegemac bvba				Continu	6 m³/u	Organisch, < 660 mm	10-100 mm	Probleem?	8 kW	Niet gekend	Elektrisch en met aangepaste motor (15 pk) Mobiel	Ja	4 825,62 €
Hakselaar		Bernard Willems	KVH Construct			Batches/ Continu	Niet beschikbaar	Organisch	Vrij homogeen	Probleem	2,2 kW	Inox	Eventueel met kettingen ipv messen	Mogelijkheid met prei?	12 500,00 €
Hakselaar: AZ35 + VL pompgroep		Jurup				Continu	Niet beschikbaar	Organisch, < 220 mm, verpompbaar	Minder homogeen	Probleem?	5-55 + 24 kW	Slijtvast staal	Diameter invoerbuis limiteert product?	Mogelijkheid met prei?	Niet beschikbaar
Hakselaar: Multichopper plus		Börger				Batches/ Continu	50 m³/u	Organisch, < 125 mm, verpompbaar	Niet gekend	Worden afgescheiden	Niet beschikbaar	Gegalvaniseerd staal	Diameter invoerbuis limiteert product?	Niet gekend	Niet beschikbaar

Werkingsmechanisme: naam installatie		Constructeur/aanbieder				Continu/ batch	Capaciteit	Type stromen	Homogeniteit	Vreemde voorwerpen	Vermogen	Metaal- materiaal	Opmerkingen	Prei haalbaar?	Prijs
Hakselaar: Eliet Prof 5 met aangepaste messen		Eliet Europe NV	Kempeneer			Batches/ Continu	750 kg/u	Organisch, < 80 mm	Tot 5 mm	Probleem?	10 kW	Niet gekend	/	Ja	6 200,00 €
Shredder		Erdwich	Smicon	JWCE	NWP	Batches	15-100 m³/u	Praktisch alles	Minder homogeen	Niet afgescheiden, geen probleem	Nvt	Nvt	Verschillende groottes en hoppers	Ja	Nvt
Shredder: Mono Ezstrip TR Muncher	Mono SB Muncher	Axflow				Continu	1-500 m³/u / 1-60 m³/u	Organisch, verpompbaar	Vrij homogeen	Worden afgescheiden	Niet beschikbaar	Staal	Mono F Muncher kan meteen, EZ strip moet verpompbaar zijn	Niet gekend	Niet beschikbaar
Shredder: X-Ripper		Vogelsang B.V.				Batches/ Continu	10m³/u	Organisch	Minder homogeen	Kleine oké	15 kW	Snijstaal	/	Niet gekend	20 000,00 €
Shredder: RS30/40	S40	UNTHA				Continu	15 000 kg/u	Organisch	Tot 20 mm	Niet afgescheiden, geen probleem	11-44 kW	Niet gekend	Verschillende mogelijkheden	Ja	Niet beschikbaar
Elektrokinetische desintegratie: Biocrack		Vogelsang B.V.				Continu	25-200m³/u	Organisch, verpompbaar, vloeibare stromen	Minder homogeen	Niet afgescheiden	35-120 W	Roestvrij staal	Capaciteit afh. van DS- gehalte (<3,5-10%) Meer hygiëniseren ipv verkleinen	Nee	Niet beschikbaar

5. Conclusie

Hou bij het kiezen van een verkleiner dus zeker rekening met verschillende zaken. Past de installatie in jouw huidige bedrijfsvoering? Bevat de te verkleinen reststroom op jouw bedrijf vaak vreemde voorwerpen?

Op basis van de vergelijkingscriteria en de testen die met enkele van de bovengenoemde installaties werden uitgevoerd, kunnen er enkele verkleiners in het algemeen worden aanbevolen. Maar zeker ook voor het verkleinen van preiresten kunnen volgende installaties gebruikt worden:

- Hakselaars zijn relatief goedkoop en kunnen bepaalde biomassa, waaronder preiresten, geschikt verkleinen. Het is echter aangeraden vooraf uit te testen of de installatie de gewenste biomassa voldoende verkleint. Ook is het aan te raden om bij deze types op te letten voor vreemde voorwerpen.
- Een hamermolen voert de verkleining voor de meeste stromen goed uit, maar er wordt aangeraden op te letten met vreemde voorwerpen.
- Shredders worden al snel duur, maar zijn dan meer all-round, kwalitatiever en meer bestand tegen vreemde voorwerpen. De X-ripper verkleint voor een hogere, maar haalbare prijs (€ 20.000) de meeste agrarische reststromen.

6. Referenties

Brennan, James G., and Alistair S. Grandison. 2011. *Food Processing Handbook*.

Rohstoffe eV, Fachagentur Nachwachsende. 2010. *Leitfaden Biogas: Von der Gewinnung zur Nutzung*. Gülzow, Germany.

Dit rapport werd geschreven in kader van het VLAIO LA-project Pocket Power. Dit project wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), met financiële steun van: Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.



Inagro noch UGent zijn in geen geval verantwoordelijk voor de eventuele schade die het gevolg kunnen zijn door toepassen van installaties opgenomen in dit rapport. Dit rapport is een hulpmiddel voor het in kaart brengen van mogelijke verkleiningsinstallaties op het landbouwbedrijf.

Bijlage 13: Zandverwijdering bij prei

Zandverwijdering bij preiresten

*Inschatten van de kosten in verschillende
scenario's*

Inès Verleden

Pocket Power: T4.4.1 Verwijderen van
onzuiverheden - vergelijking 3 scenario's op
haalbaarheid

1. Inhoudsopgave

1. INHOUDSOPGAVE	2
2. INLEIDING	3
3. SCENARIO'S	3
3.1. Vooraf verwijderen	3
3.1.1. Wassen	3
3.1.2. Bezinkbekken	4
3.2. Interne verwijdering	5
3.2.1. Grondschraper/bodemkrabber	6
3.2.2. Conische bodem	8
3.3. Niets doen	8
4. CONCLUSIE	10
5. BIJLAGES	11
5.1. Kostenraming voor een gesloten waswatercircuit	11
5.2. Mail uitbater i.v.m. uitkuisen vergister	12
6. REFERENTIES	13

2. Inleiding

Vergistingstesten uitgevoerd in het project wijzen erop dat het vergisten van preiresten vergistingstechnisch gezien stabiel lukt. Er wordt echter wel opgemerkt dat er bij preiresten (en andere plantaardige reststromen) vaak resten aarde en/of zand aanwezig zijn. Testen toonden aan dat er 50 tot 80% asrest kan zijn op de droge stof bij preiresten, afhankelijk van de batch. Indien zand niet verwijderd wordt, kan dit gaan bezinken in de vergistingsreactor (Amon et al. 2016). Hierdoor wordt na verloop van tijd het actief volume van de reactor kleiner en daalt de verblijftijd en aldus het rendement. Bovendien kan dit zand ook een negatieve invloed hebben op het vergistingsproces. Hoe "vuiler" de reststroom, hoe lager het methaanpotentieel. Daarnaast zal er bv. meer gemixt moeten worden. Hierdoor wordt het eigen verbruik van de installatie hoger en het rendement lager.

3. Scenario's

Om deze nadelen te vermijden, werden verschillende scenario's bedacht om het zand vooraf of tijdens het vergistingsproces te verwijderen. Kan het zand vooraf verwijderd worden door de reststromen te wassen, of via een bezinkbekken? Of is er een manier om de bezinkingslaag intern te gaan verwijderen? Het bijhorende kostenplaatje werd telkens berekend en vergeleken met de situatie waarbij het zand niet wordt verwijderd.

3.1. VOORAF VERWIJDEREN

Als het zand al dan niet volledig kan verwijderd worden vooraleer het in de vergister terecht komt, zal er een kleiner effect op het vergistingsproces en effectief volume zijn. De meest haalbare scenario's om dit te bekomen, lijkt door de preiresten vooraf te gaan wassen zoals in de preiwasinstallatie, of door de preiresten door een bezinkbekken te laten drijven.

3.1.1. Wassen

In dit scenario worden de preiresten gewassen vooraleer deze in de vergister terecht komen. Een wasinstallatie voor de preiresten in het wasproces integreren kan ervoor zorgen dat de preiresten automatisch in de wasinstallatie terecht komen en daarna verder gaan naar een opslagplaats of rechtstreeks naar de vergister. Een offerte voor een nieuwe, gespecialiseerde wasinstallatie loopt al snel op tot € 18.000. Dit omvat een installatie, geplaatst en geleverd, met inox trommel van 1 m diameter en 2 m lang, met motor met frequentiesturing en de nodige keuring. Een groepsaankoop van meerdere installaties met verschillende landbouwbedrijven zou de prijs kunnen drukken.

Een preiwasinstallatie verbruikt gemiddeld 10 m³ water per uur. Voor een aangepaste wasinstallatie voor enkel preiresten gaan we er van uit dat slechts de helft nodig is: 5 m³/u. Hoeveel water er nodig is om de preiresten te wassen, hangt dus voornamelijk af van de hoeveelheid preiresten. Als er niet met het gebruikte water van de preiwasinstallatie gewerkt kan worden, wordt de prijs berekend van een nieuwe waterput van 5.000 liter.

Hou er rekening mee dat de biomassa, de preiresten, tijdens het wassen water opneemt. De massa organische stof per verse massa daalt door deze vochtopname, wat de biogasproductie licht doet afnemen. De preiresten niet rechtstreeks in de vergister brengen, maar eerst enkele uren opslaan, kan dit effect minimaliseren. Aan de andere kant helpt het water om de preiresten verpompbaar te maken en makkelijker in de huidige vergisters te brengen.

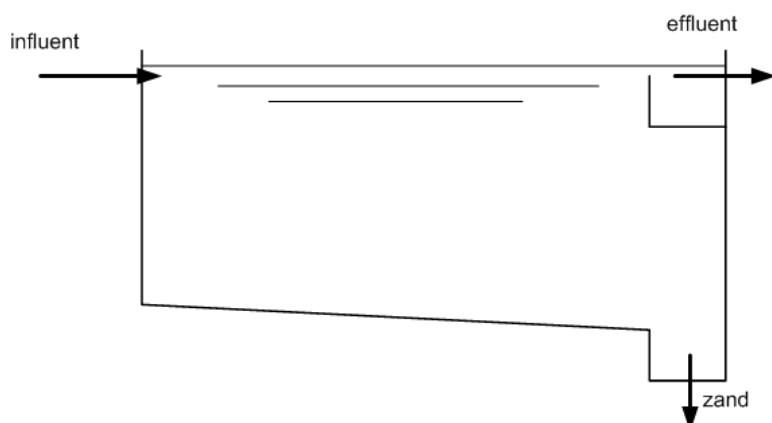
Tabel 1: Overzicht kosten bij het vooraf verwijderen van aarde- en/of zandresten via een wasinstallatie.

Categorie	Specifiek	Opmerkingen	Kostprijs
Wassen	Installatie	Eenmalige aankoop	€ 18.000
Water	Vers	Waterput → 5 m ³ /u, maar kan hergebruikt worden	€ 1.500 (waterput 5.000 liter) ¹
	Hergebruikt	Bv. van preiwasinstallatie → 5 m ³ /u	-
Totaal			± € 18.000 – 19.500

3.1.2. Bezinkbekken

Zand kan ook vooraf worden verwijderd door de preiresten door een bezinkbekken te sturen. Met bezinkbekken wordt een langwerpige bassin met water bedoeld. Preiresten worden door dit bassin gestuurd en blijven drijven, terwijl het zand of aarde door het water bezinkt (Figuur 1). Daarna kunnen de preiresten verder naar de vergister. In dit scenario is een bezinkbekken nog niet aanwezig en moet dit nog worden aangekocht. Afhankelijk van de hoeveelheid preiresten die door de bezinkbekken moet, is een minimale grootte van 10 m³ aangewezen om de preiresten aan een voldoende groot debiet erdoor te kunnen sturen. Daarnaast zal er ook opnieuw water nodig zijn in het bekken, dat al dan niet vers kan zijn. Ook in het geval van een bezinkbekken zal de biomassa vocht opnemen.

¹ <https://www.septische-put.be/regenwaterput>



Figuur 1: Zandvanger. Mogelijk met organische stromen? (Bron: <https://www.envaqua.nl/portalpages/bezinking/>)

Tabel 2: Overzicht kosten bij het vooraf verwijderen van aarde- en/of zandresten via een bezinkbekken.

Categorie	Specifiek	Opmerkingen	Kostprijs
Plaatsen	Bezinkbekken	10-20 m ³ → betonwerken € 300/m ³ ²	€ 3.000 – 6.000
Water	Vers	Waterput → 5 m ³ /u, maar kan hergebruikt worden	€ 1.500 (waterput 5.000 liter) ¹
	Hergebruikt	Bv. van preiwasinstallatie → 5 m ³ /u	-
Totaal			€ 3.000 – 7.500

Een bezinkbekken kan makkelijk zwaardere materialen verwijderen. Zand kan echter sterk binden aan de organische substanties. Het is dus mogelijk dat niet alle zand zal bezinken, in tegenstelling tot bv. stenen (Amon et al. 2016).

