



Methaanoxidatie bij mestopslagen

Voortgangsverslag deel 1: werking en aandachtspunten voor 3 methaanoxidatie technieken

E. Maasdam, C. Daatselaar, H. Oonk, N. Bondt, L. Jansen, K. Kroes

Rapport 1472



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Methaanoxidatie bij mestopslagen

Voortgangsverslag deel 1: werking en aandachtspunten voor 3 methaanoxidatie technieken

E. Maasdam¹, C. Daatselaar², H. Oonk⁵, N. Bondt², L. Jansen³, K. Kroes⁴

1 Wageningen Livestock Research

2 Wageningen Economic Research

3 Schuttelaar & Partners

4 LTO Noord

5 Oonkay

Dit onderzoek is uitgevoerd onder leiding van Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Integraal Aanpakken' (projectnummer BO-53-003-021)

Wageningen Livestock Research

Wageningen, februari 2024

Rapport 1472

Samenvatting NL Binnen het project is onderzocht wat de mogelijkheden zijn om methaan bij mestopslagen af te vangen om te kunnen omzetten (oxideren) in CO₂. Hierbij is bij drie soorten mestopslagen (mestzakken, mest silo's en mestbassins) onderzocht of het bij bestaande opslagen mogelijk is om methaan te kunnen afvangen met weinig aanpassingen aan de opslag. Vervolgens is er bij drie mestzakken een pilot uitgevoerd met drie verschillende methaanoxidatie technieken; chemisch oxideren met een fakkel en biologisch oxideren met een biofilter en een bodemfilter. Uit de eerste testen blijkt dat alle drie de technieken afgevangen methaan oxideren met respectievelijk een efficiëntie van >95%, 60-80% en 60-70%. Uit berekeningen met een methaanproductiemodel en een kostenanalyse blijkt dat kostenefficiëntie het hoogste is als mest zo snel mogelijk in een mestopslag gekoppeld aan een methaanoxidatie techniek wordt opgeslagen. Het bodemfilter is hierbij de goedkoopste oplossing, maar de totale hoeveelheid geoxideerde methaan hoger is bij fakkelen en het biofilter. Verder zijn de eerste partijen geïnterviewd die betrokken zullen zijn bij o.a. vergunningverlening en controle van de technieken. Uit de interviews blijkt dat borging van de werking van de oxidatietechniek en handhaving een cruciale rol zal spelen bij acceptatie van de technieken in de veehouderij.

Summary UK This project has focussed on researching the possibilities of capturing methane at manure storages and subsequently convert (oxidise) it into CO₂. For three types of manure storages (manure bags, manure silos and manure basins) a test was performed to capture methane with as few as possible adjustments to existing storage facilities. Subsequently, a pilot was carried out with three different methane oxidation techniques with manure bags; chemical oxidation with a torch and biologically oxidation with a biofilter and a soilfilter. The first tests show that for all three techniques it is possible to oxidize methane with an efficiency of >95%, 60-80% and 60-70% respectively. Calculations with a methane production model and a cost analysis show that cost efficiency is highest if manure is stored as quickly as possible in a manure storage coupled to a methane oxidation technique. The field filter is the cheapest solution, but the total amount of methane converted is higher with flaring and the biofilter. In addition, the parties who will be involved in, among other things, licensing and control of the techniques were interviewed. The interviews show that assurance of the continued working of the technique and enforcement will play a crucial role in the acceptance of the techniques in livestock farming.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/650013> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2024

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

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

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

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

Inhoud

Woord vooraf	5	
Samenvatting	7	
1	Introductie	9
1.1	Doel van het rapport	9
1.2	Wat is methaanoxidatie?	9
1.2.1	Methaanoxidatie technieken	10
2	Methaan afvangen bij mestopslagen	12
2.1	Mestzak	12
2.1.1	Mestzak locatie #1	12
2.1.2	Mestzak locatie #2	14
2.2	Mestsilo met spankap	15
2.3	Mestsilo met drijfdek	16
2.4	Mestbassin	17
3	Metingen en aandachtspunten	20
3.1	Biofilter	20
3.1.1	Voorlopige metingen	21
3.1.2	Aandachtspunten ontwerpen biofilter	23
3.2	Bodemfilter	23
3.2.1	Voorlopige metingen	25
3.2.2	Aandachtspunten	26
3.3	Fakkels	26
3.3.1	Voorlopige metingen	28
3.3.2	Aandachtspunten	31
4	Kosteneffectiviteit technieken	32
5	Implementatie	37
5.1.1	Inleiding	37
5.1.2	Te stellen eisen	38
5.1.3	Installatie en controles	39
5.1.4	Objectieve meetgegevens	40
5.1.5	Incentives voor adoptie	41
5.1.6	Kritische controlepunten	41
6	Belangrijkste leerpunten en vervolg project	43
Literatuur		44
Bijlage 1	Grondwateranalyses	45
Bijlage 2	Berekening mest in opslag en methaanvorming	47
Bijlage 3	Meer doorgerekende scenario's voor effectiviteit en kosten	50
Bijlage 4	Actor analyse – geïnterviewde partijen en vragenlijst	55



Woord vooraf

De Nederlandse veehouderij produceert niet alleen hoogstaande producten zoals vlees en zuivel, maar ook de in potentie waardevolle reststroom mest. Dierlijke mest van goede kwaliteit, rijk aan voedingsstoffen voor gewassen, is met name van groot belang voor het sluiten van kringlopen wat resulteert in een meer klimaatvriendelijk circulair voedselproductiesysteem. Op dit moment wordt mest voornamelijk opgeslagen in de mestkelder onder de stal zelf en bij een overvolle mestkelder overgebracht naar een externe mestopslag zoals bijvoorbeeld een mestzak of -silo. Echter, tijdens de opslag van mest produceert de mest methaangassen die meer bijdragen aan het versterkt broeikaseffect dan koolstofdioxide.

Binnen het programma Integraal Aanpakken, wordt gewerkt aan oplossingen om methaanemissie in de veehouderij zoveel mogelijk te verminderen. Hierbij wordt gewerkt aan zowel enterische methaan (uit de bek van het dier) met voer- en diermaatregelen, als aan methaanemissie uit stallen en mestopslagen. Bij methaanemissie uit mest kan aan twee soorten maatregelen gedacht worden. Bij bronmaatregelen wordt de mest bewerkt, een toevoegmiddel toegevoegd of de omstandigheden van de opslag van mest aangepast om emissie van methaan uit mest te voorkomen. Echter is het ook mogelijk om de methaan af te vangen en zo de emissie naar de omgeving te voorkomen, zoals bij (mest)vergisting en productie van biogas.

In dit onderzoek lag de focus op het afvangen van methaan. Hierbij is gezocht naar oplossingen om methaan op een goede locatie op boerenbedrijven te kunnen afvangen en vervolgens is gekeken naar de mogelijkheden om methaan om te zetten in CO₂. CO₂ is een minder schadelijk broeikasgas dan methaan. Het omzetten van methaan in CO₂ resulteert daardoor in een netto reductie van broeikasgasemissies.

Deze rapportage is het eerste deel binnen dit project genaamd 'methaanoxidatie bij mestopslagen'. In dit rapport worden de eerste bevindingen gedeeld en opgedane kennis tijdens dit project besproken. Het project is nog niet afgerond en hierdoor zal niet alle informatie in dit rapport volledig zijn. Maar er is wel getracht om zoveel mogelijk geleerde zaken in dit rapport mee te nemen, ook als er nog verder onderzoek vereist is om conclusies te kunnen trekken. Hiermee willen wij een eerste inblik geven in mogelijke denkrichtingen en zoveel mogelijk knelpunten toelichten om te voorkomen dat deze herhaald worden bij toepassing van de methaanoxidatietechnieken op boerenbedrijven.

Namens het onderzoeksteam,
Rik Maasdam



Samenvatting

Dit is een tussenrapportage over het project Methaanoxidatie bij mestopslagen. Opgeslagen mest wordt in het voorjaar en de zomer uitgereden over het land. Echter tijdens de opslag produceert de mest biogas. Dit bestaat voornamelijk uit methaan (ca. 60 vol%) en CO₂ (ca. 40 vol%). Binnen het project is getest of het mogelijk is om de methaan in mestopslagen af te vangen en vervolgens om te zetten in CO₂. CO₂ heeft een broeikasgasfactor van 1 en methaan (CH₄) een factor van 28, het omzetten van methaan in CO₂ geeft dus een netto broeikasgaseffect 'winst'. In dit project is er naar methaanoxidatie technieken gekeken die kosten efficiënt ingezet kunnen worden op kleinere schaal, scenario's waarin het inzetten van methaan voor energie en/of warmtewinst geen rendabele optie is. Dit is bedoeld voor veehouders die niet rendabel aan mestvergisting kunnen beginnen.

Er zijn twee soorten manieren van afvangen te bedenken bij bestaande mestopslagen; passief, waarbij gebruik wordt gemaakt van drukopbouw in de opslag, en actief, waarbij methaan met een ventilatiesysteem uit de mestopslag wordt gezogen. Uit de eerste testen bleek dat het bij bestaande mestopslagen het voornamelijk bij mestzakken makkelijk is om de methaan passief af te vangen. Voor mestbassins bleek dat bestaande mestbassins vaak te lek zijn om goed de methaan af te kunnen vangen. Bij mestsilo's moeten nog worden getest of het mogelijk is om methaan actief en/of passief af te vangen.

Het afvangen van methaan bij mestzakken is in de praktijk aangetoond en vervolgens is het oxideren van methaan in CO₂ onderzocht in de praktijk. Voor het oxideren van methaan zijn twee mogelijkheden: thermisch oxideren (affakkelen of verbranden) of biologisch oxideren met behulp van methanotrofe bacteriën. Hierbij zijn er doorgaans twee simpele technieken om dit biologische proces te stimuleren: in een bovengronds aangelegd biofilter (bovengronds biofilter) of in de grond met een bodemfilter (ondergronds biofilter).

In dit project is er voor elk van deze mogelijkheden één praktijkpilot opgezet om de technische haalbaarheid van de methaanoxidatie techniek te testen en de eerste metingen te doen om een omzettingfactor van deze technieken te bepalen.

Uit de eerste tests blijkt dat het fakkelen van methaan uit mestopslagen technisch mogelijk is, maar hier wel aandacht moet worden besteed aan het afvangen van zwavel in het gas. Uit de mestzak komt naast methaan en CO₂ ook het zwavelcomponent H₂S mee, wanneer dit wordt verbrand ontstaat er een 'vuurwerklucht'. Dit kan worden voorkomen met een zwavelfilter tussen de mestopslag en de fakkel. Verder bleek bij de fakkel dat er een beveiliging nodig is om het aanzuigen van mest en schuim uit de mestzak te voorkomen. Bij volledige verbranding kan met een fakkel een methaan omzettingsefficiëntie van meer dan 95% verwacht worden.

Bij het gebruik van de biofilter bleek dat de zwavel in het gas tot roest op de systeemonderdelen leidde. Dit kan worden voorkomen met een zwavelfilter tussen de mestopslag en het biofilter. Verder dient er aandacht te worden besteed aan de brandveiligheid rond het systeem. Door de onvoorspelbaarheid van de methaanvorming in de mestopslag kan het voorkomen dat er een brandbaar mengsel van lucht met methaan ontstaat in het biofilter. Bij het inzetten van een biofilter kan een efficiëntie van 60-80% verwacht worden voor het omzetten van methaan.

Er is ook een bodemfilter getest waarbij methaan in de grond wordt ingebracht en de microbiologie in de grond de methaan omzet in CO₂. Bij het inzetten van een bodemfilter dient er te worden gelet op mogelijk uitspoeling van zwavel als sulfaat naar het grondwater. Dit kan worden voorkomen met een zwavelfilter tussen de mestopslag en het bodemfilter, maar mogelijk ook met een grotere dimensionering van het bodemfilter. De dimensionering is ook belangrijk om een goede efficiëntie van

methaan omzetting te behalen. Bij het gebruik van 200m² bodemfilter per 1000m³ opgeslagen mest kan een efficiëntie van 50-70% verwacht worden.