3.2. INTERNE VERWIJDERING

In plaats van het zand voorafgaand aan het vergistingsproces te verwijderen, zou het ook intern in de reactor verwijderd kunnen worden. Bij staande vergisters, zoals ze bij de landbouwers hoofdzakelijk voorkomen, zijn een grondschraper of een conische bodem met verwijderingspomp opties (Tabel 3).

Momenteel zijn de huidige kleinschalige biogasinstallaties niet voorzien om een grondschraper of conische bodem te voorzien. Voor de installatie van een grondschraper mag er geen middenpaal in

² <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/selectiesystemen/wass/technieken/bezinken>

de installatie aanwezig zijn. De wanden zouden dus steviger moeten zijn en een traditionele kap of membraan gesteund door een middenpaal is geen optie. De huidige bodem is ook niet conisch en er wordt geen afvoer van 1 m diep voorzien. Opteren voor één van deze opties zou dus betekenen dat de bouwwijze van de huidige kleinschalige installaties in België grondig herzien moet worden. Vanwege het compleet nieuwe concept, het moeten aanpassen van de bouwplannen en het gebruik van andere, nieuwe materialen van betere kwaliteit kan er niet meteen een meerprijs aan dit scenario gebonden worden (persoonlijke communicatie, technologieconstructeur). Vanwege de hogere kostprijs is het mogelijk dat de installaties niet langer rendabel zijn. Bovendien zou de uitrol van nieuwe installaties kinderziektes met zich kunnen meebrengen.

Tabel 3: Technologie van sedimentaire extractiesystemen (Amon et al. 2016).

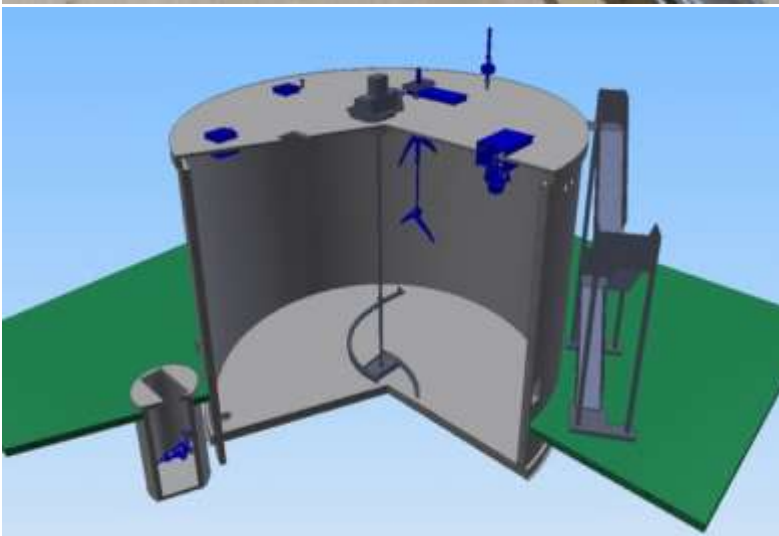
Geschiktheid	<ul style="list-style-type: none"> • Bodemschrappers alleen in staande vergisters met ronde en vlakke bodem • Schroefperzen in horizontale en verticale fermentoren • Conische vergisterbodems in staande vergisters
Bijzondere kenmerken	<ul style="list-style-type: none"> • Afvoerbouten moeten ofwel vloeistofdicht door de muur van de vergister worden geleid of gasdicht over de wand van de vergister • De ontlading van het bezinksel kan sterke geuren veroorzaken • Voor afvoerschroeven moet een pompput of iets soortgelijks in de vergister worden geïntegreerd
Types	<ul style="list-style-type: none"> • Grondschraper met externe aandrijving voor transport van de bezinkingslaag naar buiten • Afvoerschroeven op de bodem van de vergister • Conische bodem van de fermentor met verwijderingspomp en zinkloodroerwerk of spoelapparaat
Onderhoud	<ul style="list-style-type: none"> • Het onderhoud is aangesloten op de afvoer van de vergister in permanent geïnstalleerde systemen, dus externe aandrijvingen of verwijderbare onderdelen zijn een voordeel • Veiligheidsvoorschriften bij het werken in de vergister moeten steeds in acht worden genomen

3.2.1. Grondschraper/bodemkrabber

De grondschraper (Figuur 2) is een mechanisme binnenin de reactor, van toepassing bij staande vergisters tot een diameter van 14 – 18 m en tot 20 m hoog. Omdat het draaimechanisme in het midden van de reactor geïnstalleerd wordt, kan een grondschraper enkel worden geplaatst in een reactor zonder middenpaal. Het vermogen van de schraper zou ongeveer 0,55 – 1,35 kW bedragen. Het sediment wordt door deze schraper naar een afvoer aan de buitenzijde van de reactorbodemp gevoerd, waarna het via ofwel een afvoerschroef ofwel een sedimentafvoerpomp en sedimentafscheider naar een aparte put afgevoerd wordt (Figuur 3). Vloeistof- en gasdichte afwerking is belangrijk.



Figuur 2: Voorbeeld van een grondschraper/bodemkrabber (Bron: <http://www.biogas-hochreiter.de/en/sand-scraper/>).



Figuur 3: Grondschraper in een biogasinstallatie (Bron: https://www.fitec.com/inhalt.php?cd_categoriaGeral=47&li=1#prettyPhoto).

3.2.2. Conische bodem

Bij het toepassen van een conische bodem moet de reactorbodem met 5% afhellen naar het midden toe, in trechtervorm. De reactor moet gemiddeld 2 m diameter zijn en de trechterafvoer moet gemiddeld 1 m diep zijn. Het sediment kan op deze manier via een verwijderingspomp afgevoerd worden. Er is ook een zinkloodroerwerk of een spoelapparaat nodig.

3.3. NIETS DOEN

De preiresten kunnen natuurlijk ook zonder voorafgaande of interne verwijdering van zand en/of aarde vergist worden. Dit zal echter gevolgen hebben op langere termijn. Het aanwezige zand zal naar de bodem van de reactor bezinken en aancoeken. Dit zorgt na verloop van tijd voor een daling van het actief volume. Hieruit volgt dat de verblijftijd zal dalen, en hieraan gekoppeld ook het biogasrendement.

Een derde oplossing hiervoor is dat de reactor na verloop van tijd (bij de huidige melkveehouders gemiddeld 6 à 7 jaar) zal moeten worden opengemaakt, geledigd, uitgekuist en daarna terug gevuld met nieuw digestaat. Hier zijn voornamelijk werkuren aan verbonden. Daarnaast zijn er ook risico's aan verbonden. Bij het ledigen en kuisen moet er opgelet worden dat er bij een aanwezige liner geen lekken worden veroorzaakt. Het openen van de reactor kan daarnaast ook nog andere problemen blootleggen, waardoor er extra kosten kunnen bijkomen. Wees ook steeds waakzaam voor de mestgassen die bij het openen in de reactor aanwezig blijven. Neem geen risico's en ga niet onbeschermd in de reactor alvorens deze ontgast wordt en veilig is verklaard.

In het algemeen brengt dit met zich mee dat de vergister een tijd niet naar behoren kan werken (zowel bij het dalen van het actief volume, als bij de opstart), en ook volledig stil zal liggen voor minstens enkele dagen (bij het ledigen en kuisen van de installatie). Dit heeft een grote invloed op het rendement.

Op basis van een kleinschalige vergistingsinstallatie die reeds werd geopend, geledigd, gekuist en opnieuw gevuld, werd onderstaand overzicht van kosten uitgewerkt (persoonlijke communicatie, zie 5.2 Mail uitbater i.v.m. uitkuisen vergister). In totaal werkte in dit specifieke geval de reactor vier maanden niet naar behoren. Deze periode kan verschillen naargelang de snelheid van de service van de constructeur en het tijdig handelen van de uitbater.

Tabel 4: Overzicht kosten bij het legen, kuisen en opnieuw vullen van de vergistingsinstallatie door de bezinkingslaag. Afhankelijk van vergister tot vergister en hoe snel de bezinkingslaag aangroeit, komt deze kost gemiddeld om de 6 à 7 jaar voor.

Categorie	Specifiek	Opmerkingen	Kostprijs
Ledigen	Werkuren	Verplaatsing en 17 manuren (incl. eigen uren) → € 45/u	€ 765
	Verplaatsing	Vaste kost dienstreis	€ 75
Kuisen	Werkuren	9 manuren (incl. eigen uren) → € 45/u	€ 405

	Verplaatsing	Vaste kost dienstreis	€ 75
	Extra kosten	Water voor uitspoelen, elektriciteit voor machines en pompen, ...	€ 30
Vullen	Werkuren	5 manuren (incl. eigen uren) → € 45/u	€ 225
	Verplaatsing	Vaste kost dienstreis	€ 75
	Digestaat	2x 29 ton → € 5/ton ontvangen	– € 290
Totaal			€ 1.360

4. Conclusie

Indien er reeds voorzieningen aanwezig zouden zijn om preiresten vooraf te kunnen wassen, kan hiervan gebruik gemaakt worden zonder al te veel extra kosten, of mits kleine aanpassingen. Gezien de huidige waterproblematiek lijkt het nieuw aankopen van wasinstallaties waarvoor water nodig is echter niet de beste oplossing.

Een bezinkbekken is de goedkoopste oplossing van de oplossingsscenario's (in vergelijking met het wassen en interne verwijdering), maar lost de problematiek mogelijk niet volledig op. Het kan zijn dat zand, weliswaar in mindere mate, toch nog in de vergister terecht komt, en na verloop van tijd de vergister toch moet geledigd worden.

Het gebruik van een grondschraper of conische bodem zou een heel drastische wijziging van de kleinschalige vergistingsinstallaties in België met zich meebrengen. De meerprijs die dit vraagt, zorgt ervoor dat deze installaties niet meer rendabel zouden zijn.

De beste en goedkoopste oplossing lijkt niets te doen. Hou er dan rekening mee dat de installatie om de zoveel jaar wordt geopend, gekuist en opnieuw gevuld.

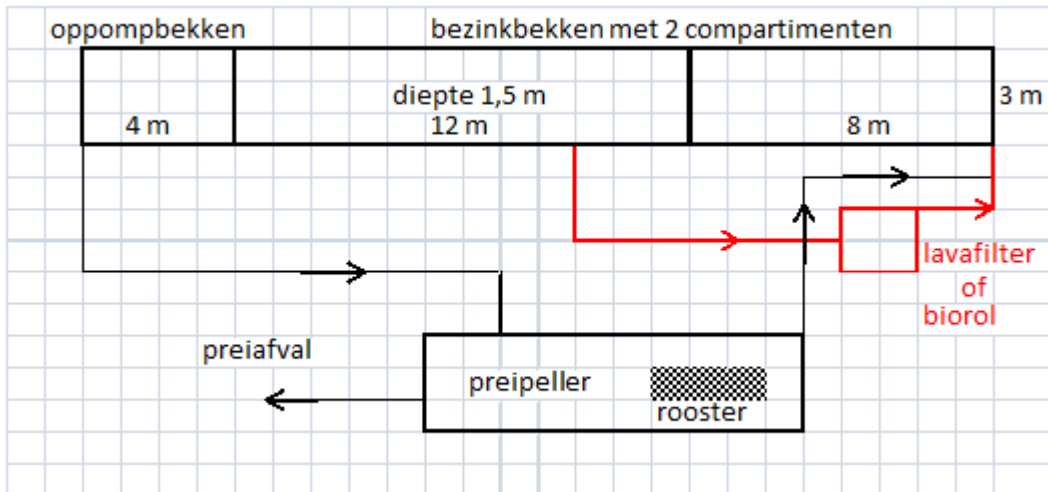
Het project Pocket Power is een project van Inagro en Universiteit Gent dat wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.



Vlaanderen
is ondernemen

5. Bijlages

5.1. KOSTENRAMING VOOR EEN GESLOTEN WASWATERCIRCUIT³



Indicatieve prijslijst (excl. btw)

Kostprijs inox rooster

(diameter gaatjes: 1 mm): 90 euro/m² (prijs 2011)

(diameter gaatjes: 2 mm): 65 euro/m² (prijs 2011)

Kostprijs bekken gegoten: 190 euro/m³ (prijs 2007, PSKW)

Zandvang inox: 2.000 euro (prijs 2006)

Zeefbocht (h=1,4 m; l=0,95 m; b=0,5 m; debiet=30 m³/h): 3.500 euro (prijs 2011)

Gietijzer dompelpomp: 800 euro (doorlaat 50 mm) à 1600 euro (doorlaat 70 mm) (prijs 2011)

Gietijzer dompelpomp + vortexwaaier (= versnijdende pomp): 1.700 euro (prijs 2011)

Lavastenen:

50 euro/m³ (prijs 2008: zelf afhalen)

75 euro/m³ (prijs 2008: bij levering)

Container: 60 euro

Dompelpomp: 400 euro

+ onderhoudskosten lavafilter: 200 euro/jaar

Biorol (levering en plaatsing): 3.000 euro (kostprijs 2007, PSKW)

³ <https://lv.vlaanderen.be/en/node/3832>

5.2. MAIL UITBATER I.V.M. UITKUISEN VERGISTER

"Mijn reactor heeft lang stil gelegen door twijfel of ik er nog kosten ging aan doen en dan later als ik deze wel ging doen, dan nog opnieuw twijfelen en gesprekken i.v.m. met het verhogen van de reactor want dit is pas nadien dan beslist.

De reactor is open gedaan door de constructeur (verplaatsing 75 euro uurtarief 45 euro). Er zijn daarvoor 2 man geweest, ik dacht 1 voormiddag (2x3u?).

In de namiddag heb ik dan nog zelf verder gedaan (membraan afsputten met hogedruk en wegdoen, net eraf doen...) geen idee meer van hoelang exact. Wel ik alleen, ik vermoed 3-4uur.

Het volgende is de reactor laten leeglopen geweest deze was nog met mest gevuld, tijdens het leeglopen heb ik de binnenkant met een drukspuit van buiten uit op de lader gespoten.

Ik vermoed dat dit een andere namiddag was en terug een uur of 3-4 ingeschat (foto's trekken, opruimen drukspuit enzo allemaal inclusief).

Dan stond er nog een deel mest in + het bezinksel, dan heb ik een beetje zitten sukkelen, ik dacht dat die mest redelijk dun was en heb geprobeerd met een vuil water pomp dit te pompen maar dit lukte niet echt, constant verstoppingen ... Volgende poging was met de aalton en een lange polyethyleendarm die met speciale koppeling past op de aalton en waarmee ik dus wel over de wand van de vergister raak. Nadeel is de kleine diameter van die darm en dit heeft ook een uur of 3 geduurd.

Dan schoot er nog een redelijke hoop bezinksel over en ertussen nog wat mest smurrie. Deze heb ik er met de schop met de hand allemaal uitgespit en over de wand van de vergister gegooid, dat werkje heb ik wel verdeeld over 2 namiddagen met wat pauze voor ander werk tussen. In totaal denk ik terug 4uur werk. Ik heb geen verreiker of grote kraan, vandaar. Het opscheppen van buiten de vergister is later met de bobcat gebeurd en is niet veel werk.

Dan is er veel tijd tussen gegaan tot dat de constructeur belde dat ze gingen komen (stukken moesten in productie om te maken (panelen om erop te plaatsen). Ondertussen had het dus wel al weer geregend en stond er wel een 20cm water in de reactor dit moest er dus weer allemaal uitgezogen worden met de aalbak en die polyethyleendarm. Weer 2 uren wel met 3 man want water samenvegen naar 1 plaats om het te kunnen opzuigen is niet makkelijk op een " platte "vloer.

Had de constructeur de vloer met helling voorzien naar het midden van de vloer en had er daar dan een buis gezeten die alles kan doen afvloeien ging er dus veel werk en kosten gespaart zijn.

Had er in de zijwand een opening geweest (mangat) ging dit ook veel makkelijker geweest zijn, ik dacht gehoord te hebben dat er constructeurs zijn die dit wel doen.

De constructeur is hier 3 effectieve werkdagen bezig geweest in 3 verschillende weken met alle aanpassingen.

De opstart is kort daarna gebeurd met digestaat 2x 29 ton hiervoor kon ik wel 5euro/ton ontvangen, maar die mest moet ik wel ook afzetten dat digestaat had wel zeer warm en daardoor kan redelijk direct opgestart worden."

6. Referenties

Amon, T., P. B. Urs, J. Daniel-Gromke, V. Denysenko, H. Döhler, I. Falke, and E. Fischer. 2016. *Leitfaden Biogas - Von der Gewinnung zur Nutzung*. 7 ed. Teamkast ECE, edited by Abteilung Öffentlichkeitsarbeit Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR).

Bijlage 14: Inkuilproeven prei

Langdurige bewaring van preiresten

Literatuurstudie

Tine Vergote

Biogaspotentieel van gefermenteerde prei en de invloed van langdurige bewaring

Carl Coudron

WP4, T4.3: Opslag
Pocket Power



Inhoudstafel

1. DOELSTELLING	3
2. LITERATUURSTUDIE	3
2.1. Inkuilproces: theorie	3
2.2. Uitgevoerde inkuilexperimenten: praktijk	5
2.2.1. Verschillende inkuilexperimenten	7
2.2.2. Kwaliteitsparameters kuil	9
2.2.3. Aanbevelingen	11
3. VERKENNENDE LABOTESTEN	12
3.1. Verkleinen van de preiresten	13
3.2. Fermentatieverloop	14
3.3. Gasvorming	15
4. LANGDURIGE BEWAARBAARHEID VAN PREIRESTEN	16
4.1. Materiaal en methodes	16
4.2. Resultaten en discussie	17
5. CONCLUSIE	21
6. BIJLAGES	22
7. BIBLIOGRAFIE	25

1. Doelstelling

Groenteresten zijn zeer seizoensgebonden waardoor ze niet continu beschikbaar zijn als input voor de vergister. Om de continue werking van een vergister op groenteresten te kunnen garanderen, is langdurige opslag dus noodzakelijk. Opdat opgeslagen groenteresten bruikbaar zouden blijven voor vergisting, moet zoveel mogelijk van het oorspronkelijke biogaspotentieel behouden blijven tijdens opslag. Decompositie van de oogstresten moet dus vermeden worden.

Om die problematiek aan te pakken, gaan we in de literatuur na welke manier van bewaring, hoofdzakelijk inkuilen, geschikt lijkt voor de opslag van preiresten. Daarna bekijken we in de praktijk of preiresten via fermentatie gestabiliseerd kunnen worden. De gestabiliseerde prei is minder vatbaar voor rotting, waardoor er geen geuroverlast optreedt.

2. Literatuurstudie

In de literatuur wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende opslagmethoden. *Openluchtopslag* wordt voornamelijk toegepast bij agro-residuen zoals mest. Hoewel deze opslagmethode goedkoop is, zullen substantiële verliezen in biogaspotentieel optreden tijdens opslag. De twee voornaamste types opslag voor groenteresten zijn hooisystemen en inkuilen. Bij *hooisystemen*, waar balen worden gemaakt na een droogperiode op het veld, zal veel droge stof (DS) verloren gaan. Bij *inkuilen* zal een biochemisch proces doorgaan, namelijk een bacteriële fermentatie onder anaerobe condities, wat verdere degradatie tegenhoudt (Teixeira Franco et al., 2016). Tijdens inkuilen worden agro-residuen bewaard zonder dat deze worden gestabiliseerd (wat wel het geval is bij composteren), wat maakt dat degradatie pas zal optreden na de inkuilperiode (Ruysschaert et al., 2014) indien het inkuilproces op een correcte wijze doorging (minimale gewichts- en energieverliezen) (Teixeira Franco et al., 2016).

Definitie inkuilen: Tijdens inkuilen worden wateroplosbare koolhydraten gefermenteerd door anaerobe bacteriën. Organische zuren worden gevormd wat voor een pH-daling zorgt en de verdere microbiële activiteit zal inhiberen. Hierdoor wordt langdurige opslag mogelijk (zonder grote verliezen) (Agneessens et al., 2015; Egg et al., 1993).

2.1. INKUILPROCES: THEORIE

Het inkuilproces kan onderverdeeld worden in 4 verschillende periodes (Egg et al., 1993; Teixeira Franco et al., 2016, 2018):

1. Initiële aerobe periode

Biomassa-respiratie vindt plaats na vullen en afsluiten van de kuil tot de zuurstof uitgeput is (suikers worden door middel van O_2 omgezet naar CO_2 en water).

2. Anaerobe fermentatie

Nadat de zuurstof uitgeput is (meestal na enkele uren), zal er competitie ontstaan voor organische materiaal door micro-organismen die in staat zijn anaeroob te groeien (bv. melkzuurbacteriën (LAB), Enterobacteriën, Clostridia, schimmels). Indien omstandigheden geschikt zijn, zullen LAB melkzuur produceren voor meerdere weken waardoor de pH zal dalen tot 4.

3. Stabilisatieperiode

De pH blijft stabiel (minimale microbiële activiteit).

4. Uitvoerperiode

Als de kuil opengaat, zal opnieuw een aerob milieu worden gecreëerd waardoor een reactivatie van de aerobe micro-organismen zal plaatsvinden (tot 15% van absolute energie kan hierdoor verloren gaan).

Vier belangrijke groepen micro-organismen zullen voorkomen tijdens inkuilen (Egg et al., 1993):

1. **Coliformbacteriën** (Enterobacteriën): dominant tijdens het eerste stadium van de fermentatie. Deze bacteriën zetten suikers om naar voornamelijk azijnzuur.
2. **Gisten en schimmels**: voornamelijk actief tijdens aerobe afbraak in slecht afgesloten zones.
3. **Melkzuurbacteriën**: vervangen coliformbacteriën na ongeveer een week (activiteit start al in eerste aerobe fase (facultatief anaeroob)). Als voldoende melkzuur gevormd is, zal de microbiële activiteit onderdrukt worden (Rooke & Hatfield, 2003).
 - o Homofermentatieve melkzuurbacteriën: omzetting van suikers naar melkzuur
 - o Heterofermentatieve melkzuurbacteriën: omzetting van suikers naar melkzuur, azijnzuur en ethanol
4. **Endospore-vormende bacteriën**: bv. Clostridia

Algemeen worden volgende restricties opgelegd voor inkuilen: het **DS-gehalte** moet **hoger zijn dan 20%** (liefst zelfs hoger dan 30%) en het **vochtgehalte** moet binnen de range van **20-50%** vallen. Inkuilen van zuiver oogstresten kan problemen opleveren aangezien deze een laag DS-gehalte, een hoog vochtgehalte en lage C:N ratio hebben. Toevoeging van structureel materiaal met een hoog DS en organisch droge stof (oDS)-gehalte zal dus waarschijnlijk nodig zijn om een goede kuil kwaliteit te verkrijgen (bv. maïsstro) (Agneessens et al., 2014, 2015).

Melkzuurkuilen zullen geproduceerd worden als gewasresten veel **wateroplosbare koolhydraten** bevatten (Egg et al., 1993; Teixeira Franco et al., 2017). LAB zullen dus domineren over andere micro-organismen (bv. Clostridia) indien het substraat niet limiterend is (Rooke & Hatfield, 2003). Als er onvoldoende wateroplosbare koolhydraten aanwezig zijn, zal initieel snelle melkzuurfermentatie plaatsvinden waarna **clostridiale fermentatie** (secundaire fermentatie) kan optreden. Clostridia fermenteren suikers en melkzuur tot boterzuur. Tijdens de vorming van boterzuur zal veel energie verbruikt worden, waardoor clostridiale fermentatie **vermeden moet worden vanuit het standpunt van energiebehoud** (Egg et al., 1993; Teixeira Franco et al., 2017). Bij een hoog DS-gehalte (> 25-30%) en een laag vochtgehalte zal clostridiale fermentatie weinig voorkomen, aangezien Clostridia voornamelijk groeien onder vochtige omstandigheden (Teixeira Franco et al., 2016). 'Field wilting' (natuurlijk luchtdrogen van gewassen na oogst) kan het DS-gehalte doen toenemen en zo de groei van Clostridia tegengaan, indien het droogproces kan doorgaan onder ideale weersomstandigheden. Secundaire fermentatie wordt gekenmerkt door hogere pH-waarden (5-7), aangezien boterzuur een zwakker zuur is dan melkzuur, en lage melkzuurhoeveelheden (Egg et al., 1993; Teixeira Franco et al., 2018).