Uit kostenberekeningen voor de drie technieken blijkt dat het bodemfilter de meest kostenefficiënte techniek is. Echter heeft de fakkels de hoogste potentie betreffende de totale hoeveelheid methaan die kan worden omgezet per bedrijf. Voor de fakkels is de schaal relevant, waarbij de fakkels bij grote hoeveelheden methaan in sommige gevallen kostenefficiënter is dan het bodemfilter. Dit is echter alleen zo voor relatief grotere veehouderij bedrijven die aan dagontmesting doen. Verder blijkt dat het mestbeleid op het bedrijf een grote impact op de totale potentie van de technieken. Een bedrijf dat gebruik maakt van dagontmesting zonder kelder en alleen externe opslag gekoppeld met een methaanoxidatie techniek kan een factor 5-6 meer methaan per jaar oxideren dan een bedrijf dat eerst een mestkelder vult voordat er mest naar een mestopslag wordt gebracht.

Als laatste blijkt uit interviews met overheidsinstanties en marktpartijen dat voor de implementatie van de technieken op boerenbedrijven er een goede mate van borging nodig al zijn. Hierbij kan gedacht worden aan een inspanningsverplichting of een prestatieverplichting. Op dit moment is het nuttig inzetten van de afgevangen methaan nog niet economisch rendabel. Het inzetten van methaanoxidatie technieken zal wel positief bijdragen aan de vermindering van de emissie van broeikasgassen in de veehouderij, maar hier is nog geen incentive voor. Voor een brede acceptatie zal er nagedacht moeten worden over een stimuleringsbeleid en mogelijk regelgeving om implementatie van de technieken te faciliteren.

1 Introductie

1.1 Doel van het rapport

Dit rapport is een eerste inkijk in de resultaten behaald in het onderzoek 'methaanoxidatie bij mestopslagen'. Hierin wordt o.a. besproken waar methaan afgevangen kan worden op boerenbedrijven, drie onderzochte methaanoxidatie technieken, geleerde ontwerpapunten voor zowel afvangen van methaan als methaanoxidatie technieken, (kosten)effectiviteitsberekeningen en de mogelijke manieren om toepassing te introduceren op veehouderijbedrijven.

Verder is dit rapport anders opgesteld dan wetenschappelijke meetrapporten. Het doel van dit rapport is niet hoofdzakelijk om meetresultaten te rapporteren, maar om de eerste opgedane kennis en aandachtspunten op een laagdrempelige manier te delen. De geleerde ontwerpapunten voor de drie methaanoxidatietechnieken kunnen hierdoor al eerder worden meegenomen bij het opzetten van methaanoxidatietechnieken door veehouders zelf.

1.2 Wat is methaanoxidatie?

Van koolstofdioxide is algemeen bekend dat dit bijdraagt aan het (versterkt) broeikaseffect, hierdoor is de chemische benaming van koolstofdioxide inmiddels ook algemeen bekend, namelijk CO₂. Methaan is het brandbare gas die de chemische benaming CH₄ heeft. In de rest van het rapport zal koolstofdioxide voornamelijk met de algemeen bekende chemische benaming worden benoemd, CO₂, terwijl methaan in de tekst zal worden uitgeschreven. Dit is gedaan om verwarring te voorkomen met methaan, biogas en aardgas. Biogas en aardgas worden in de praktijk gebruikt om een mengsel van methaan en CO₂ te beschrijven, waarbij biogas is ontstaan uit herbruikbare natuurlijke bronnen en aardgas is verkregen uit fossiele bronnen. Zowel biogas en aardgas zijn een mengsel van verschillende gassen waarbij methaan (CH₄) het brandbare gedeelte is. Hierdoor worden methaan en biogas en/of aardgas in de volksmond soms door elkaar gehaald of als synoniemen gebruikt. Er wordt namelijk het brandbare deel van het gasmengsel bedoeld. Dit is echter chemisch gezien niet correct en in dit rapport zal er dus een sterke scheiding gemaakt worden tussen methaan (alleen de CH₄) en biogas (een gas mengsel wat voor een groot gedeelte bestaat uit CH₄).

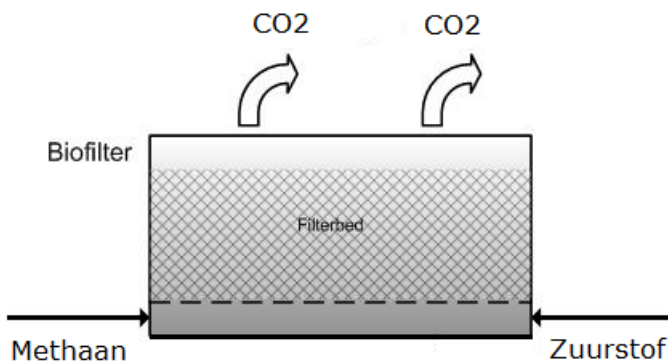
Opgeslagen mest wordt in het voorjaar en de zomer uitgereden over het land. Echter tijdens de opslag produceert de mest biogas. Dit bestaat voornamelijk uit methaan (ca. 60 vol%) en CO₂ (ca. 40 vol%) en een kleine hoeveelheid vocht, H₂S (waterstofdioxide) en NH₃ (ammoniak). Een mogelijkheid om de methaanemissie van mestopslagen te verminderen, is door methaan te oxideren. Hiervoor zijn twee mogelijkheden: thermisch oxideren (affakkelen of verbranden) of biologisch oxideren met behulp van methanotrofe bacteriën. Dat zijn bacteriën die methaan als voedingsstof gebruiken. Ze hebben verder ook zuurstof nodig om te overleven. Biologische oxidatie vindt in de natuur overal plaats waar methaan gevormd wordt. De methanotrofe bacteriën zitten namelijk overal in de grond. Echter, door heel veel methaan op één plek aan te bieden kan dit efficiënter gedaan worden dan in de natuur. Hierbij zijn er doorgaans twee simpele technieken om dit biologische proces te stimuleren: in een bovengronds aangelegd biofilter (bovengronds biofilter) of in de grond met een bodemfilter (ondergronds biofilter). In beide gevallen, zowel bij thermische oxidatie als bij biologische oxidatie, wordt methaan (CH₄) omgezet in CO₂. Methaan heeft een zogeheten Global Warming Potential (GWP) factor van tussen de 20-30 afhankelijk van de rekenmethode, dat betekent dat methaan een 20-30 keer sterker broeikasgaseffect heeft dan CO₂. Door het omzetten van methaanemissie uit mest in CO₂ wordt de opwarmingpotentie van deze uitgestoten broeikasgassen dus een factor 20-30 keer lager dan als de methaan niet wordt omgezet.

1.2.1 Methaanoxidatie technieken

Binnen dit project zijn er tot op heden drie mogelijke methaanoxidatie technieken onderzocht. Deze drie technieken zijn gekozen gebaseerd op de simpliciteit van het totaalsysteem en om de investeringen laag te houden. Hierbij is gekozen voor het biofilter, het bodemfilter en een fakkelinstallatie. Voor elke van deze technieken is er één praktijkpilot opgezet. Hieronder wordt per techniek de werking beschreven.

1.2.1.1 Biofilter (bovengronds)

Bij een bovengronds biofilter wordt gebruik gemaakt van methanotrofe bacteriën. Door methaan samen met zuurstof aan deze bacteriën aan te bieden zal de methaan door de bacteriën worden omgezet in CO_2 . Hiervoor moet er wel een omgeving worden gecreëerd waarin deze bacteriën kunnen overleven en waarin de methaan samen met zuurstof wordt aangeboden. Dit gebeurt in een bovengronds biofilter. In het biofilter zit een filterpakket (ook wel filterbed genoemd) bestaande uit organisch materiaal (bijv. compost) en een luchtdoorlatend verpakkingsmateriaal (Figuur 1). Het organisch materiaal wordt door de bacteriën als voedingsstof gebruikt en het verpakkingsmateriaal zorgt ervoor dat het filterbed niet verstopt raakt zodat de methaan en zuurstof van onderuit biofilter door het filterpakket heen kan bewegen. Vervolgens zetten de bacteriën in het filterpakket de methaan om in CO_2 . De CO_2 zal het biofilter verlaten aan de bovenkant van het filterpakket.



Figuur 1 Bij een biofilter worden methaan en zuurstof onder in het biofilter samengebracht. De methaan en zuurstof worden door het filterbed geblazen. In het filterbed, dat bestaat uit een verpakkingsmateriaal samen met organisch materiaal, wordt de methaan door methanotrofe bacteriën omgezet in CO_2 .

1.2.1.2 Bodemfilter (ondergronds)

Het bodemfilter is vergelijkbaar met een (bovengronds) biofilter. Methanotrofe bacteriën zetten de methaan, samen met zuurstof, om in CO_2 . Het verschil met een bovengronds biofilter is dat het filterbed bij een ondergronds biofilter bestaat uit grond. Er zijn bepaalde grondsoorten waarbij er genoeg lucht tussen de grond kan komen om methaanoxidatie toe te passen (zie hoofdstuk 3.2). Het is dus niet toepasbaar bij alle soorten grond. De methanotrofe bacteriën kunnen in de grond overleven door het organisch materiaal dat daar aanwezig is. Bij een bodemfilter wordt methaan in buizen geleid die onder de grond liggen begraven (Figuur 2). Het methaan zal door deze buizen vrij komen in de grond en zuurstof zit al in de grond waarmee de methanotrofe bacteriën in de grond de methaan omzetten in CO_2 .



Figuur 2 Bij een bodemfilter worden er buizen die gasdoorlaten in de grond gegraven (foto links). Het biogas (met methaan) wordt door deze buizen geleid en zal ontsnappen uit de buizen. Het methaan in het biogas wordt door de methanotrofe bacteriën in de grond omgezet in CO_2 . Hierbij diffuseert de zuurstof, die nodig is voor de omzetting, van bovenaf door de grond heen.

1.2.1.3 Fakkelt

Bij het gebruik van een fakkelt wordt biogas verbrand waardoor er CO_2 overblijft. De fakkelt kan het beste vergeleken worden met een grote bunsenbrander (Figuur 3). De methaan die gevormd wordt in de mest dient hiervoor wel als puur biogas te worden afgevangen, als de methaanconcentratie namelijk te laag is kan deze niet meer aangestoken worden. Bij de fakkelt wordt vervolgens lucht (zuurstof) toegevoegd om een brandbare samenstelling te krijgen waardoor alle methaan in het biogas volledig verbrand wordt (oxideren).



Figuur 3 Links op de foto staat de fakkelt zoals deze bij een mestopslagzak is aangesloten om de methaan uit het biogas af te fakkelen.

2 Methaan afvangen bij mestopslagen

Om methaan om te zetten in CO₂ dient deze eerst afgevangen te kunnen worden voordat deze de omgeving in emitteert. Externe mestopslagen lijken hiervoor geschikt. Deze zijn doorgaans al grotendeels zoveel mogelijk dicht gemaakt om ammoniakemissie te voorkomen. Met minimale aanpassingen zou het mogelijk moeten zijn om uit deze externe mestopslagen ook de methaan te kunnen afvangen. Binnen het project is er getracht bij 3 soorten mestopslagen de methaan af te vangen: de mestsilo, mestzak en bij mestbassins. In dit hoofdstuk wordt per mestopslag uitgelegd welke ervaringen er zijn opgedaan in de praktijk met het afvangen van methaan.