Indien het ingekuilde product gebruikt moet worden voor energieproductie (vergisting), zullen **energieverliezen** zoveel mogelijk **ingerpakt moeten worden**. Tijdens elke fase van het inkuilproces kunnen **(on)vermijdelijke verliezen** optreden. Echter, goed management kan deze verliezen reduceren (Borreani et al., 2018). Onvermijdelijk energieverliezen komen voor tijdens respiratie, fermentatie, effluentverlies en 'field wilting' (Tabel 1). Tijdens **respiratie** zal warmte worden ontwikkeld die de silo niet kan verlaten, waardoor de temperatuur in de silo zal stijgen. Een temperatuurstijging kan nefast zijn voor het inkuilproces aangezien meer eiwitdegradatie zal optreden (verlagen voedingswaarde, minder van belang bij vergisting) en Clostridia een hogere optimale groeitemperatuur hebben (competitie met LAB) (Rooke & Hatfield, 2003). Verder zijn **homofermentatieve LAB** het meest efficiënt in de productie van melkzuur (twee moleculen) en behoud van

energie. **Heterofermentatieve LAB** zullen hogere verliezen induceren aangezien meer azijnzuur i.p.v. melkzuur wordt gevormd wat zorgt voor een hogere pH (Rooke & Hatfield, 2003). Daarnaast kan het **effluent** ook veel wateroplosbare koolhydraten en melkzuur bevatten waardoor verlies van effluent zal leiden tot verlies van DS en energie (eventueel vermijden door droogperiode na oogsten). Vandaar dat sapverliezen best opgevangen en gevoed worden aan de vergister (Egg et al., 1993). Voorafgaand aan de eerste aerobe fase in de silo, kan ook een **aerobe veldfase** voorkomen. De lengte van deze fase kan een significante invloed hebben op de hoeveelheid fermenteerbaar substraat aanwezig voor inkuilen. Direct inkuilen zal verliezen inperken. Echter, drogen voor inkuilen ('field wilting') heeft ook zijn voordelen, namelijk: het vochtgehalte zal dalen en de clostridiale en enterobacteriale groei zal geïnhibeerd worden (Rooke & Hatfield, 2003). Verliezen zullen echter enkel minimaal zijn als de **droogperiode** onder ideale weersomstandigheden heeft plaatsgevonden. Te vermijden verliezen kunnen toegewezen worden aan secundaire fermentatie en aerobe afbraak. **Secundaire fermentatie** komt voornamelijk voor bij lage DS-gehalten en zal tot energieverliezen leiden door de vorming van boterzuur (Egg et al., 1993; Teixeira Franco et al., 2018). **Aerobe afbraak** kan vermeden worden door een geschikte siloconstructie, snel afsluiten van de kuil en hoge uitvoersnelheden/hoeveelheden (Teixeira Franco et al., 2016).

Tabel 1: Mogelijke energieverliezen tijdens inkuilen (Egg et al., 1993)

Process	Avoidability	Loss (%)
Respiration	Unavoidable	1-2
Fermentation	Unavoidable	2-4
Effluent or	Mutually	5->7
field loss by wilting	Unavoidable	2->5
Secondary fermentation	Avoidable	0->5
Aerobic deterioration in storage	Avoidable	0->10
Aerobic deterioration after storage	Avoidable	0->15
Total		7->40

Additieven (variabele impact, nu enkel bij gras positieve trend) (Teixeira Franco et al., 2016):

- **Fermentatiestimulansen** = melkzuurfermentatie stimuleren
 - o Enzymen: indirecte stijging van biodegradeerbaar materiaal (= wateroplosbare koolhydraten) want d.m.v. cellulase en xylanase worden fermenteerbare suikers uit celwanden gemaakt
 - o Koolhydraatbronnen: directe stijging van biodegradeerbaar materiaal (bv. molasses en suikers) wat substraat is voor melkzuurbacteriën
 - o Melkzuurbacterie-innoculans
- **Fermentatie-inhibitoren** = pH reduceren om microbiële groei te beperken
 - o Bewaring van origineel materiaal door minerale zuren of mierenzuur (methaanzuur)
- **Absorbens** = reduceert DS-verlies (bv. suikerbietenpulp, stro)
- **Aerobe afbraakinhibitie** = controle van afbraak bij luchtcontact (LAB, propionzuur)

2.2. UITGEVOERDE INKUILEXPERIMENTEN: PRAKTIJK

Inkuilexperimenten met gewasresten van **bloemkool**, **prei**, **bleekselder** en **witte kool** op laboschaal (Agneessens et al., 2014a, 2014b, 2015):

Tijdens jaar 1 werden **oogstresten ingekuuld in een 1:1 volumeverhouding met maïsstro** in **luchtdichte inkuilemmers van 15L (Agriton)** die beschikken over een rooster om sapverliezen op te vangen. Gewasresten van bloemkool en bleekselder werden manueel verzameld, preiresten waren afkomstig van de preiwas op de boerderij en resten van sluitkool werden machinaal afgevoerd (met een klepelmaaier). Manuele

verzameling geniet de voorkeur aangezien hierdoor een groot aandeel aarde wordt vermeden. In jaar 2 volgde een herhaling voor selder, prei en bloemkool waarbij variaties in volumepercentage werden getest om te bepalen of het inkuilen van een groter aandeel oogstresten (t.o.v. maisstro) mogelijk is (Tabel 2). De oogstresten werden voor de werkelijke inkuilperiode opgeslagen op 4°C om decompositie te vermijden. Resten werden manueel versneden tot stukken van **5 cm en 3 cm** in respectievelijk jaar 1 en 2. Maisstro werd mechanisch versneden tot **1 cm**. Op basis van de verse bulkdensiteit per agro-residue kon bepaald worden hoeveel massa van elk moest worden toegevoegd aan de inkuilemmer om een 1:1-verhouding te bekomen. Ook werd de bulkdensiteit van het mengsel in de emmer bepaald. Het experiment omvatte telkens **4 replicaten**. De kuilkwiteit werd beoordeeld na **3 tot 4 maanden**.

Tabel 2: Specificaties laboschaal inkuilexperimenten uitgevoerd door Agneessens et al. (2014b)

Proefjaar	Behandeling	Gewicht		Volume	
		% gewasrest	% maisstro	% gewasrest	% maisstro
1	witte kool	76	24	50	50
	selder	47	53	50	50
	prei	61	39	50	50
	bloemkool	64	36	50	50
2	selder	69	31	50	50
	prei	100	0	100	0
		82	18	75	25
		69	31	60	40
bloemkool	85	15	76	24	

Na de inkuilperiode gebeurde de bemonstering als volgt:

- Gesloten emmer wegen (4 emmers per inkuilmengsel)
- Hoeveelheid sapverlies controleren, opvangen en wegen
- Emmer openen, staal nemen van het midden, materiaal mengen – 2 stalen per emmer worden vacuümgetrokken voor verdere analyse
- Verse bulkdensiteit bepalen voor elk materiaal (om gewichten te berekenen voor extracties)
- Verschillende parameters bepalen (pH, (o)DS, asgehalte, N, P, C/N, C/P, zware metalen, Ca, K, Mg, Na, OUR, procentueel aandeel zuren, Flieg's score...)

Het DS-gehalte van de gebruikte preiresten (1:1 verhouding) tijdens het eerste proefjaar bedroeg 16,5%. Tijdens het tweede proefjaar was dit 10,6% (60:40 verhouding) en 8,1% (100:0 verhouding). Het oDS-gehalte bedroeg respectievelijk 73, 89 en 78% (van het DS-gehalte). Naast het DS-gehalte zal ook het oDS-gehalte belangrijk zijn bij vergisting aangezien dit deel zal omgezet worden tot biogas. Een hoog DS-gehalte zal niet persé positief zijn bij inkuilen aangezien dit ook kan wijzen op de aanwezigheid van veel aarde (laag oDS in dat geval) (Agneessens et al., 2014b).

Na de inkuilperiode varieerde de pH in de inkuilemmers met preiresten tussen 3,8 en 4,4 wanneer respectievelijk 100:0 en 60:40 prei:maisstro werd ingekuild. Bij een lager DS-gehalte (8,1 vs. 10,6%) werd hier dus verrassend een lagere pH verkregen, wat wijst op een beter kuilkwiteit. Algemeen, verhoogde de bulkdensiteit na inkuilen (verlies van sap). Als het aandeel prei steeg, steeg de bulkdensiteit. Veel sap ging verloren bij het inkuilen van verse, zuivere prei (22-27% van het vers gewicht). Het materiaal in de kuilen bleef zeer onstabiel wat duidt op de aanwezigheid van nog veel organisch materiaal. De hoogste biogasproductie werd bekomen voor prei als

enige inkuilproduct (100:0 verhouding). Algemeen werd de beste kuil kwaliteit verkregen voor bleekselder op basis van pH en Flieg's score (geen biogaspotentieel voor bepaald). Deze twee parameters werden gebruikt in Agneessens et al. (2015) als proxies voor de kuil kwaliteit aangezien dit reflecteert in welke mate vetzuren werden geproduceerd tijdens inkuiling.

2.2.1. Verschillende inkuilexperimenten

Inkuilexperiment op pilotschaal met mengsel van **spruitstokken** en **maïsspil** (ARBOR, 2015):

- Kuil kwaliteit werd enkel kwalitatief bekeken
- Eerder grote delen oogstresten
- Bleek goede bewaring te zijn
- Machines getest om oogstresten te verkleinen → versnijding met industriële 'molen' verkozen
- Geen representatieve data voor het biogaspotentieel
- Herhaald voor bloemkoolresten + kaf van maïs (verzameld met omgevormde bieten-ontbladeraar)

Inkuilexperimenten met **mest/vanggewassen/tarwestro** in 3.5L luchtdichte ronde tonnen (Teixeira Franco et al., 2018):

- Inkuilen en openluchtopslag
- pH na inkuilen hoger dan 5 → waarschijnlijk te verklaren door het lage DS-gehalte van de ingekuilde biomassa waardoor secundaire fermentatie kon optreden door Clostridia
- Fermentatie door Clostridia zal exponentieel dalen als het DS-gehalte stijgt en bijna verwaarloosbaar zijn vanaf 30 DS%
- Echter, energieverliezen gelimiteerd tijdens inkuilen (argument: het is denkbaar dat clostridiale activiteit niet tot grote energieverliezen heeft geleden, tijdens vergisting kan de biochemische toegankelijkheid ook zijn gestegen, partiële degradatie van (hemi-)cellulose waardoor biomethaanpotentieel toeneemt)
- Methaanpotentieel voor sommige soorten biomassa bleef volledig behouden na 3 maanden inkuilen

Inkuilexperimenten met **vanggewassen** in 3.5L luchtdichte ronde tonnen (Teixeira Franco et al., 2017):

- Vanggewas met laag DS-gehalte (10.1%) en hoog wateroplosbaar koolhydraat-gehalte (12.0%oDS)
- Deel direct inkuilen, deel laten velddrogen en na 72h inkuilen, deel van veldgedroogde biomassa verder drogen voor 24h op het fornuis en daarna inkuilen of gebruiken voor openluchtopslag – de gebruikte biomassa werd verkleind tot 8 mm
- Door velddrogen daalde de hoeveelheid wateroplosbare koolhydraten
- Velddrogen inefficiënt als weercondities slecht zijn, onder deze omstandigheden beter direct inkuilen (verhoogde sapproductie, opvangen en in vergister brengen)
- Laag DS-gehalte:
 - Snellere acidificatie (snelle melkzuurvorming), maar daarna (na 15 – 20 dagen) instabiliteit en weinig tot geen melkzuurproductie meer, dan vooral azijnzuur en boterzuurvorming (secundaire fermentatie)
 - Biomethaanpotentieel steeg tijdens beginperiode (~20 dagen) aangezien dan deel van de lignocellulose fractie werd omgezet waardoor de biochemische toegankelijkheid verhoogde, erna geleidelijk aan een daling → bij biomassa met een hoog vochtgehalte zal instabiliteit van fermentatie dus gedeeltelijk worden gecompenseerd door een toename in de biochemische toegankelijkheid.
- Bij een hoger DS-gehalte trad bijna geen secundaire fermentatie (boterzuurvorming) op

- Instabiliteit door hoger vochtgehalte ook geïllustreerd door stijging in NH₃-N (proteolytische clostridiale activiteit) → weinig van dit ammoniak zal in de lucht terecht komen aangezien de pH van niet stabiele kuilen meestal onder de 7 blijft
- Inkuilen veel betere methode dan openluchtopslag voor bewaring van biomassa voor vergisting aangezien minder oDS en biomethaanpotentieel verloren gaat

Inkuilexperimenten met **tarwestro** in plastic zakken (op laboschaal) (Gallegos et al., 2017):

- Effect van verkleinen en inkuilen op biogasproductie tarwestro
- Inkuilen in plastic zakken op basis van Ashbell et al. (2001)
- Verkleinen tot 0,2 cm i.p.v. 2 cm deed melkzuurproductie stijgen (boterzuurproductie verwaarloosbaar) – door verkleining waren cellulose en lignine makkelijker te fermenteren door LAB
- pH relatief hoog (bij hogere DS) omdat meer azijnzuur t.o.v. melkzuur werd gevormd (heterofermentatieve pathway hier waarschijnlijk dominant) - hoge pH dus niet door clostridiale fermentatie want lage boterzuurproductie
- Bij hoger DS-gehalte zal kritische pH hoger liggen (zie kwaliteitsparameters)
- Methaanpotentieel van tarwestro stijgt met 26% door verkleining van 2 naar 0,2 cm
- Maximum methaanpotentieel bij kuil met 30% TS en verkleining tot 0,2 cm
- Echter, methaanpotentieel van ingekuuld, verkleind tarwestro van 2 cm was ongeveer gelijk aan dit van niet ingekuuld, verkleind tarwestro van 0,2 cm
- Effect van additieven beperkt

Inkuilexperimenten met **prei-** en **witte kool** resten op laboschaal (Viaene et al., 2017) – vergelijkbaar met (Agneessens et al., 2014b):

- Preiresten gebruikt die op de boerderij aanwezig zijn
- Versnijden 5x5cm, 50:50 en 60:40 verhouding met maïsstro
- Inkuilen in inkuilemmers (15L Agriton), 4 replicaten
- Vergisting van ingekuilde oogstresten (45 dagen op 38°C)
- Metingen staan beschreven voor verse bulkdichtheid, DS, oDS, asinhoud, pH, elektrische conductiviteit, TN, OUR, NH₄⁺-N...
- Resultaten na inkuilen: lage pH, hoge OUR, hoog biodegradatiepotentieel, meer NH₄-N dan NO₃-N want anaerobe condities
- Geen vergelijking tussen vergisting van preiresten en ingekuilde preiresten

Inkuilexperimenten met toppen van **suikerbiet**, **artisjok**, **raap**, **bloemkool** en **witte kool** (Zubr 1986):

- Vergisting van vers materiaal vergeleken met dit van ingekuuld materiaal (3L luchtdichte glazen potten)
- Het effect van inkuilen op het biomethaanpotentieel is variabel. Vaak kon er weinig verschil opgemerkt worden tussen beide.