Verder komen de voor- en nadelen van diverse mestopslagen aan de orde, waarbij voornamelijk getracht is om bestaande mestopslagen gasdicht te krijgen. Daarnaast is gekeken naar de mogelijkheid van zowel passieve als actieve afvangst:

- Bij passieve afvangst wordt gebruikt gemaakt van de drukopbouw, die het gevolg is van de biogasvorming in de opslag. In de opslag neemt de druk toe waardoor een gedeelte van het gas uit de opslag wordt weggeduwd door buizen heen. Met deze drukopbouw kan het gas zich dus zonder gebruik van ventilatie uit de mestopslag verplaatsen richting een opvangpunt (de methaanoxidatie techniek). Het resultaat is een gassamenstelling met een hoog methaangehalte en vrijwel geen zuurstof (biogas).
- Bij actieve afvangst wordt het methaan door middel van een ventilatiesysteem uit de mestopslag gezogen. Hierbij wordt een mengsel van lucht en biogas verkregen. Om dit veilig te kunnen doen, dient de methaanconcentratie voldoende te worden verdund, zodat de methaanconcentratie buiten het explosieve gebied blijft (onder de 4,4 vol% methaan of boven de 16 vol% methaan).

2.1 Mestzak

De beste mogelijkheden voor passieve gasonttrekking lijken te bestaan bij opslag van mest in mestzakken. Een mestzak is in de regel goed afgesloten en lekdicht. Dat geldt zelfs voor wat oudere exemplaren. Wel moet aandacht worden besteed aan mogelijke lekkage bij enkele openingen. Zolang deze niet afdicht zijn kan er in de mestzak geen druk opbouwen waardoor er niet met passieve onttrekking kan worden gewerkt. Het gaat bij mestzakken om de volgende openingen:

1. ontluchtingspijpen;
2. aansluiting van de pijpen aan de mestzak;
3. inlaatkoppeling van de mest en;
4. menggat (voor het mixen van de mest).

In dit project zijn uiteindelijk de eerste methaanoxidatie pilots met methaanoxidatie technieken uitgevoerd bij mestzakken omdat deze het makkelijkste bleken om bij bestaande mestopslagen methaan te kunnen afvangen.

2.1.1 Mestzak locatie #1

Het volume van de mestzak op locatie #1 was 230 m³ en besloeg een oppervlak van ongeveer 12 bij 12 m. De zak was volledig omdijkt en voorzien van 8 ventilatiepijpjes en een menggat van 1,80 bij 1,80 m.

Voor afvangst van het methaan zijn vier van de ventilatiepijpjes afgesloten met een stop. De vier andere pijpjes zijn aangesloten op een flexibele slang met een diameter van 25 mm. In eerste instantie waren de vier ventilatiepijpjes op de hoeken aangesloten en de vier ventilatiepijpjes in het

midden afgesloten. Wanneer de mestzak niet volledig gevuld was, bleek echter in hoeken meer water te blijven staan dan in het midden, waardoor de flexibele slangen werden geblokkeerd. Om die reden is besloten om de middelste ventilatiepijpjes aan te sluiten en de pijpjes op de hoeken af te sluiten (**Figuur 4**).

Nadat de mestopslag was aangesloten bleek een groot deel van het gevormde methaan weg te lekken via het menggat in het midden van de zak. Door een ring te leggen rond het menggat, bestaand uit pvc-buis verzwaaard met klinkers, werd deze lekkage verder voorkomen (**Figuur 5**). De verzwaaarde pvc-buis duwde het midden van de mestzak altijd op de mest zelf waardoor de gasbel boven de mest hierdoor niet meer kon ontsnappen. Daarna was het mogelijk om biogas af te vangen uit de mestzak met passieve afvangst.



Figuur 4 Foto van de met daarop de afgedopte ontluchtigsgaten in de hoeken en aansluiten van een flexibele slang op de middelste ontluchtigspijpjes.

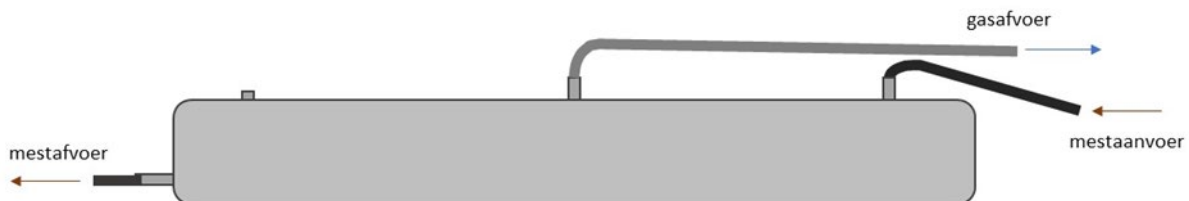


Figuur 5 Ringafsluiting van het menggat.

2.1.2 Mestzak locatie #2

De mestzak was rechthoekig, met een oppervlak van 7,6 bij 44 m. De inhoud was 350 m³, met een aansluiting voor mestaanvoer en drie plekken waar een ontluichtingspunt kon worden gemaakt. De mestzak had geen man- of menggat. De zak lag vrij en was niet omdijkt.

Voor dit project werd alleen het middelste ontluichtingspunt ingericht voor passieve onttrekking van biogas uit de opslag. Het voorste ontluichtingspunt werd omgebouwd tot een aansluiting voor mestaanvoer (**Figuur 6**). Mestafvoer gebeurde via de reguliere mestaansluiting van de mestzak (figuur 6 en 7). In eerste instantie werd de mestzak gevuld met 150 m³ mest. Vervolgens werd periodiek een hoeveelheid oude mest vervangen door verse mest. Dit werd gedaan zodra de methaanvorming in de mestzak significant leek af te nemen. Dit gebeurde eens in de 2-3 maanden.



Figuur 6 Schematische tekening van de mestzak met de gasafvoer en de mestaan- en afvoer punten.

De aanleg van de mestzak was op 15 mei 2020 gereed. Sindsdien verloopt de passieve onttrekking van biogas uit deze mestopslag probleemloos. Bij zware regenval moet wel voorkomen worden dat het water op de mestzak de ontluichtingsbuis afknijpt van de rest van de mestzak. Binnen het project werd dit handmatig gedaan na een regenbui.



Figuur 7 Foto van de mestzak met vooraan de mestaanvoer. Middenop is de grijze gasafvoer net zichtbaar, aangesloten op een flexibele slang.

2.2 Mestsilo met spankap

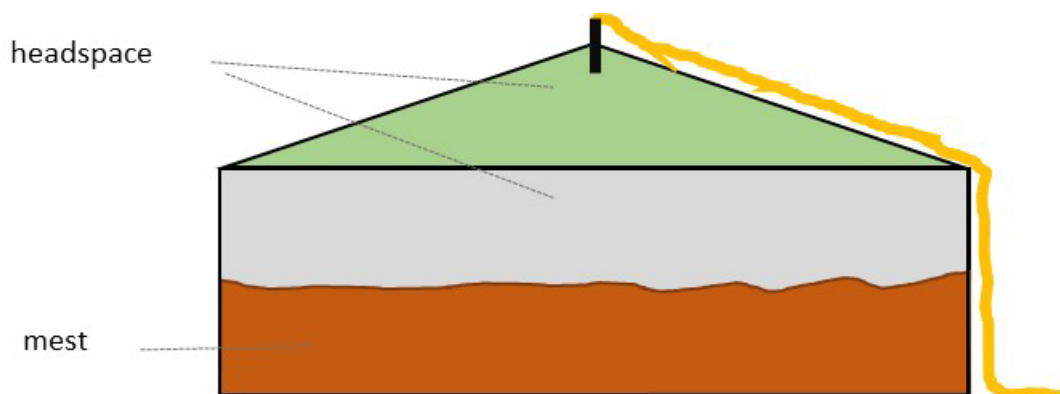
Bij mestsilo's met een spankap bevindt zich een, met gas gevulde, ruimte tussen het mestoppervlak en de spankap (de 'headspace'). Om te voorkomen dat de spankap door drukopbouw wordt beschadigd heeft de spankap een aantal ventilatieopeningen. Binnen dit project zijn een aantal mestsilo's met spankap bezocht. In de meeste gevallen bestaan de ventilatieopeningen uit sleuven in het doek van de spankap, nabij de nok. In één geval was er sprake van een centrale ventilatiepijp in de nok van de opslag (en geen sleuven in de spankap).

In theorie kunnen mestsilo's met spankap worden aangepast voor zowel passieve als actieve afvangst:

- Voor passieve afvangst dient de silo volledig gasdicht te worden gemaakt op één centraal ventilatiepunt na (**Figuur 8**). Hierdoor kan in de mestsilo een lichte overdruk worden gerealiseerd, zodat het gas via het centrale ventilatiepunt kan worden afgevoerd. Aandacht moet worden besteed aan het voldoende gasdicht maken van de ontluuchtingsgleuven of pijpen in de spankap, het menggat (of mangat) in de spankap en de aanhechting tussen de silo en de kap. Een uitdaging bij passieve afvangst zijn de verdringingsverliezen, wanneer de silo met mest wordt gevuld of geleegd. Bij vulling van de silo met nieuwe mest neemt de grootte van de headspace in korte tijd af, waardoor de overdruk in de headspace toeneemt en daarmee ook de aanvoer van methaan aan de nageschakelde techniek. Bij leging van de silo ontstaat een onderdruk in de headspace en loopt men het risico buitenlucht in te zuigen.
- Bij actieve afvangst wordt met een ventilatiesysteem het gas uit de headspace gezogen. Bij deze toepassing hoeft de kap en/of de aansluiting van de kap met de silowand niet geheel lekdicht te zijn omdat lekken door onderdruk wordt voorkomen. Wel moet dan specifiek rekening worden gehouden met de explosierisico's.

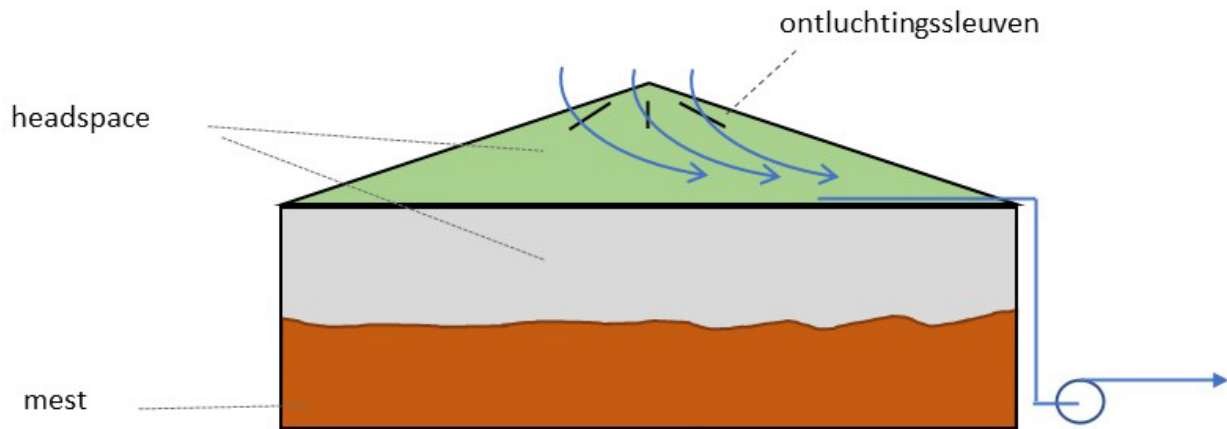
Binnen dit project is er een eerste ervaring opgedaan met zowel passieve als actieve afvangst bij een mestsilo met spankap.

Bij een eerste test is een mestsilo deels gevuld met mest en werd het centrale ontluuchtingspunt aangesloten op een flexibele slang. Aan het eind van de slang werd een voorziening gemaakt om de gasstroom te meten. Echter, de daadwerkelijk afgevangen hoeveelheid gas bleek te klein om te kunnen worden gemeten. Dit is echter uitgevoerd in de periode najaar 2018 tot voorjaar 2019 toen nog niet bekend was dat de methaanvorming in de winter drastisch minder is dan eerder werd gedacht. Dit komt doordat de methanotrofe bacteriën bij lage temperaturen niet of nauwelijks actief zijn. Misschien dat het in de periode mei tot oktober wel mogelijk is om methaan passief af te vangen uit een mestsilo met spankap. Na afronding van de eerste pilots op mestzakken in 2022 wordt dit verder onderzocht.



Figuur 8 Passieve onttrekking uit een mestsilo met spankap.

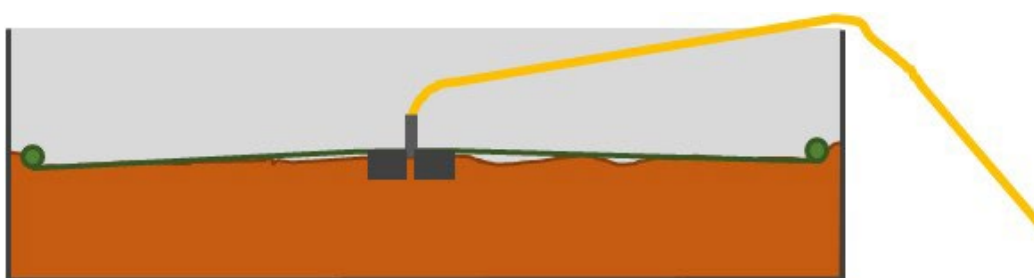
Op een andere locatie is, ook in de winter, ervaring opgedaan met actieve gasonttrekking uit een silo met spankap. Hiervoor is een gasafvoerleiding onder het zeil geplaatst, waarna met een kleine gascompressor lucht uit de headspace werd onttrokken (**Figuur 9**). Zowel gasflow als methaan- en CO₂-concentraties in het afgevoerde gas zijn hierbij geregistreerd. Technisch lijkt deze actieve afvangst goed haalbaar. De onttrokken lucht bleek echter niet of nauwelijks methaan te bevatten, waarschijnlijk als gevolg van zeer geringe methaanvorming tijdens de winterperiode. Ook deze manier van afvangst zal na afronding van de eerste pilotfase in 2022 verder onderzocht worden.



Figuur 9 Actieve onttrekking uit een mest silo met spankap.

2.3 Mestsilo met drijfdek

Bij mestsilo's met drijfdek kan gas passief kunnen worden opgevangen. Voorwaarde is dan wel, dat het drijfdek in dusdanig goede staat is, dat het volledig gasdicht kan worden gemaakt. Daarnaast dient het drijfdek aan de randen goed contact te maken met de mest, zodat daar geen gas ongecontroleerd kan ontsnappen (**Figuur 10**). Een drijfdek dekt niet de volledige oppervlakte van de mest af. Rondom het dek is er meestal een ruimte van 10 à 20 cm die niet bedekt wordt, waardoor gas niet kan ophopen. Wanneer een drijfdek met een enkele pijp voor afvoer van gas wordt gemaakt, kan het merendeel van het gas uit de mest wel worden afgevangen. Een eventueel menggat dient daarbij te worden afgedicht met een goede drijvende ring om het met een waterslot af te sluiten.



Figuur 10 Passieve onttrekking uit een mest silo met drijfdek.

In samenwerking met de leverancier van drijfdekken is een ontwerp van het drijfdek aangepast, zodanig dat alle gas via één centraal ontluichtingspunt kan worden afgevoerd (**Figuur 11**). Dit ontluichtingspunt is aangesloten op een flexibele slang, waarvan aan het eind een voorziening is gemaakt om de hoeveelheid onttrokken gas te meten. In maart 2019 bleek de daadwerkelijk afgevangen hoeveelheid gas te klein om te kunnen worden gemeten. De geringe methaanvorming in buitenmestopslagen in de winter zal ook hier hebben meegespeeld bij de lage meetresultaten. Vanaf het voorjaar van 2022 zijn hier opnieuw metingen opgestart om de potentiële methaanafvangst bij drijfdekken te testen.

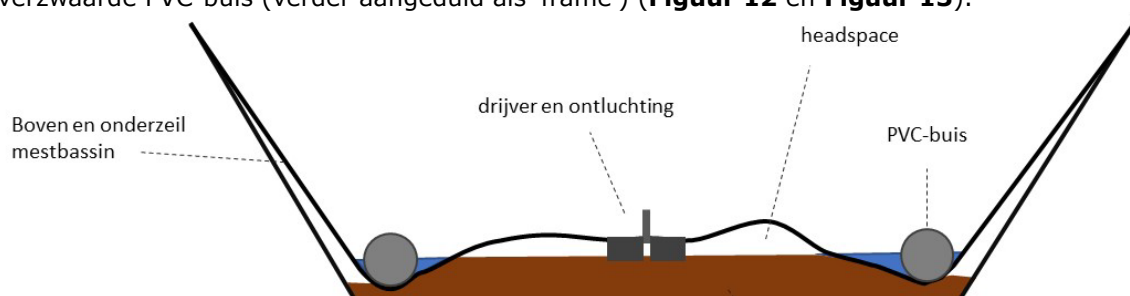


Figuur 11 Gasafvangst uit mestsilo met drijfdek.

2.4 Mestbassin

Een mestbassin bestaat uit twee delen kunststoffolie, waartussen de mest wordt gepompt. De twee delen folie zijn niet gelast, maar meestal samen ingegraven in de grond. Het bovenste zeil bevat ontluichtingspijpjes en vaak ook een menggat. In dit project zijn enkele mestbassins bezocht.

In de zomer en het najaar van 2019 is, in samenwerking met een leverancier van mestbassins, veel energie gestoken in het gasdicht krijgen van de meest geschikte mestbassin. Er bleek echter lekkage te zijn op de plek, waar het boven- en onderzeil samen waren ingegraven. Met een gevoelige methaananalyser (TDL) werd aan de rand ontsnappend methaan vastgesteld. Als oplossing is de zijkant van het bassin in zijn geheel afdichtend met een waterslot, door een ring aan te leggen met een verzwaarde PVC-buis (verder aangeduid als 'frame') (**Figuur 12** en **Figuur 13**).



Figuur 12 Afdichting van de zijkanten van het mestbassin door middel van een frame.



Figuur 13 De mestopslag in januari 2020 na vulling.

Dit eerste frame was bedoeld als een eerste prototype. Het frame sluit alleen de zijkant volledig af, zolang het mestbassin zuigleeg is. Zodra het bassin met mest wordt gevuld, zal een deel van het methaan vrijkomen onder het doek, buiten het frame en alsnog naar de zijkant ontsnappen, wat leidt tot rendementsverlies. Naar schatting was dit maximaal 50%, gebaseerd op het oppervlak van de mestopslag dat wordt bestreken door het frame in gevulde toestand. In dit project is toen besloten om dat rendementsverlies in het vervolg van de proef te accepteren. Voor eventuele toekomstige projecten bij mestbassins zal moeten worden nagedacht over betere manieren om de zijkanten van de opslag af te dichten (bijvoorbeeld door de zeilen aan elkaar te lassen).

Echter ook na realisatie van het frame, bleek het niet mogelijk om onder het bovenzeil druk op te bouwen. Bij een lekkage meting met de TDL (methaandetector) bleken op een aantal plekken kleine scheurtjes te zijn ontstaan en dan vooral op de plekken, waar de doorvoeren door het bovenzeil voor de ventilatiepijppjes zijn gemaakt. In eerste instantie is geprobeerd om deze scheuren te lassen (**Figuur 14**). Alleen lassen van het bovenzeil bleek niet goed mogelijk, omdat het zeil al te veel van de weekmakers had verloren en daardoor te bros was geworden. Vervolgens is geprobeerd om de lekken te repareren met speciaal daarvoor bestemde reparatietape. Ook dit bleek lastig, doordat de leeggezogen mestopslag nog steeds een restant mest bevatte, die door de scheuren steeds weer omhoog kwam en het breukvlak vervuilde. De hechting was hierdoor steeds niet goed en de scheuren die in eerste instantie succesvol leken te zijn gelast of dichtgetapet, bleken na enkele weken weer te zijn opengesprongen.



Figuur 14 Pogingen tot dichten van lekken van de bassin mestopslag.

Uiteindelijk is besloten om verdere pogingen te staken om het mestbassin gasdicht te krijgen. Wellicht is het mogelijk het mestbassin voldoende dicht te krijgen, door het bovenzeil te vervangen door een nieuw exemplaar, waarin de ontluuchtingspijppjes en drijvers vanaf de fabriek af gasdicht zijn geïntegreerd. Dit zou dan moeten worden gecombineerd met een verbeterd ontwerp van het frame, zodat ook in volledig gevulde toestand de randen van de opslag zijn afgedicht. Echter zijn dit vrij grote aanpassingen waardoor is besloten dat bestaande mestbassins niet geschikt zijn om methaan vanuit af te vangen.

3 Metingen en aandachtspunten

In het vorige hoofdstuk zijn de eerste ervaringen gedeeld voor het afvangen van methaan uit bestaande mestopslagen. Bij de eerste testen bleek het bij bestaande mestzakken het makkelijkste om methaan af te vangen. Daarom werd na de eerste testen besloten om de eerste 3 pilots, één van elk van de gekozen methaanoxidatie technieken, op mestzakken toe te passen. Hieronder worden de eerste ervaringen en metingen bij deze technieken besproken.

3.1 Biofilter

Om veiligheidsproblemen met incidenteel verhoogde methaanconcentraties te voorkomen, werd het biofilter uitgevoerd met rand- en meetapparatuur, dat voldoet aan de ATEX 114-richtlijn. Het geteste biofilter had een oppervlak van 3 bij 4 m met een diepte van het filterpakket van 1 m. De totale vulling bedroeg 14 m³. De vulling bestond aan het begin van de proef uit een mengsel van vermiculiet (als verpakkingsmateriaal) en groencompost (als organisch materiaal). Echter bleek de vermiculiet niet luchtig genoeg en de permeabiliteit van het filterbed was daardoor minder dan verwacht. Gevolg hiervan was een hogere drukval, en dus luchtsnelheid, over het filterpakket waardoor het rendement van methaanoxidatie lager werd. Hierna was gekozen voor een vulling van perliet met groencompost. Perliet is een wat steviger materiaal dan vermiculiet en wordt ook niet aangetast door vocht. De drukval door het filter bleek daarna aanzienlijk lager dan bij de eerste testen. Het biofilter werd uitgevoerd met een beregeningsinstallatie om uitdroging van het biofilter te kunnen voorkomen. Bij een te droog biofilter kunnen de methanotrofe bacteriën namelijk niet groeien, en dus methaan omzetten in CO₂. Deze beregening was ook bedoeld om een deel van het sulfaat uit te spoelen, die mogelijk in het onderste deel van het filter wordt gevormd door oxidatie van H₂S. De beregening bestond uit een druppelirrigatiebuis bovenop het filter, in combinatie met een tijd programmeerbare klep aangesloten op de waterleiding. Dit werkte echter niet naar behoren (veel lekkage) en vervolgens is de beregening handmatig uitgevoerd.



Figuur 15 Foto van het biofilter. Onderin de foto loopt de flexibele slang vanaf de mestzak naar het T-stuk. Bij het T-stuk wordt buitenlucht aangezogen om een niet explosief mengsel van methaan en zuurstof in het midden onderin bij het biofilter ingebracht te worden.