Inkuilexperimenten met afval van **suikerbiet** en **tarwestro** (Hillion et al., 2018):

- Doel: opslag van agro-industrieel afval terwijl lignocellulose biomassa wordt voorbehandeld
- Opslag in plastic zakken met vacuümverpakking (18,4 cm x 28,9 cm)
- Afval van suikerbieten (17,6 DS%) en tarwestro (89 DS%) samenvoegen om DS% van 32,7 te verkrijgen
- Afval van suikerbieten versneden met de hand, tarwestro gemalen (0,1 – 1 mm)
- Suikerbieten: hoog vochtgehalte en veel oplosbare suikers
- Tarwestro: laag vochtgehalte en weinig oplosbare suikers, bestaat vooral uit (hemi-)cellulose en lignine wat moeilijk afbreekbaar is tijdens vergisting

- Door opslag voor inkuilen vond al wat melkzuurfermentatie plaats
- Inkuilexperimenten duurden 180 dagen – om de zoveel tijd werd bepaald welke taxonomische eenheden aanwezig waren en welke metabolieten voorkwamen
- De verschillende fases (aerobe fase, melkzuurfermentatie, ongewilde fermentatie, afname microbiële activiteit) konden onderscheiden worden op basis van deze metingen
- Snelle acidificatie vond plaats tijdens de eerste 14 dagen
- De suikerhoeveelheid bij aanvang van de inkuilexperimenten was laag (doordat al partiële melkzuurfermentatie had plaatsgevonden tijdens vooropslag), wat betekent dat deze kleiner is dan 7% van DS – dit laatste percentage is noodzakelijk om de pH onder de 4.5 te krijgen – bij deze experimenten was hoeveelheid wateroplosbare koolhydraten dus te laag (2.7% van DS)
- Door de hogere pH, werden de micro-organismen niet volledig geïnhibeerd waardoor ongewilde fermentatie optrad met conversie van melkzuur naar boterzuur en azijnzuur als gevolg – dit zorgde op zijn beurt opnieuw voor een pH-stijging aangezien melkzuur een sterker zuur is
- Smakelijkheid en eiwitverteerbaarheid niet van belang als het ingekuilde eindproductie niet als voeding maar als input voor de vergister wordt gebruikt
- Het methaanpotentieel bleef relatief goed behouden tijdens de opslagperiode
- De biodegradeerbaarheid van tarwestro bleek niet verbeterd te zijn

2.2.2. Kwaliteitsparameters kuil

- **Samendrukbaarheid:** hoe hoger, hoe meer anaerobe sites in de kuil en hoe hoger de kwaliteit
 - In grote kuilen van minder belang door grotere algemene drukkracht
 - $\text{Samendrukbaarheid} = V_{\text{oogstresten}} / V_{\text{inkuilemmer}} = \text{het volume dat kan samengedrukt worden in het vaste volume van de inkuilemmers}$
 - Hoog voor prei en selder (2,8) (Agneessens et al., 2015)
- **pH:** simpel en snelle methode (FAO, 2002)
 - pH < 4 = zeer goed
 - pH: 4.1 - 4.3 = goed
 - pH: 4.4 - 5 = middelmatig
 - pH > 5 = slecht

Een hogere pH duidt op secundaire fermentatie waarbij veel energie verloren gaat. Echter, de kritische pH zal ook afhankelijk zijn van het DS-gehalte (Tabel 3) en het voorkomen van homofermentatieve of heterofermentatieve LAB.

Tabel 3: Kritische pH in functie van DS-gehalte van de kuil (Teixeira Franco et al., 2016)

Total solids (%)	pH
15	4.10
20	4.20
25	4.35
30	4.45
35	4.60
40	4.75
45	4.85
50	5.00

- **Kleur:** goede kuil kwaliteit als **originele kleur** zoveel mogelijk behouden blijft. Bij inkuielen van groen materiaal zoals prei, duidt een groene/gele kleur op een goede kuil kwaliteit. Hoe lager de temperatuur tijdens het inkuielen, hoe minder kleurverandering zal optreden (bruin = slecht). Echter, kwaliteit baseren op kleur kan tot een foute evaluatie leiden bij sommige gewassen ('donker'). Vandaar dat wordt aangeraden om de kleur van de geproduceerde **sappen** te bekijken. Hoe lichter de kleur van de sappen, hoe groter de kuil kwaliteit (FAO, 2002).
- **Zuurstofopnamesnelheid (OUR):** indien dit kleiner is dan 5 mmol O₂/kg oDS/uur kan uitgegaan worden van een zeer stabiele kuil, indien dit groter is dan 30 mmol O₂/kg oDS/uur dan betreft het een zeer onstabiele kuil. Dit laatste zal ook bevestigd worden door een hoog biodegradatiepotentieel (Agneessens et al., 2014a).
- **NH₃-N/TN:** hoe hoger de ratio, hoe meer proteïnen gedegradeerd zijn en hoe lager de kuil kwaliteit (FAO, 2002). Indien proteolytische clostridiale activiteit optreedt, zal NH₃ gevormd worden door fermentatie van aminozuren en amides (Teixeira Franco et al., 2016).
- **Flieg's score (FS):** evaluatie van kuil kwaliteit op basis van het aandeel organische zuren. De aanwezigheid van bepaalde zuren (type en hoeveelheid) toont aan hoe de fermentatie heeft plaatsgevonden. Het ideale aandeel van een bepaald zuur t.o.v. de totale hoeveelheid zuren (som van melkzuur, azijnzuur, propaanzuur en boterzuur) is:
 - Melkzuur > 68%
 - Azijnzuur < 20%
 - Boterzuur < 0.1%

Indien alle drie voldaan, zal een maximale score van 100 bekomen worden. De score kan bepaald worden op basis van Tabel 4. Conclusies kunnen worden getrokken op basis van deze score (FAO, 2002), namelijk:

- FS: 0 - 20 = onvoldoende
- FS: 21 - 40 = middelmatig
- FS: 41 - 60 = voldoende
- FS: 61 - 80 = goed
- FS: 81 - 100 = zeer goed

Agneessens et al. (2014a) (Tabel 5 hieronder)

Andere formule in Balabanli et al. (2010): $FS = 220 + (2 \times \%DS - 15) - 40 \times pH$

Tabel 4: Evaluatie van kuil kwaliteit op basis van Flieg's score (Flieg, 1938 - (FAO, 2002))

Percent	Points			Percent	Points		
	Lactic	Acetic	Butyric		Lactic	Acetic	Butyric
0.0-0.1	0	25	50	28.1-3 0.0	5	20	10
0.2-0.5	0	25	48	30.1-3 2.0	6	19	9
0.6-1.0	0	25	45	32.1-3 4.0	7	18	8
1.1-1.6	0	25	43	34.1-3 6.0	8	17	7
1.7-2.0	0	25	40	36.1-3 8.0	9	16	6
2.1-3.0	0	25	38	38.1-4 0.0	10	15	5
3.1-4.0	0	25	37	40.1-4 2.0	11	14	4
4.1-5.0	0	25	35	42.1-4 4.0	12	13	3
5.1-6.0	0	25	34	44.1-4 6.0	13	12	2
6.1-7.0	0	25	33	46.1-4 8.0	14	11	1
7.1-8.0	0	25	32	48.1-5 0.0	15	10	0
8.1-9.0	0	25	31	50.1-5 2.0	16	9	-1
9.1-1 0.0	0	25	30	52.1-5 4.0	17	8	-2
10.1-1 2.0	0	25	28	54.1-5 6.0	18	7	-3
12.1-1 4.0	0	25	25	56.1-5 8.0	19	6	-4
14.1-1 6.0	0	25	24	58.1-6 0.0	20	5	-15
16.1-1 8.0	0	25	22	60.1-6 2.0	21	0	-10
18.1-2 0.0	0	25	20	62.1-6 4.0	22	0	-10
20.1-2 2.0	1	24	18	64.1-6 6.0	23	0	-10
22.1-2 4.0	2	23	16	66.1-6 8.0	24	0	-10
24.1-2 6.0	3	22	14	68.1-7 0.0	25	0	-10
26.1-2 8.0	4	21	12	>70	25	0	-10

Tabel 5: Procentueel aandeel zuren in de inkuilproducten bekomen door Agneessens et al., (2014a) en berekende Flieg's score

	Melkzuur	Azijnzuur	Propaanzuur	Boterzuur	Alcoholen	Totaal zuren
	%/ADS					
Sluitkool	0,00	3,22	0,27	0,85	1,07	4,34
Prei	2,44	4,82	0,46	0,00	2,22	7,73
Bloemkool	5,45	2,29	0,10	0,00	2,32	7,84
Bleekselder	0,00	6,32	0,29	1,50	1,31	8,11

	Melkzuur	Azijnzuur	Boterzuur	Totaal	Oordeel
	Punten volgens Flieg (1938)				
Sluitkool	0	0	24	24	Middelmatig
Prei	3	0	50	53	Voldoende
Bloemkool	0	0	26	26	Middelmatig
Bleekselder	21	15	50	86	Zeer goed

2.2.3. Aanbevelingen

- Probeer aarde te vermijden (vooral bij machinale verwijdering): oDS daalt en DS stijgt (Agneessens et al., 2014b)
- Gebruik vers materiaal (wel hoger risico op sapverliezen) (Agneessens et al., 2014b)

- Als de gewasresten worden verkleind, zal zowel de kuil kwaliteit als de methaanproductie toenemen aangezien er minder verlies zal optreden van organisch materiaal, er een lagere pH zal geïnduceerd worden, er minder $\text{NH}_3\text{-N}$ en boterzuur aanwezig zal zijn en er meer melkzuur zal gevormd worden (Teixeira Franco et al., 2016). Als plantencellen worden gebroken tijdens verkleining, zullen immers suikers vrijkomen die LAB direct kunnen omzetten naar organische zuren. Hierdoor zal de pH sneller dalen en is de kans op clostridiale fermentatie minder groot (Herrmann et al., 2012). Echter, hoe kleiner gewasresten gesneden worden, hoe groter de kans op sapverliezen (Agneessens et al., 2014b; Herrmann et al., 2012). Hoge sapverliezen kunnen vermeden worden door toevoeging van structureel materiaal (Agneessens et al., 2014, 2015). Om perssappen in praktijk op te vangen, zal een sleufkuil met perssapput noodzakelijk zijn (Agneessens et al., 2014a) (kostprijs (Vermeij, 2013)).
- Probeer uniformiteit te creëren in de volledige silo (Borreani et al., 2018)
- Eventueel toevoeging van effectieve micro-organismen (EM) wat een combinatie is van nuttige, opbouwende micro-organismen zoals melkzuurbacteriën, gisten, actinomyceten, fotosynthetiserende bacteriën en schimmels die vrij in de natuur voorkomen (Viaene et al., 2014)

Praktische **basisregels** voor inkuilen (Latré et al., 2007)

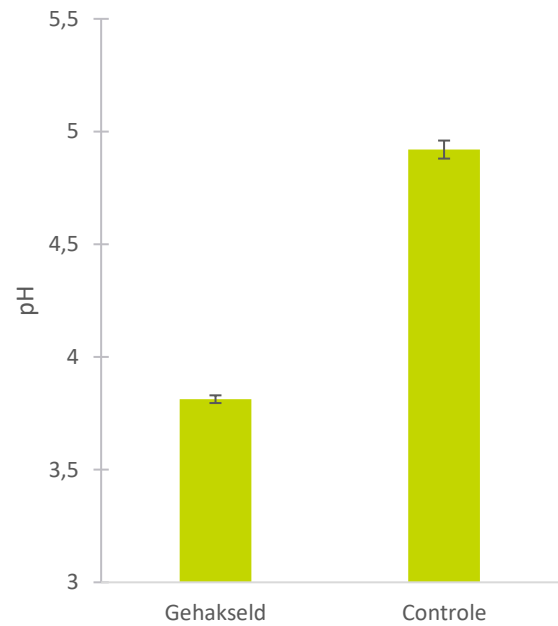
- DS: 30-35%
- 6-10 mm
- Snel inkuilen en afdekken met folie
- Op bezemschone verharde grond in sleufsilos
- Verspreiden in dunne lagen en goed vastrijden
- Glad en effen afwerken
- 2 lagen plastic + kunststof beschermzeil tegen vogelvraat
- Minimaal 6 weken dicht laten

3. Verkennende labotesten

Vooraleer de testen rond langdurige bewaarbaarheid van preiresten kunnen worden opgestart, moet eerst het fermentatieprotocol op punt worden gesteld.