Gasonttrekking uit de mestzak was passief via een flexibele slang. De passief onttrokken lucht wordt vervolgens in een T-stuk gemengd met actief ingezogen buitenlucht (**Figuur 15**). Het debiet van de actief ingezogen buitenlucht kon worden geregeld met een WEG WM-5 frequentieregelaar. Hiermee kon de verdunning van de methaan handmatig beneden 1,5 vol% CH₄ gehouden worden. Dit is ongeveer 30% van de onderste explosiegrens van methaan (30% LEL, Lowest Emission Level). De samenstelling van het gas in de inlaat werd iedere 15 minuten geanalyseerd op CH₄, CO₂, O₂ en H₂S met een Smart Biobasic gasanalyser van Fresenius. De gasflow werd gemeten met een DPT-flowmeter van HK instruments. Zowel gasflow als gemeten concentraties werden opgeslagen op een ATM monitoringsysteem van ATAL.

Dit biofilter is in juli 2020 opgestart. Na de opstart bleek dat H₂S in het biogas en de menging van dat biogas met buitenlucht corrosie veroorzaakte die diverse technische defecten tot gevolg had. Dit werd opgelost door het plaatsen van een koolfilter die H₂S wegving. Na een nieuwe opstartperiode was het biofilter in de periode december 2020 tot oktober 2021 operationeel.

Bij regenval bleef regenwater op het vlakke deel van de mestzak liggen. Door het gewicht van de ventilatiepijp, hoopt dit water zich op rond de ventilatiepijp, waardoor de afvoer van methaan werd verstoord (**Figuur 16**). Uiteindelijk zal de drukopbouw voldoende zijn om het gas alsnog via de ventilatiepijp af te voeren. Maar het gevolg hiervan is wel dat het methaan niet gelijkmatig aan het biofilter wordt aangeboden. Dit kan worden voorkomen door een drijver onder de ventilatiepijp te monteren, met in die drijver een doorlaat voor gas.



Figuur 16 Na regenval werd de methaanflow uit de mestzak soms verstoord door plasvorming bij het aansluitpunt met de mestzak.

3.1.1 Voorlopige metingen

Nadat de biofilter pilot voldoende stabiel draaide is er gedurende jan 2021 tot en met september 2021 gemeten om het omzettingsrendement te bepalen. Hiervoor is een overzicht van de resultaten te zien in tabel 1. Tijdens deze periode zijn er indicatieve metingen uitgevoerd, hierbij is er op locatie met een handmeter de methaan concentratie bij de ingaande en uitgaande luchtstroom bepaald, en 24-uurs metingen waarbij gedurende 24 uur een gemiddeld gasmonster is genomen van de ingaande en uitgaande luchtstroom en in het lab is geanalyseerd.

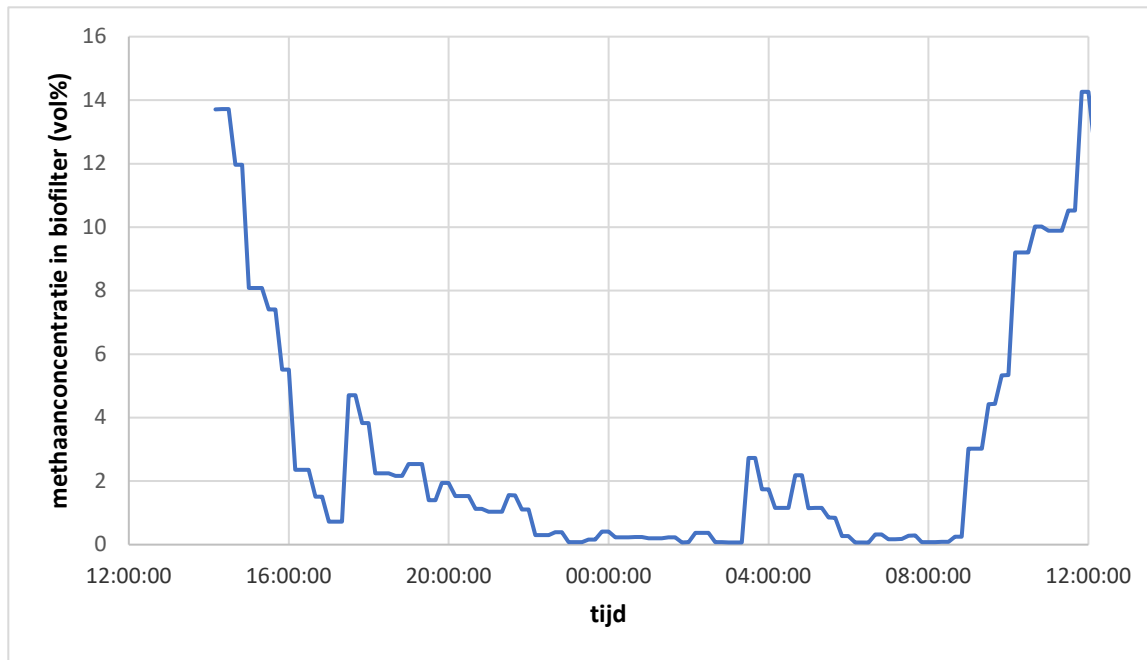
Tabel 1 Overzicht metingen bij het biofilter. Methode indicatief is uitgevoerd met een handmeter (TDL) waarbij er een momentopname is bekeken. Bij 24-uursmeting is er gedurende een dag zowel de ingaande als uitgaande luchtstroom bemonsterd en in het lab geanalyseerd op methaanconcentratie om het rendement te berekenen.

datum	methode	ingaaand	uitgaand	debiet	Rendement	Verwijderings capaciteit
		vol% CH ₄	vol% CH ₄	m ³ /uur		(g/m ² /uur)
08/01/2021	indicatief	3.1	0.6	6.1	79%	7.7
15/01/2021	indicatief	1.3	0.2	6.1	85%	3.4
27/01/2021	indicatief	0.2	0.0	9.5	81%	0.6
07/02/2021	vorstperiode					0.0
16/03/2021	indicatief	8.2	1.5	8.7	82%	29.6
26/03/2021	indicatief	6.8	0.5	11.2	93%	35.9
01/04/2021	indicatief	10.1	0.8	11.5	92%	54.1
13/04/2021	indicatief	12.1	1.3	11.2	89%	61.6
19/04/2021	indicatief	10.1	1.2	11.7	88%	53.3
07/05/2021	indicatief	12.2	1.8	11.2	85%	59.3
21/05/2021	indicatief	2.1	0.6	11.7	71%	9.0
03/06/2021	indicatief	21.2	12.3	11.2	42%	50.8
11/06/2021	indicatief	11.1	2.8	11.5	75%	48.5
28/06/2021	indicatief	8.5	4.4	11.2	48%	23.4
05/07/2021	indicatief	7.1	2.9	11.5	59%	24.6
28/07/2021	24-uursmeting	0.6	0.37	22.4	39%	2.6
04/08/2021	24-uursmeting	1.7	1.23	21.4	27%	5.0
11/08/2021	24-uursmeting	2.3	1.33	20.8	41%	9.8
18/08/2021	24-uursmeting	0.4	0.21	21.6	50%	2.3
25/08/2021	24-uursmeting	0.9	0.61	21.5	33%	3.3
01/09/2021	24-uursmeting	0.3	0.13	23.3	52%	1.7
08/09/2021	24-uursmeting	0.6	0.19	23.3	68%	4.7
15/09/2021	24-uursmeting	1.4	0.68	25.2	51%	9.0

Wat opvalt is dat de er vanaf mei 2021 een daling in het rendement te zien is. Het is nog onduidelijk wat hiervoor de precieze oorzaak was. Mogelijk was het filterpakket toch weer compacter geworden ondanks de perliet en ontstonden er voorkeursstromen waardoor niet het volledige filterpakket werd gebruikt voor methaanoxidatie. Een andere mogelijkheid is dat de vochtigheid niet correct was door het handmatige besproeien.

Verder lijken de indicatieve metingen een stuk hogere efficiëntie te meten dan de 24-uursmetingen. Dit lijkt het gevolg van een dag-nacht ritme. In figuur 17 is een overzicht van een 24-uursmeting weergegeven. Hieruit blijkt dat tussen 9.00 uur en 16.00 uur overdag de methaanconcentratie een stuk hoger is dan gedurende de nacht. Dit is het gevolg van de hogere temperatuur overdag waardoor er meer biogas wordt gevormd en dus aan het biofilter wordt aangeboden. Een indicatieve momentmeting overdag leverde dus een hogere ingaande methaanconcentratie op dan de 24-uursmeting. Het is vanuit literatuur bekend dat bij hogere methaanconcentratie de efficiëntie van oxidatie toeneemt in biofilters. De indicatieve metingen zijn dus een overschatting van het daadwerkelijke rendement.

Gebaseerd op literatuur en deze eerste pilot is de verwachting dat een uiteindelijk biofilter ontwerp tussen de 60-80% efficiëntie van methaanomzetting kan bereiken.



Figuur 17 Overzicht van een 24 uur meting van de methaanconcentratie bij het biofilter.

3.1.2 Aandachtspunten ontwerpen biofilter

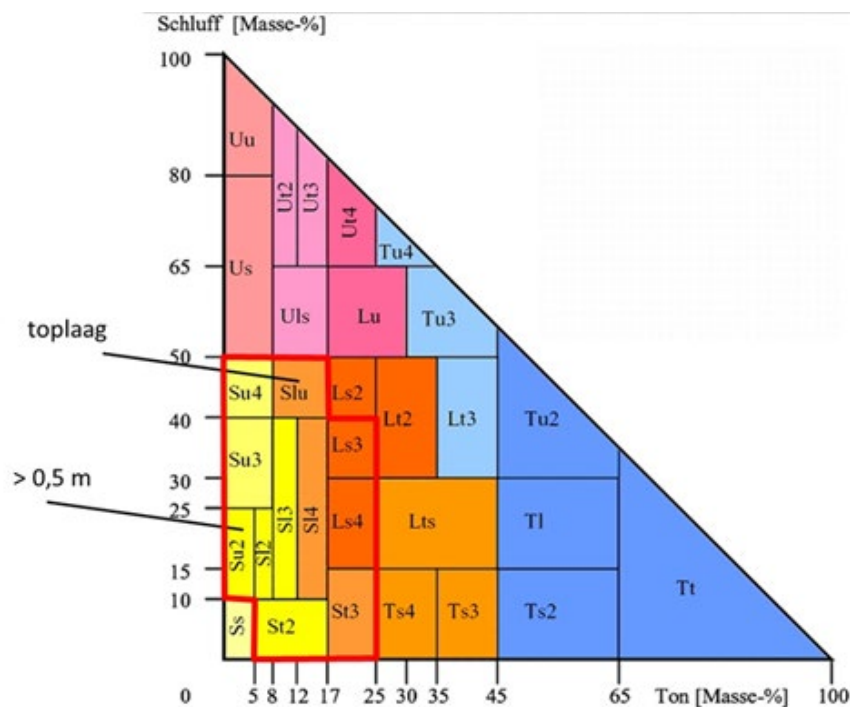
- Vullingsmateriaal dient niet te compact te zijn. Bij gebruik van vermiculiet bleek er een hoge drukval te ontstaan over het filterpakket.
- Zwavel (H_2S) zorgt voor corrosie in alle mechanische delen van het biofilter. Bij veel H_2S vorming in het biogas is het belangrijk om een zwavelfilter tussen de mestopslag (methaan afvangpunt) en het biofilter te plaatsen.
- De methaanconcentratie is belangrijk voor de efficiëntie van de methaanomzetting. Een hogere concentratie is een hogere efficiëntie.
- Brandveiligheid: bij een langzame aanpassing van het ventilatiedebiet van de buitenlucht kan er een brandbaar mengsel van zuurstof en lucht ontstaan.
- Bevochtiging van het biofilter is handmatig uitgevoerd, echter is niet zeker of dit onvoldoende was of mogelijk teveel. Dit zou dichtslibbing van het filtermateriaal kunnen hebben veroorzaakt.

3.2 Bodemfilter

Voor het inzetten van een bodemfilter dient de juiste soort grond gebruikt te worden. Bij de testlocatie is daarom om de bodem te karakteriseren zijn bodemmonsters genomen op verschillende dieptes en geanalyseerd door TU Delft, waarbij de bodemmonsters zijn beoordeeld op geschiktheid voor methaanoxidatie (**Tabel 2**). Conclusie was, dat zowel de bovenste 40 cm van de toplaag als de daaronder liggende grond in principe geschikt zijn voor methaanoxidatie. Die conclusie werd vooral getrokken op basis van de textuur (**Figuur 18**), waarbij verder het lage zoutgehalte (EC) en licht basische pH wijzen op gering potentieel voor inhibitie van methanotrofe bacteriën. Conclusie was echter ook dat de hoogste grondwaterstand zich op ongeveer 60 cm onder het maaiveld bevindt. Het oxidatieveld diende daarom boven een diepte van 60 cm te worden gerealiseerd.

Tabel 2 Resultaten analyses bodemonsters. TOC is totaal organische koolstof en wordt berekend aan de hand van gloeiverlies. Textuur heeft betrekking op de textuur conform de Duitse klassificering aan de hand van een "vingertest". Redoximorfisch geeft aan in hoeverre de grond is blootgesteld aan stagnant water/hoge grondwaterstand.

Diepte	Gloeiverlies	TOC calc.	pH	EC	vocht	Textuur	Redoximorfisch
(cm)	(massa-%)	(massa-%)	(-)	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	% dm		
0-20	4.5	2.6	8.1	108	21.3	Slu	-
20-40	3.0	1.7	8.2	120	13.5	Slu	-
40-60	1.5	0.9	7.8	155	16.2	Su2	x
60-80	1.2	0.7	8.1	118	18.4	Su2	xx
80-100	0.9	0.5	8.4	96	18.5	Su2	xxx



Figuur 18 Typen grond weergegeven in de classificering die in Duitsland gangbaar is. In rood zijn de bodemtypes omkaderd, welke volgens Universität Hamburg geschikt zijn voor methaanoxidatie. Op de X-as staat het hoeveelheid klei weergegeven en op de Y-as de hoeveelheid silt. De toplaag werd geclassificeerd als SLU. De onderliggende laag als SU2. Beide zijn geschikt voor methaanoxidatie.

Voor realisatie van het bodemfilter is een vlak van 5 bij 8 m afgegraven tot een diepte van 50 cm. Op de bodem van dit vlak is vervolgens een systeem van drainagebuizen aangelegd, welke bovengronds via een dichte flexibele slang werd aangesloten op de mestzak (Figuur 2). De 20 m³ afgegraven grond werd vervolgens gemengd met 16 m³ toplaag van hetzelfde perceel en teruggebracht op het drainagesysteem. Het veld werd vervolgens ingezaaid met een wildbloemenmengsel. In totaal bestaat het veld uit 36 m³ grond.

Rondom het oxidatieveld zijn 5 peilbuizen gerealiseerd voor monitoring van het effect van methaanoxidatie op het grondwater (Figuur 19).

Vanaf oktober 2020 zijn de eerste metingen opgestart. Echter werd er gedurende de testperiodes meermalen een verhoogde sulfaat gehalte vastgesteld in het grondwaterpeil. In overeenstemming met de omgevingsdiensten is de proef toen stilgelegd. Nadat dit na herstarten opnieuw plaatsvond is het aannemelijk dat het uitspoeling vanuit het bodemfilter betreft. Als gevolg hierop is er een zwavelfilter geplaatst (hetzelfde als bij het biofilter, zie vorig hoofdstuk) voordat het biogas uit de mestzak het bodemfilter ingaat (zie bijlage 1).



Figuur 19 De witte buizen zijn waterpeilbuizen die op verschillende dieptes rond het bodemfilter zijn aangebracht om de grondwater kwaliteit te monitoren.

3.2.1 Voorlopige metingen

Door onder andere de verhoogde sulfaat gehalten in het grondwater is de pilot met het bodemfilter nog niet een volledig jaar actief geweest. Hierdoor zijn er nog niet veel metingen gedaan gedurende het jaar. In tabel 3 zijn de meest uitgebreide metingen weergegeven. De meetmethode voor het meten van de efficiëntie van het bodemfilter is gedaan met de boxmethode. Door een afgesloten doos (box) op het veld te zetten en de toename in methaan in deze doos te meten kan bepaald worden wat de uittredende emissie van methaan is van het oppervlakte waarop de doos zich bevindt. Door dit meermalen te doen en de gemiddelde oppervlakte emissie te vergelijken met de ingaande hoeveelheid methaan kan een efficiëntie berekend worden. Hierbij is het belangrijk dat er veel meetpunten gebruikt worden omdat de uittredende emissie niet gelijk verdeeld is over het bodemfilter. Door wortelgroei en verplaatsing van grond zijn sommige delen van het bodemfilter meer permeabel en kan er grote variatie van emissie plaats vinden.

Uit de eerste indicatieve metingen blijkt de verwachting dat een bodemfilter een efficiëntie kan bereiken van 60-70%. Echter door de geringe aantal metingen in het eerste jaar zal dit bij nieuwere pilots meer doorgemeten worden om ook seizoen variatie beter mee te nemen.

Tabel 3 Ingaande hoeveelheid methaan in het bodemfilter en de gemeten gemiddelde emissie van methaan uit het filter.

Datum meting	Ingaand		Emissie uit bodemfilter		Omzetting
	l/uur	l/m ² /uur	l/m ² /uur	l/uur	
6-10-2020	1415	35	8.6	343	76%
28-10-2020	487	12	4.1	163	67%
22-7-2021	<<350	<<9	0.001	0.03	> 95% ¹⁾
15-9-2021	474	12	4.6	184	61%
22-11-2021	369	9	5.1	206	44%

¹⁾ Rendement vastgesteld op basis van gemeten verhoudingen CH₄ en CO₂ i.p.v. methaan flows

3.2.2 Aandachtspunten

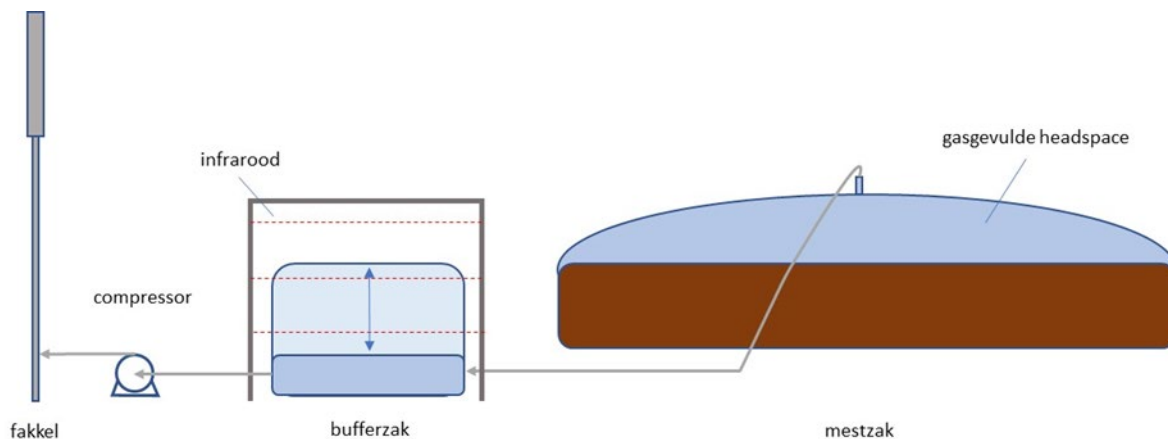
- H₂S in het biogas wordt in het bodemfilter geoxideerd tot sulfaat. Echter zal dit uitspoelen naar het grondwater. Om dit te voorkomen dient er bij veel H₂S in het biogas een zwavelfilter geplaatst te worden.
- Ingaande hoeveelheid biogas varieert veel, van niks tot een paar kuub per uur. Doordat er verder geen mechanische ventilatie plaatsvindt is het daardoor niet altijd mogelijk om goed vast te stellen hoeveel methaan er aan het bodemfilter wordt toegevoegd.
- Meetprincipe met de boxmethode is te variabel door grote variatie over het gehele veld en zal gevalideerd moeten worden.
- Het dimensioneren van een bodemfilter is op dit moment nog niet goed vastgesteld. Huidige veld was gedimensioneerd op 200 m² per 1000 m³ mestopslag. Echter dit is mogelijk te klein, ook i.v.m. de sulfaat uitspoeling, mogelijk is een verdubbeling gewenst.

3.3 Fakkels

Bij de pilot met de fakkels werd het gas afgevangen via één centrale ventilatiepijp uit de mestzak. De overige ventilatiepijpjes waren afgesloten met een klem. Via een flexibele slang werd het gas afgevoerd naar een vaste metalen leiding die zich naast de mestzak bevond. Deze leiding ligt onder afschot en aan het eind van de pijp is een voorziening gemaakt waar condens kon worden afgelaten. Via een tweede metalen leiding werd het gas vervolgens via een compressor en een regelklep in de fakkels geleid. De hoeveelheid gefakkeld gas en het methaangehalte in dit gas werd continu gemeten en geregistreerd.

Uitvoering – bufferzak tussen mestopslag en fakkels

In eerste instantie was het systeem uitgerust met een extra bufferzak tussen de mestopslag en de fakkels. Door drukopbouw in de mestopslag werd biogas passief afgevoerd naar deze bufferzak, die zich geleidelijk aan vulde. Zodra de bufferzak een bepaalde hoogte had bereikt (automatisch waargenomen door onderbreken van een infraroodstraal), werd automatisch de fakkels ingeschakeld waardoor de bufferzak werd leeggezogen (**Figuur 20** en **Figuur 21**).



Figuur 20 Systeem met bufferzak (midden). Gas wordt passief vanuit de mestzak afgevoerd naar de bufferzak. Wanneer deze bufferzak voldoende hoogte heeft bereikt (middelste infraroodoog), dan springt de compressor aan en wordt het gas gefakkeld.

Binnen dit project is er voor gekozen om deze bufferzak weg te halen. De reden ervoor was dat voor het passief vullen van de bufferzak een overdruk in de mestzak zelf noodzakelijk was. Gevolg daarvan was, dat de mestopslag steeds volledig bol stond en dat werd door de eigenaar van de mestzak als onveilig ervaren.



Figuur 21 De fakkelt met op de achtergrond de bufferzak. Het vierkante frame bevat de oogjes, waarmee via infraroodstraling de hoogte van de bufferzak wordt gemonitord.

Uitvoering -algemeen

Nadat de bufferzak was verwijderd werd het biogas dat in de mestopslag werd gevormd opgevangen in de headspace (bovenste deel) van de mestzak zelf. Wanneer de mestzak niet volledig was gevuld, bevond zich in deze mestzak voldoende ruimte voor het biogas. Zelfs wanneer de mestzak vrijwel vol zat, bleek er nog voldoende rek in de zak te zitten om een hoeveelheid gas op te slaan. Wanneer

voldoende gas is opgehoopt in de mestzak, werd de fakkel handmatig ingeschakeld om het gas af te branden. Hierbij werd de klep open gezet en ging de compressor aan, waarna de fakkel werd ontstoken. Vervolgens werd gedurende 2 tot 4 uur (afhankelijk van de instellingen) gas uit de headspace van de mestzak gepompt en afgefakkeld.