3.1. VERKLEINEN VAN DE PREIRESTEN

De prei hakselen heeft enkele voordelen ten opzichte van de prei onbewerkt fermenteren. Enerzijds kan de prei compacter worden bewaard (Figuur 2), daarnaast verloopt het fermentatieproces ook vlotter. De cellen worden gebroken waardoor er veel meer suikers meteen beschikbaar zijn om te fermenteren en de verzuring bijgevolg beter verloopt (Figuur 1).



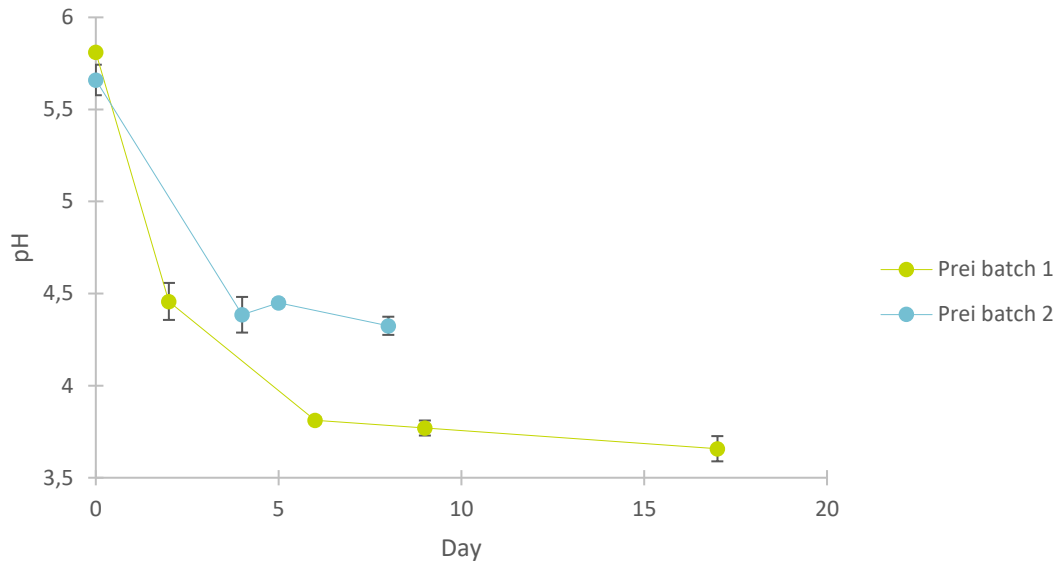
Figuur 1: pH op dag 14 van gehakselde en ongehakselde prei.



Figuur 2: Ongehakselde prei (links) en gehakselde prei (rechts).

3.2. FERMENTATIEVERLOOP

De eerste vijf dagen zijn de meest actieve van het fermentatieproces. Na deze initiële periode heeft de prei zijn minimale pH bereikt (Figuur 3).



Figuur 3: pH verloop van 2 batches prei.

3.3. GASVORMING

Tijdens de eerste dagen van het fermentatieproces zal residuele zuurstof in het fermentatievat opgebruikt worden. Bij dit proces zullen CO₂ en andere fermentatiegassen worden gevormd. De gasbellen die tussen de preiresten ontstaan zullen de druk in het fermentatievat doen toenemen. Indien er te weinig marge is in het vat om de uitzettende preiresten op te vangen, zal er preisap door het waterslot naar buiten worden geduwd (Figuur 4).

Uit Figuur 5 kan worden afgeleid dat er zo'n 15 % volumetoename van de preiresten optreedt tijdens de meest actieve periode van het fermentatieproces. Daarom wordt er voor gekozen om de fermentatievaten slechts voor 80 % (8 kg per vat) te vullen voor de langdurige bewaarbaarheidstest.



Figuur 4: Preisap dat door het waterslot uit het fermentatievat wordt geduwd.



Figuur 5: Volumetoename van prei gedurende de eerste dagen van fermentatie. Anderhalve liter op dag 0 tot 1,7 liter op dag 4.

4. Langdurige bewaarbaarheid van preiresten

4.1. MATERIAAL EN METHODES

De preiresten zijn afkomstig van het biobedrijf van Inagro (geogst in oktober 2019). De resten zijn de buitenste vuile bladeren van de prei die handmatig worden verwijderd vooraleer ze door de preiwas gaan.

De preiresten worden verkleind met een hakselaar (Caravaggi TPF15, zeef 2,5 cm) en verdeeld over kunststofvaten (Graf, 10 liter rond, met waterslot). Van de verse verhakselde prei wordt telkens in drievoud het volgende bepaald:

- Droge stof
- Organische stof
- Totale Dumas stikstof
- Ammoniak/ammonium stikstof
- Biogaspotentieel (wordt bepaald bij Innolab volgens hun Flash BMP "EPI-test" protocol)

Elk fermentatievat wordt gevuld met 8 kg verhakselde prei, de prei wordt handmatig aangedrukt. Na het vullen van de vaten worden de volgende parameters bepaald:

- De massa verse biomassa per vat
- De pH van elk vat

De vaten blijven afgesloten gedurende de vooraf bepaalde bewaartermijnen. Elke bewaartermijn wordt in drievoud opgezet. De bewaartermijnen die worden gehanteerd, zijn:

- 0 dagen
- 7 dagen
- 14 dagen
- 28 dagen
- 56 dagen
- 112 dagen

Na deze periode worden de fermentatievaten geopend. Van de gefermenteerde prei uit elk vat worden de resterende biomassa en de eind-pH bepaald, daarnaast wordt er ook een staal geanalyseerd op:

- Droge stof
- Organische stof
- Totale Dumas stikstof
- Ammoniak/ammonium stikstof
- Biogaspotentieel (wordt bepaald bij Innolab volgens hun Flash BMP "EPI-test" protocol)

De effectiviteit van de fermentatie wordt bepaald door de pH op te volgen. De kwaliteit van de fermentatie wordt nagegaan door de verhouding ammoniak/totale stikstof te bepalen waarmee de degradatie van proteïnen in beeld wordt gebracht. Daarnaast wordt van een staal uit elk vat het biogaspotentieel bepaald.

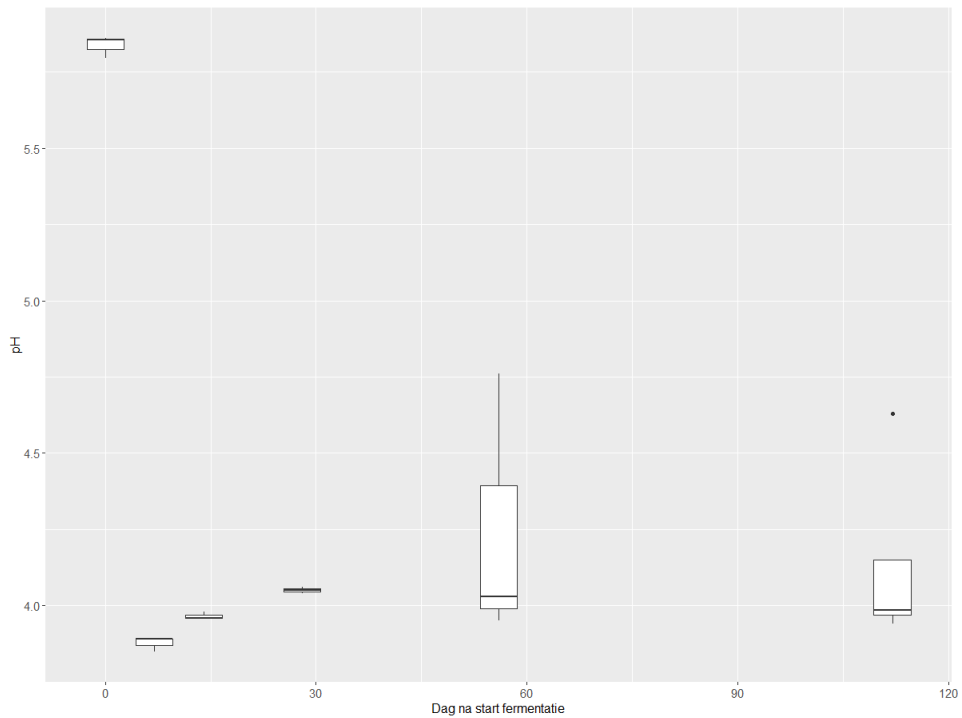
4.2. RESULTATEN EN DISCUSSIE

De verse prei was door de weersomstandigheden die periode erg modderig en bevatte een grote zandfractie. Dit wordt ook weerspiegeld in het hoge asgehalte (Tabel 6), 72 % van de droge stof, terwijl gewasresten zelden meer dan 20 % as bevatten. Bodembacteriën moeten zoveel mogelijk worden vermeden aangezien deze zullen concurreren met gewenste bacteriën zoals *Lactobacillus* die instaan voor het fermentatieproces. De resultaten uit deze test kunnen dus worden opgevat als een worstcasescenario. Hoe properder de preiresten, hoe beter de resultaten naar alle waarschijnlijkheid zullen zijn.

Tabel 6: Samenstelling van de verse ongewassen preiresten.

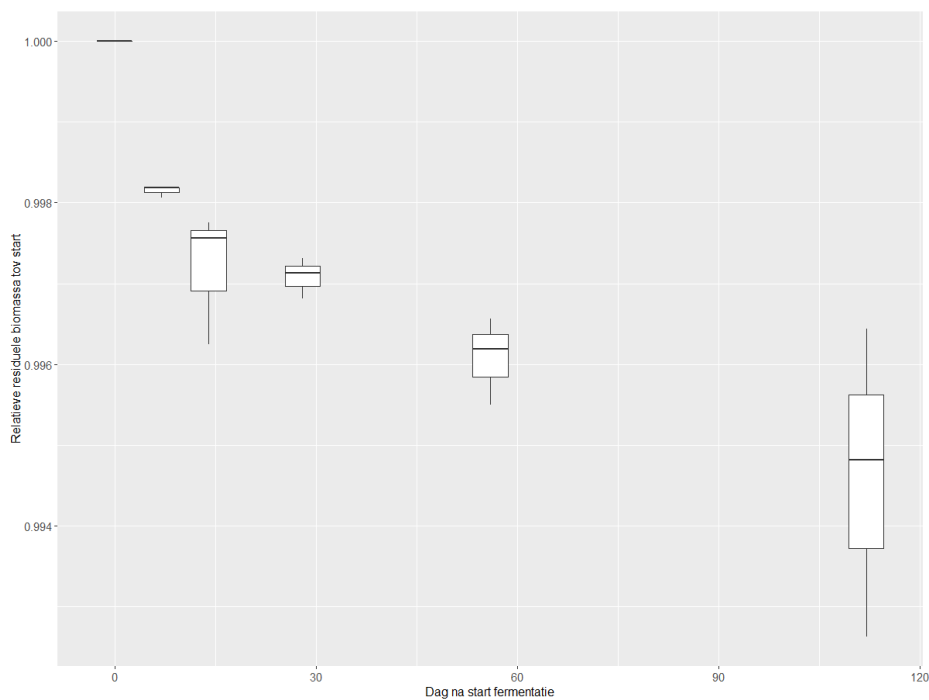
Parameter	EH	Gemiddelde (\pm st. dev.)
Droge stof	% VM	26.4 \pm 1.4
Organische stof	% DS	28.0 \pm 2.6
Kjeldahl stikstof	% DS	3.3 \pm 0.18
Ammonium stikstof	% DS	4.8 \pm 0.32

Tussen dag 0 en 7 vindt een significante pH daling plaats van 5,8 naar 3,9 (Figuur 6). Vervolgens is er een niet significante stijging van de pH tot 4,1 over een periode van 105 dagen. Opvallend is de sterke stijging in spreiding bij dag 56 en dag 112. Deze stijging in variatie tussen de replica's is te wijten aan bederf van enkele vaten, terwijl de overige vaten binnen een replica stabiel blijven.