Uitvoering - automatisering

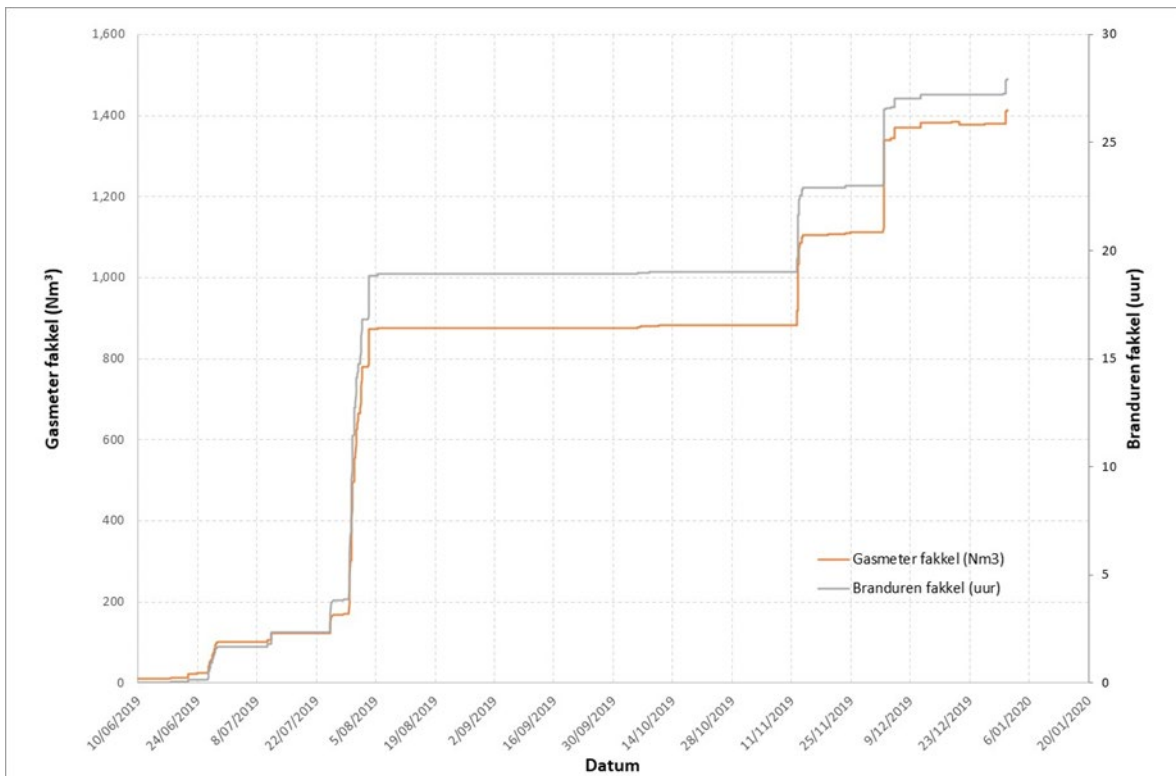
Om met de aangepaste opstelling ook automatisch te kunnen fakkelen zijn er nog extra aanpassingen aangebracht. Hierbij zijn de drie infraroodoogjes aan weerskanten van de mestzak gepositioneerd. Vervolgens werd de hoogte van de mestzak gemonitord. Het idee was dat wanneer de mestzak een bepaalde hoogte bereikte door toename in hoeveelheid biogas, de fakkelinstallatie automatisch inschakelde.

Er zijn enkele pogingen gedaan om het systeem automatisch te bedienen. Deze pogingen vonden plaats bij zowel vrijwel volledige vulling van de mestzak met mest (> 75% van capaciteit), als bij onvolledige vulling (< 50%). Bij vrijwel volledige vulling dijde de mestzak naar de zijkant uit. Gevolg is, dat de zak wordt strakgetrokken en er meer drukopbouw nodig is in de headspace, om de hoogte van de infraroodoogjes te bereiken. Dit werd door de eigenaar van de mestzak als onveilig ervaren. Bij deze omstandigheden had hij dus sterke voorkeur voor het handmatig inschakelen van de fakkel. Bij onvolledige vulling is weliswaar minder drukopbouw nodig om de hoogte te bereiken. Echter bij deze lage druk had de wind veel vat op de headspace. Het punt waar de flexibele slang aansloot op de mestzak waaide hierdoor op en neer, wat zorgde voor een onregelmatige procesvoering die niet makkelijk kon worden geautomatiseerd.

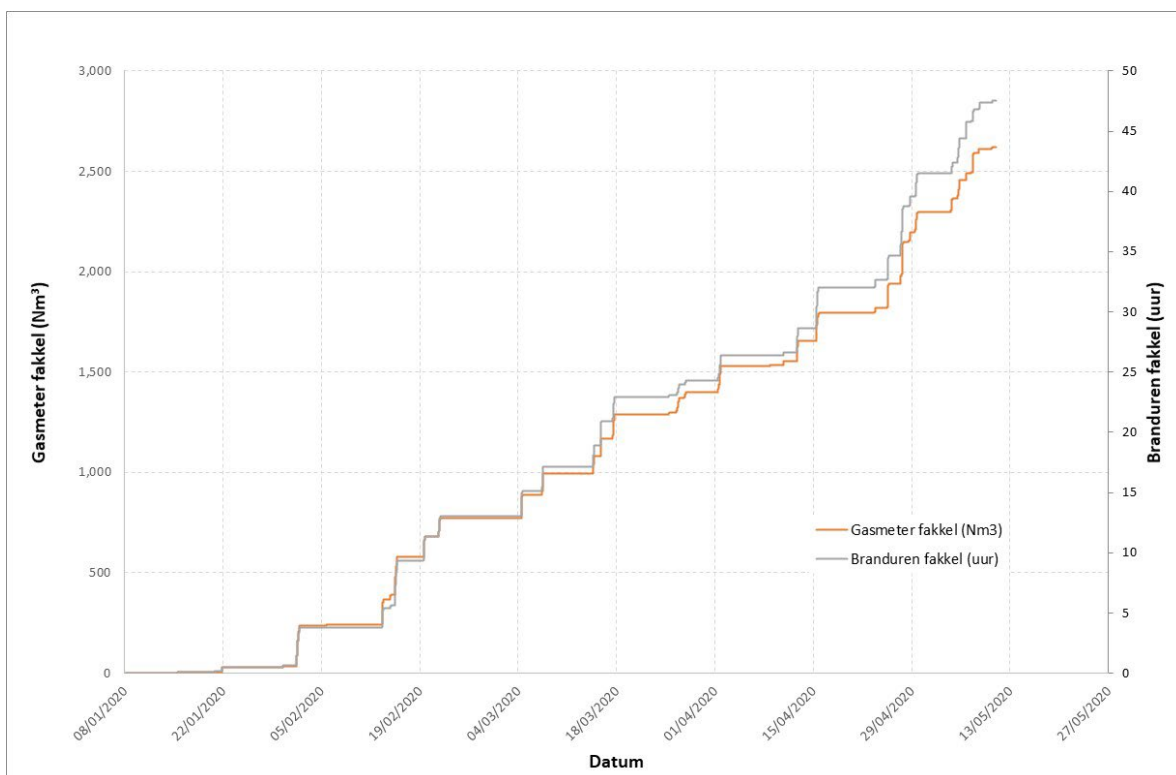
3.3.1 Voorlopige metingen

Figuren 22 tot en met 24 geven de afgefakkelde hoeveelheid gas weer in 2019, 2020 en 2021. De fakkel is definitief opgestart in juni 2019. In september wordt de mestzak geleegd als onderdeel van de reguliere bedrijfsvoering. Vervolgens wordt de zak langzamerhand weer gevuld.

In het voorjaar van 2020 ging het fakkelen door. Door het aanzuigen van mest en schuim in mei 2020, raakte de fakkel defect (defecte regelklep, schade aan de blower, ernstige vervuiling van de fakkel). Het aanzuigen van het schuim was het gevolg van het ontwerp van de fakkel dat na de vele aanpassingen geen beveiliging meer had voor het aanzuigen van mest en schuim uit de mestzak. Na reparaties was de fakkel in juni 2021 weer operationeel.

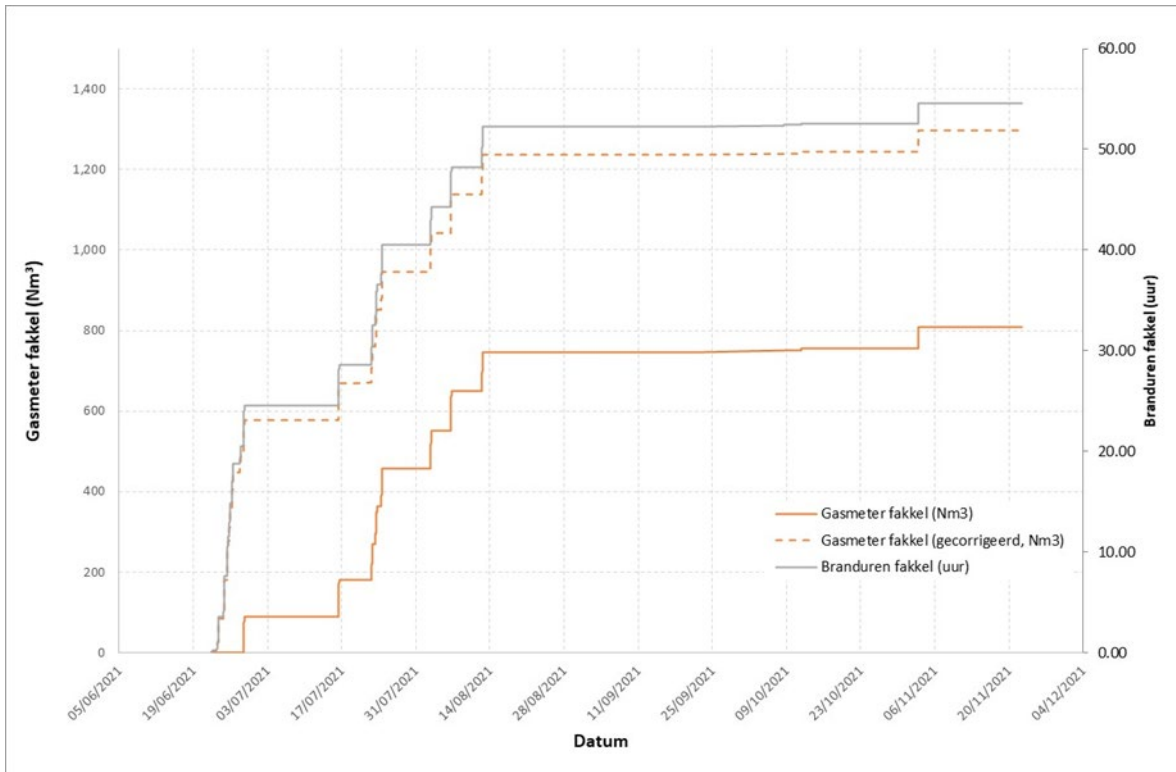


Figuur 22 Afgefakelde hoeveelheden gas in 2019.



Figuur 23 23A Afgefakelde hoeveelheden gas in 2020.

Voor 28 juni 2021 werkte de data-acquisitie niet goed. Wel is het aantal draaiuren geregistreerd, maar niet de bijbehorende hoeveelheid afgefakkeld biogas. Op basis van de 20,5 draaiuren in de periode tot 28 juni kan de extra gaswinning worden geschat op 490 m³ gas. De gecorrigeerde hoeveelheid gefakkeld gas in 2021 komt goed overeen met de hoeveelheid gefakkeld gas in dezelfde periode in 2019 (Tabel 4).



Figuur 24 Afgefakkelde hoeveelheden gas in 2021. N.B. in de periode voor 28 juni zijn wel draaiuren geregistreerd, maar geen hoeveelheden gefakkeld gas. De gashoeveelheid is gecorrigeerd op basis van geregistreerde draaiuren en weergegeven met de stippellijn.

Het aantal branduren in 2021 is ongeveer gelijk aan aantal branduren in 2020. De verwijderde hoeveelheid gas is echter fors lager. Dat komt doordat de kogelkraan, die de hoeveelheid gas richting fakkel regelt, wat verder is dichtgedraaid om de fakkel wat stabielier te laten draaien.