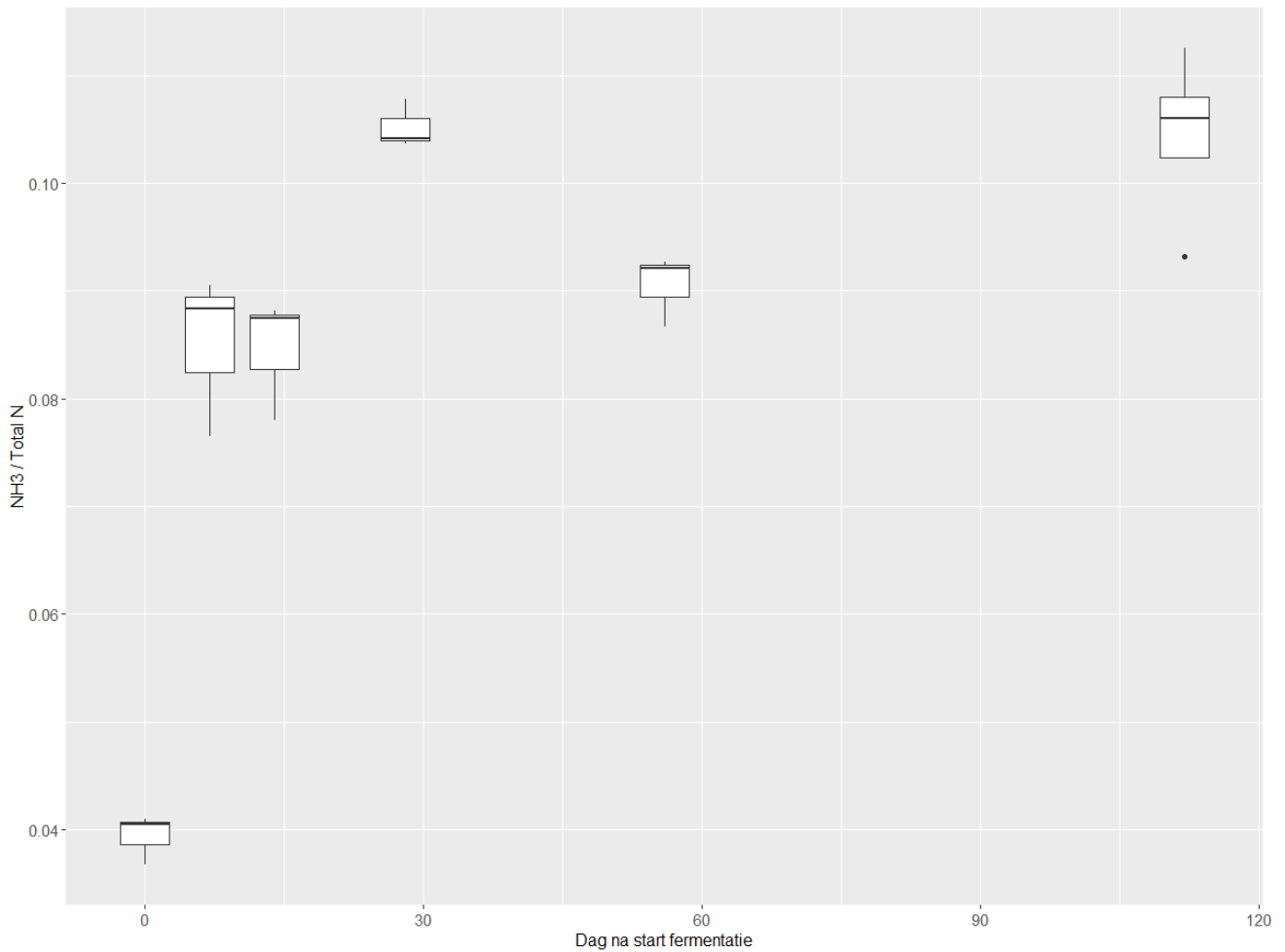
Figuur 6: Boxplot weergave van de pH ($n = 3$) op 0, 7, 14, 28, 56 en 112 dagen na het afsluiten van de fermentatievaten.

De afname van de verse biomassa in de vaten is significant, maar verwaarloosbaar. Over een periode van 112 dagen vervluchtigt 0,5 % van de biomassa (Figuur 7), goed voor 40 gram op 8000 gram startmateriaal.



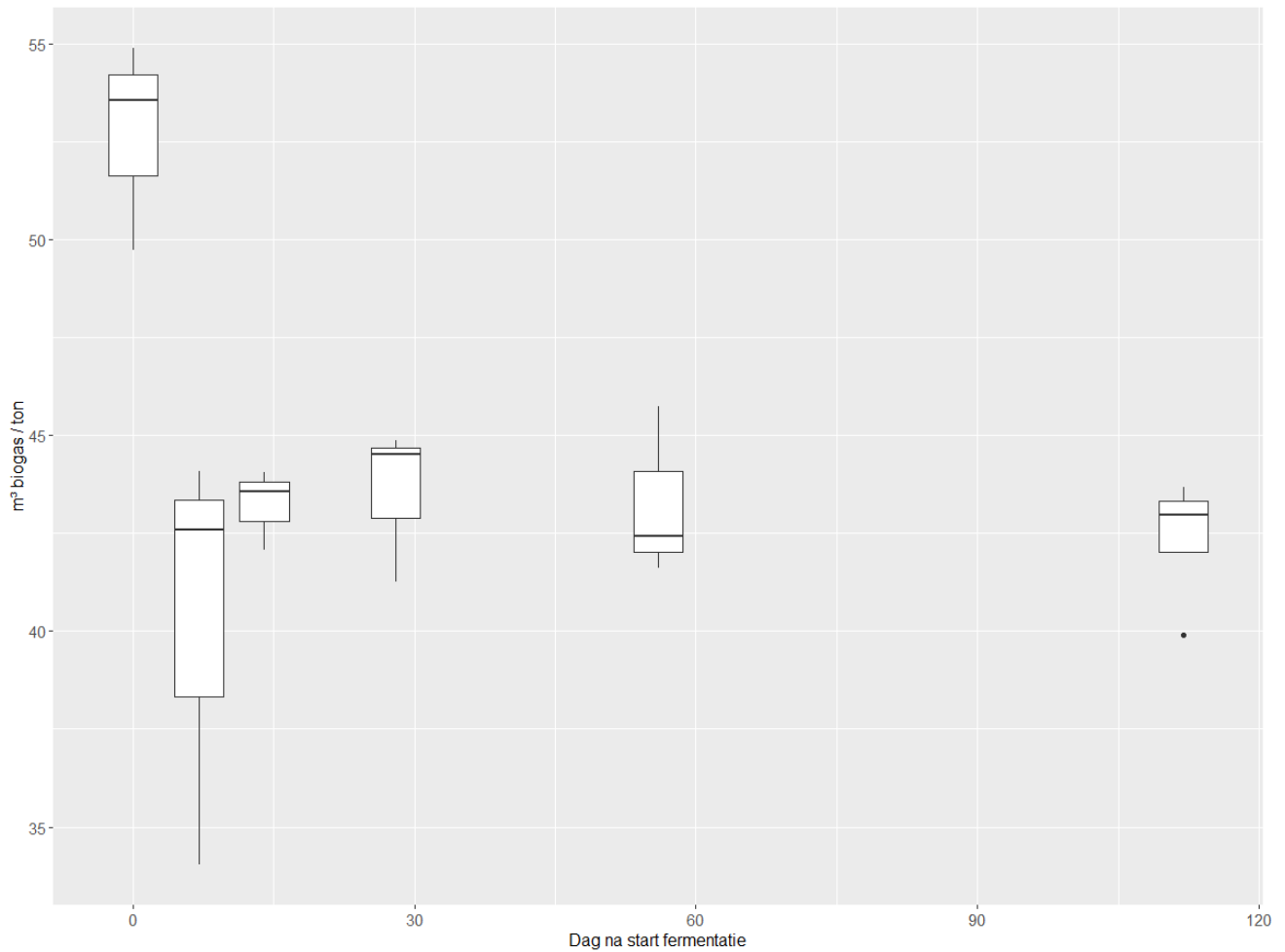
Figuur 7: Boxplot weergave van de resterende verse biomassa in een vat relatief ten opzicht van de verse startbiomassa ($n = 3$) op 0, 7, 14, 28, 56 en 112 dagen na het afsluiten van de fermentatievaten.

De stabiliteit van de eiwitten wordt weergegeven in Figuur 8 als verhouding ammoniakale stikstof over totale stikstof. De initiële stijging is significant, van 3,9 % tot 8,5 %, vervolgens stijgt de verhouding verder, maar minder drastisch, tot 10,4 % op dag 112.

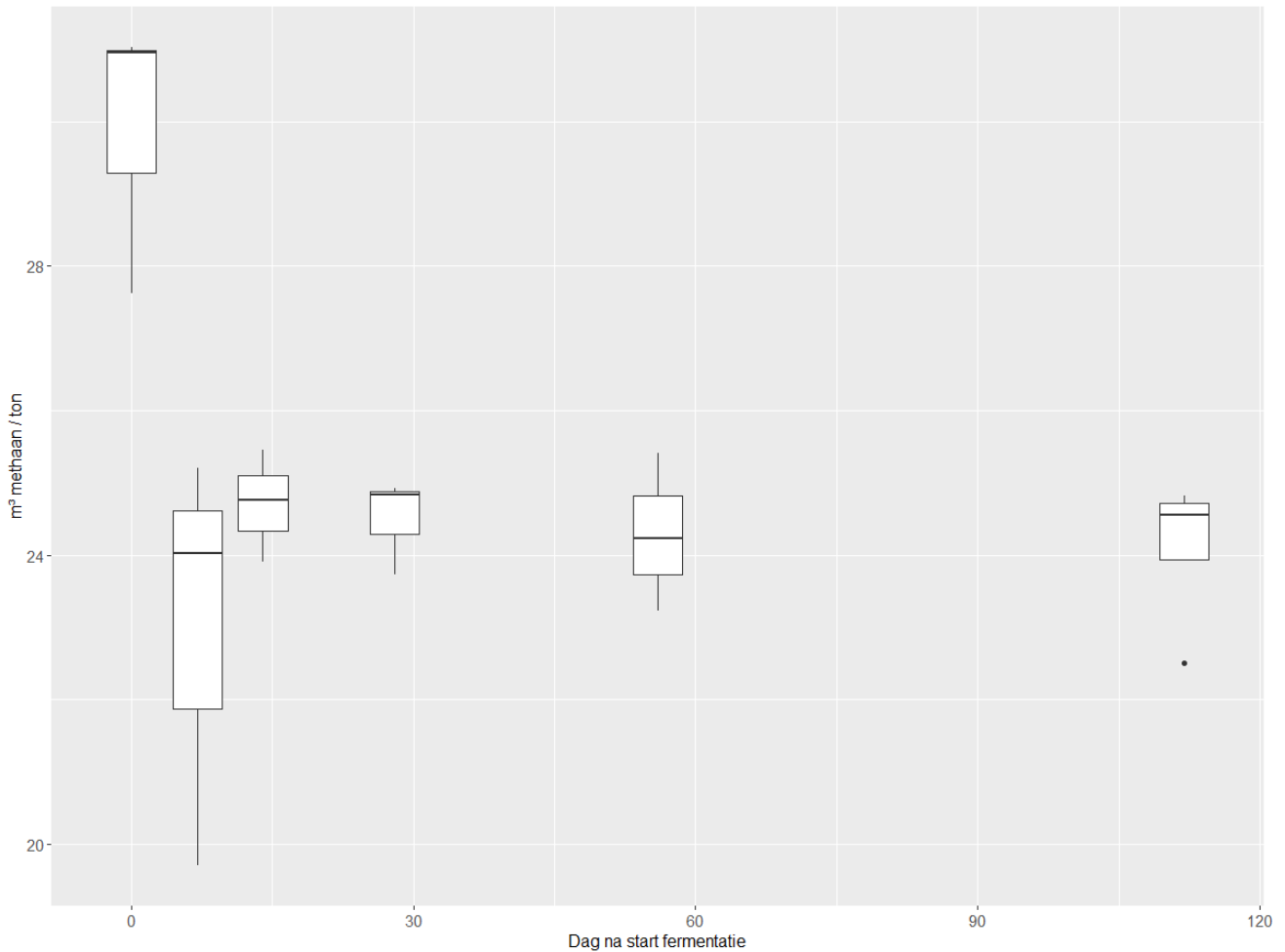


Figuur 8: Boxplot weergave van de verhouding ammoniakale stikstof over de totale stikstof ($n = 3$) op 0, 7, 14, 28, 56 en 112 dagen na het afsluiten van de fermentatievaten.

Het biogaspotentieel van de prei daalt eerst sterk met gemiddeld $12,5 \text{ m}^3/\text{ton}$, een daling van 25 % (Figuur 9). Na deze eerste daling, is er voor de langere bewaartermijnen geen significante daling van het biogaspotentieel. Dezelfde tendensen kunnen worden waargenomen voor het methaanpotentieel (Figuur 10).



Figuur 9: Boxplot weergave van het biogaspotentieel (in m^3 biogas per ton verse biomassa) ($n = 3$) op 0, 7, 14, 28, 56 en 112 dagen na het afsluiten van de fermentatievaten.



Figuur 10: Boxplot weergave van het methaanpotentieel (in $m^3 CH_4$ per ton verse biomassa) ($n = 3$) op 0, 7, 14, 28, 56 en 112 dagen na het afsluiten van de fermentatievaten.

5. Conclusie

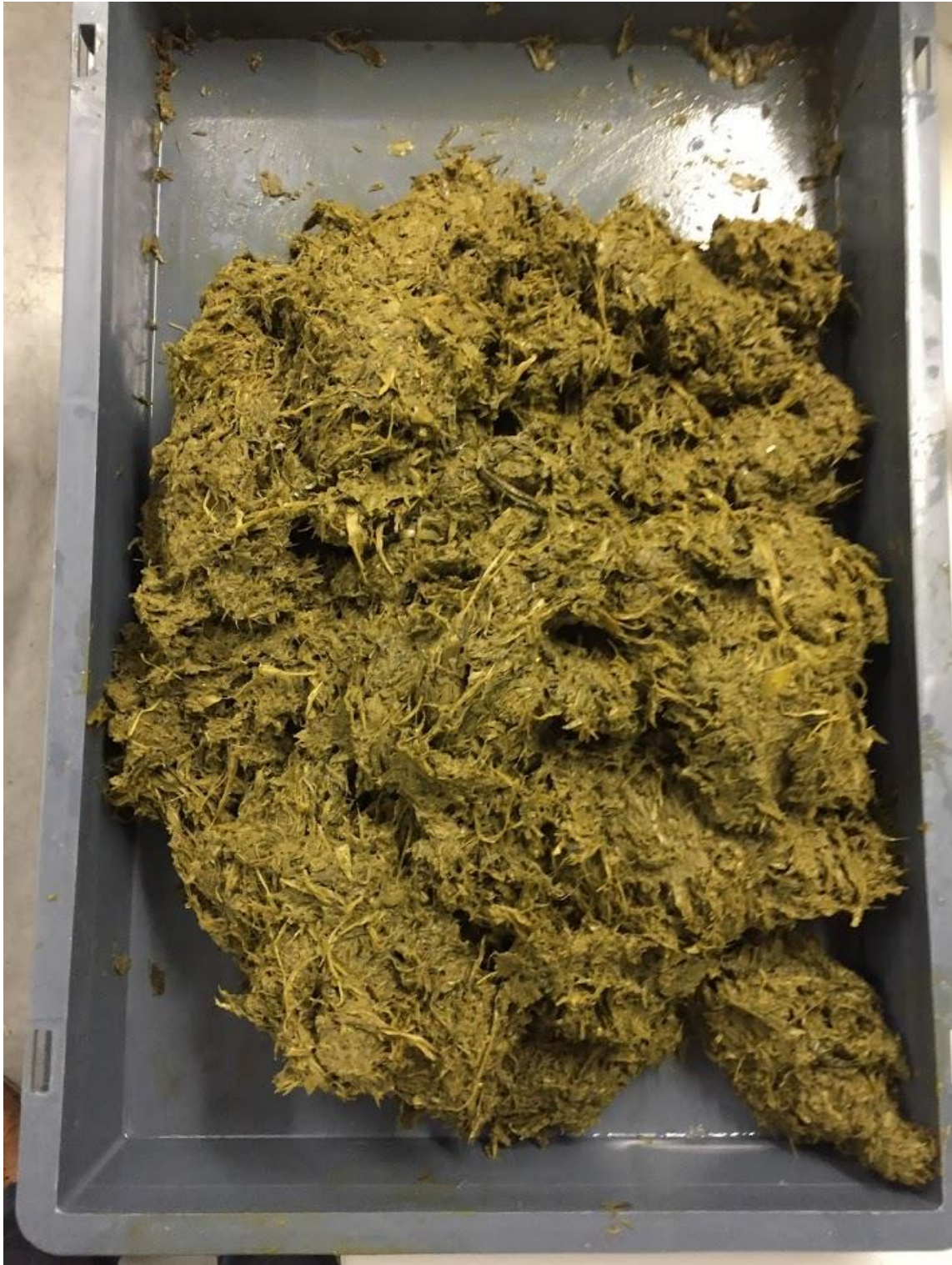
Prei kan zonder problemen gedurende langere termijn (tot 112 dagen), anaeroob worden bewaard. De prei verzuurt vlot, ondanks de erg vuile aard van het startmateriaal (modder). De snelle verzuring tijdens de eerste zeven dagen kan niet voorkomen dat er tijdens deze periode een deel van het biogaspotentieel (tot 25 %) verdwijnt. Na dit initiële verval treedt er geen verder verlies aan biogaspotentieel op.

De biomassa blijft overwegend stabiel, hoewel sommige vaten na verloop van tijd verval beginnen vertonen (door onvolledige afsluiting van sommige vaten?), dit verval is waarneembaar als een ranzige geur bij het openen van het vat, een pH-stijging en schimmelvorming op de preiresten. Desondanks vertoonden vaten waarbij sporen van rotting optraden geen significant lager biogaspotentieel dan stabiele vaten.

6. Bijlages



Figuur 11: Fermentatieopstelling.



Figuur 12: Gefermenteerde prei



Figuur 13: Schimmelvorming aan het oppervlak van gefermenteerde prei (dag 56).

Het project Pocket Power is een project van Inagro en Universiteit Gent dat wordt gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen (www.vlaio.be), Boerenbond, ABS, Bioelectric, Continental Energy Systems, Innolab, Vermeulen Construct, United Experts, Biogas-E, Inverde en VLACO.

7. Bibliografie

- Agneessens, L., De Waele, J., & De Neve, S. (2014). Review of Alternative Management Options of Vegetable Crop Residues to Reduce Nitrate Leaching in Intensive Vegetable Rotations. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy4040529>
- Agneessens, L., Vandecasteele, B., Van De Sande, T., Goovaerts, E., Crappé, S., Elsen, A., & De Neve, S. (2014a). *Onderzoek naar het beheer van oogstresten bij vollegrondsgroenten en mogelijkheden van vanggewassen en teeltrotaties met het oog op de waterkwaliteitsdoelstellingen van het Actieprogramma 2011-2014 (MAP4): Appendices*. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62700-1.00022-X>
- Agneessens, L., Vandecasteele, B., Van De Sande, T., Goovaerts, E., Crappé, S., Elsen, A., ... De Neve, S. (2014b). *Onderzoek naar het beheer van oogstresten bij vollegrondsgroenten en mogelijkheden van vanggewassen en teeltrotaties met het oog op de waterkwaliteitsdoelstellingen van het Actieprogramma 2011-2014 (MAP4): Hoofdrapport*. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM).
- Agneessens, L., Viaene, J., Nest, T. Vanden, Vandecasteele, B., & De Neve, S. (2015). Effect of ensilaged vegetable crop residue amendments on soil carbon and nitrogen dynamics. *Scientia Horticulturae*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.06.034>
- ARBOR. (2015). *Development of agro-sidestreams for bio-energy*. ARBOR Biomass for Energy.
- Ashbell, G., Kipnis, T., Titterton, M., Hen, Y., Azrieli, A., & Weinberg, Z. G. (2001). Examination of a technology for silage making in plastic bags. *Animal Feed Science and Technology*, *91*(3–4), 213–222. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00239-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00239-5)
- Balabanli, C., Albayrak, S., Türk, M., & Yüksel, O. (2010). A research on determination of hay yields and silage qualities of some vetch+cereal mixtures. *Turkish Journal of Field Crops*, *15*(2), 204–209.
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2018). Silage review : Factors affecting dry matter and quality losses in silages 1. *Journal of Dairy Science*, *101*(5), 3952–3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
- Egg, R. P., Coble, C. G., Engler, C. R., & Lewis, D. H. (1993). Feedstock storage, handling and processing. *Biomass and Bioenergy*, *5*(1), 71–94. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(93\)90009-S](https://doi.org/10.1016/0961-9534(93)90009-S)
- FAO. (2002). *Animal production based on crop residues - Chinese experiences (Chapter 4: Ensiling crop residues)*. (G. Tingshuang, M. D. Sánchez, & G. P. Yu, Eds.). Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/005/Y1936E/y1936e08.htm>
- Gallegos, D., Wedwitschka, H., Moeller, L., Zehnsdorf, A., & Stinner, W. (2017). Effect of particle size reduction and ensiling fermentation on biogas formation and silage quality of wheat straw. *Bioresource Technology*, *245*(July), 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.137>
- Herrmann, C., Heiermann, M., Idler, C., & Prochnow, A. (2012). Particle Size Reduction during Harvesting of Crop Feedstock for Biogas Production I: Effects on Ensiling Process and Methane Yields. *Bioenergy Research*, *5*(4), 926–936. <https://doi.org/10.1007/s12155-012-9206-2>
- Hillion, M. Lou, Moscoviz, R., Trably, E., Leblanc, Y., Bernet, N., Torrijos, M., & Escudié, R. (2018). Co-ensiling as a new technique for long-term storage of agro-industrial waste with low sugar content prior to anaerobic

- digestion. *Waste Management*, 71, 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.024>
- Kim, S. C., & Adesogan, A. T. (2006). Influence of ensiling temperature, simulated rainfall, and delayed sealing on fermentation characteristics and aerobic stability of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 89(8), 3122–3132. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72586-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72586-3)
- Latré, J., Wambacq, E., Nollet, J., Daemers, E., Roo, B. De, & Haesaert, G. (2007). Inkuilen met het oog op minimale broei- en schimmelontwikkeling bij maïs: LCV-test broeiremmers. *Landbouwcentrum Voor Voedergewassen Vzw*, 62–72. Retrieved from <http://www.lcvvzw.be/wp-content/uploads/2009/01/inkuilen-met-oog-op-minimale-broei-en-schimmelontwikkeling.pdf>
- Rooke, J. A., & Hatfield, R. D. (2003). Biochemistry of Ensiling. *Silage Science and Technology*, (42), 95–139. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c3>
- Ruysschaert, G., Vandecasteele, B., Willekens, K., Van, J., Kristiaan, W., & Laecke, V. (2014). *Bodem, nutriënten, compost: onderzoek voor een duurzame landbouw*. ILVO Mededeling nr. 171.
- Teixeira Franco, R., Buffière, P., & Bayard, R. (2016). Ensiling for biogas production: Critical parameters. A review. *Biomass and Bioenergy*. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.08.014>
- Teixeira Franco, R., Buffière, P., & Bayard, R. (2017). Optimizing storage of a catch crop before biogas production: Impact of ensiling and wilting under unsuitable weather conditions. *Biomass and Bioenergy*. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.03.017>
- Teixeira Franco, R., Buffière, P., & Bayard, R. (2018). How to preserve the energy potential of organic residues during storage? Focus on anaerobic digestion. In *5th International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Athens* (p. 8).
- Vermeij, I. (2013). *KWIN Veehouderij 2013-2014*. Wageningen UR Livestock Research.
- Viaene, J., Agneessens, L., Capito, C., Ameloot, N., Reubens, B., Willekens, K., ... De Neve, S. (2017). Co-ensiling, co-composting and anaerobic co-digestion of vegetable crop residues: Product stability and effect on soil carbon and nitrogen dynamics. *Scientia Horticulturae*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.015>
- Viaene, J., Reubens, B., Vandecasteele, B., & Willekens, K. (2014). *Composteren als valorisatievorm van reststromen in de Vlaamse land- en tuinbouw: knelpunten en opportuniteiten*. ILVO-mededeling 167.
- Zubr, J. (1986). Methanogenic fermentation of fresh and ensiled plant materials. *Biomass*, 11(3), 159–171. [https://doi.org/10.1016/0144-4565\(86\)90064-8](https://doi.org/10.1016/0144-4565(86)90064-8)