De totale afgefakkelde hoeveelheid methaan kan worden berekend uit de gefakkelde hoeveelheid biogas en de methaanconcentratie in het gas. De hoeveelheid is daarbij gecorrigeerd voor temperatuur, onder aanname van een gemiddelde temperatuur van 11,2 °C. De aldus berekende hoeveelheid gefakkeld methaan wordt gegeven in tabel 4.

Tabel 4 Gefakkelde hoeveelheden, uitgaande van volledige efficiëntie.

	biogas (m ³)	methaan (kg)	Meetperiode
2019	1412	585	van juni tot dec
2020	2622	870	van jan tot mei
2021	1297 (808) ¹⁾	493 (321) ¹⁾	van juni tot nov.

3.3.2 Aandachtspunten

- Opslag van het biogas voor verbranding kan op 2 manieren, in een aparte opslag of in de mestzak zelf. Automatisering blijkt echter niet goed mogelijk bij opslag in de mestzak zelf.
- Tijdens opslag van biogas in de mestzak is de verhouding vulling met headspace een aandachtspunt voor ontwerp. Bij teveel headspace kan de wind het oppervlak veel doen deinen waardoor het aftappunt mogelijk in contact komt met het mestoppervlak.
- Een fakkel die direct is aangesloten op de mestzak kan mest/schuim meezuigen. Dit is tijdens het bedrijven van de pilot meermalig gebeurd. Door het gebruik van een overstort punt met waterslot voor schuim en mest als beveiliging kan dit worden voorkomen.
- Als er veel H₂S aanwezig is in het biogas ontstaat er soms een geur tijdens verbranden. Door deelnemer en omwonenden wordt dit omschreven als een "vuurwerk lucht". Dit is waarschijnlijk SO₂ dat uit de fakkel komt als gevolg van verbranding van H₂S en wordt geroken als er wordt gefakkeld bij windstille omstandigheden. Plaatsing van een zwavelfilter zou dit moeten voorkomen.
- Automatisering van het systeem dient nog verder ontworpen te worden.

4 Kosteneffectiviteit technieken

Om een inzicht te krijgen in effectiviteit voor een gemiddeld bedrijf (potentie van omzetting methaan) en de kosten van de verschillende technieken is er een methaanproductie model voor mest opgezet. In dit model zijn de vulhoeveelheid en frequentie van de mest die naar een externe mestopslag gaat geïntegreerd. In bijlage 2 staat een uitgebreide uitleg over het model samen met een vergelijking met de gemeten methaanproductie op één van de testlocaties. Aan de hand van dit model kan ingeschat worden hoeveel methaanemissie er uit een mestopslag verwacht kan worden. Op basis van dit model is een eerste inschatting gedaan van de kosten voor elke techniek.

Bij dit model kan er gevarieerd worden met de volgende parameters: het aantal dieren, het aantal uren beweiden, melkafgifte per koe per jaar en het mestmanagement (vulbeleid). Het vulbeleid kan worden ingedeeld in 5 mogelijke scenario's: het 1e scenario waarbij eerst de opslag onder de stal wordt gevuld. Als deze vol is, dan wordt de buitenopslag gevuld. Bij uitrijden van mest of afvoeren van mest wordt eerst mest vanuit de buitenopslag gebruikt. Bij het 2e scenario wordt eerst de kelder gevuld en ook bij uitrijden eerst de kelder geleegd. Bij het 3e scenario wordt eerst de buitenopslag zoveel mogelijk gevuld en ook de buitenopslag geleegd. Het 4e scenario is het eerst vullen van de buitenopslag en eerst legen van de kelder. Het 5e en laatste scenario is dagontmesting en is er geen kelder meer in gebruik en wordt alle mest opgeslagen in een externe mestopslag.

Voor een eerste inschatting van de kosten van de technieken is gebruik gemaakt van de getallen in tabel 5. Deze zijn ingeschat met hulp van de leveranciers (biofilter en fakkels) en kennis van de betrokkenen in dit onderzoek. De huidige installaties zijn nog grotendeels proefversies, in een aantal gevallen voorzien van meet- en controleapparatuur die in de praktijk niet of gedeeltelijk nodig zal zijn. De actoranalyse (hoofdstuk 5), die momenteel nog niet compleet is, en bevindingen van nog onder veehouders te houden workshops kunnen aanleiding zijn tot aanpassing van getallen. Voortschrijdend inzicht bij de leveranciers en de onderzoekers kan ook veranderingen in waarden brengen. De berekening van de kosteneffectiviteit is echt een eerste inschatting, mede omdat ook de technische waarden (bv. methaanproductie per week of bij het biofilter de inlaatconcentratie) nog kunnen wijzigen.

Tabel 5 Toont de geschatte investeringen en jaarkosten voor de drie methaanoxidatie technieken.

Techniek	biofilter	bodemfilter	fakkels
Investering in euro: vast deel	6500	200	10.000
Investering in euro: variabel deel voor biofilter per m ³ , voor bodemfilter per m ²	178-328	20	0
Percentage afschrijving	5	8	5,6
Percentage rente	3	3	3
Aantal uren arbeid per jaar	13	13	13
Uurloon	28	28	28
Kosten per jaar voor vervanging biofilter materiaal	97-451	0	0

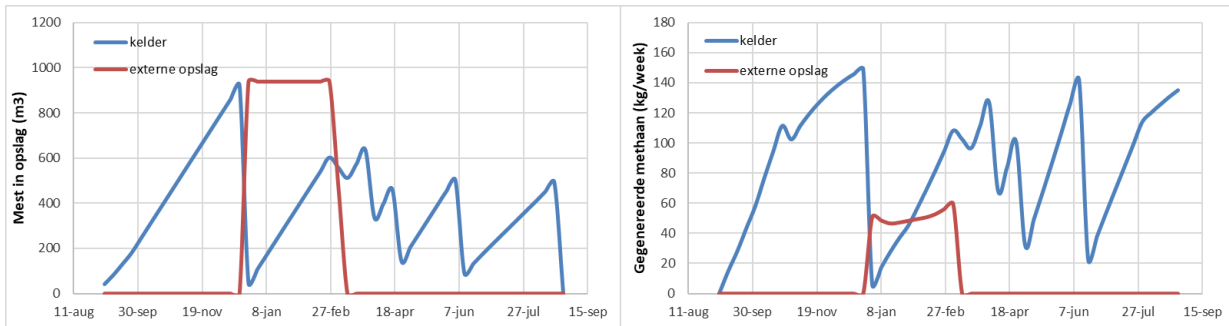
Door het combineren van het model voor methaanvorming samen met de ingeschatte kosten kan er berekend worden wat de potentie en de kosten van de technieken zijn voor verschillende bedrijfsgroottes. In dit hoofdstuk wordt de variant 100 koeien, 720 uur/jaar weiden van de melkkoeien en 9000 kg melk/koe/jaar afgifte beschreven. Deze variant komt dicht bij de huidige gemiddelde situatie in de Nederlandse melkveehouderij. Andere scenario's zijn beschreven in de bijlage 3.

4.1.1.1 Doorrekening van een bedrijf met 100 melkkoeien, 720 uur weiden, 9000 kg melk per koe per jaar

Uit de berekeningen blijkt dat er altijd mest in de kelder onder de stal aanwezig zal zijn. Afhankelijk van het scenario 1 tot en met 4 wordt de kelder geheel gevuld of tot 20% van de inhoud van de kelder voordat een deel wordt opgeslagen in de buitenopslag.

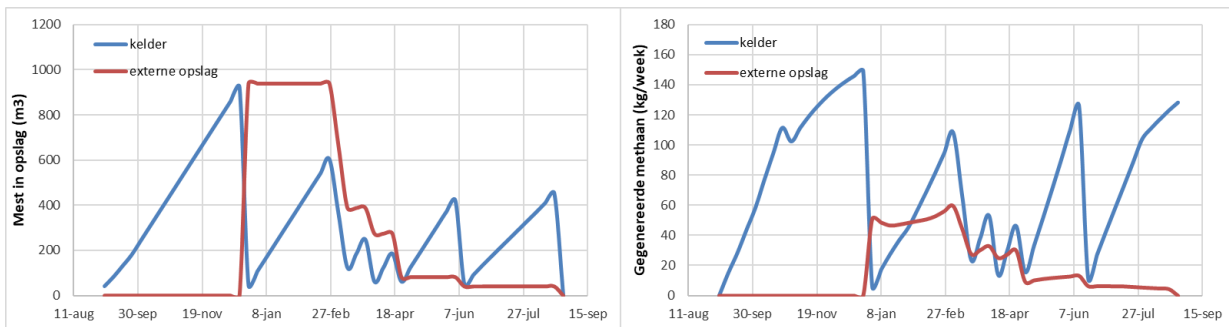
In deze variant wordt bij het 1^e scenario eerst de opslag onder de stal gevuld. Als deze vol is, dan wordt de buitenopslag gevuld. Bij uitrijden van mest of afvoeren van mest wordt eerst mest vanuit de buitenopslag gebruikt. Deze variant leidt bij het 1^e scenario tot mestvolumes in de opslagen zoals weergegeven in de linkerhelft van figuur 25 en methaanproducties per week zoals weergegeven in de rechterhelft van dezelfde figuur. Het oppervlak onder de lijnen in de rechterhelft van de figuur geeft de in de respectievelijke opslagen gevormde hoeveelheid methaan aan.

De totale methaanvorming in de buitenmestopslag is 510 kg (oppervlak onder de rode curve rechts). De piekvorming is 60 kg methaan per week.



Figuur 25 Hoeveelheden mest in de opslagen (links, in m³) en methaanvorming (rechts in kg/week) bij eerst vullen van de kelder en eerst legen van de buitenopslag: blauw is kelder en rood is externe opslag.

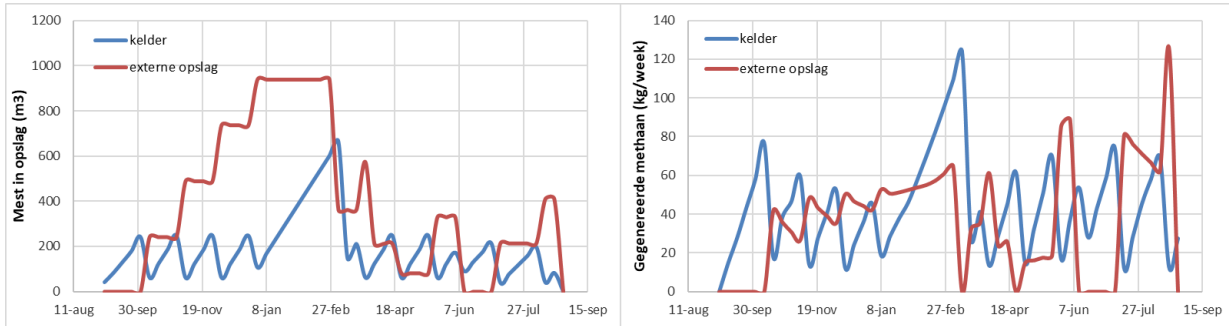
Bij het 2^e scenario, eerst vullen van de kelder en ook eerst legen van de kelder, is de totale methaanvorming in de buitenmestopslag 865 kg. De piekvorming is eveneens 60 kg methaan per week zoals ook te zien is in figuur 26. Er blijft langer wat mest in de buitenopslag dan in het voorgaande 1^e scenario waardoor meer methaan wordt gevormd in de buitenopslag.



Figuur 26 Hoeveelheden mest in de opslagen (links, in m³) en methaanvorming (rechts in kg/week) bij eerst vullen van de kelder en eerst legen van de kelder: blauw is kelder en rood is externe opslag.

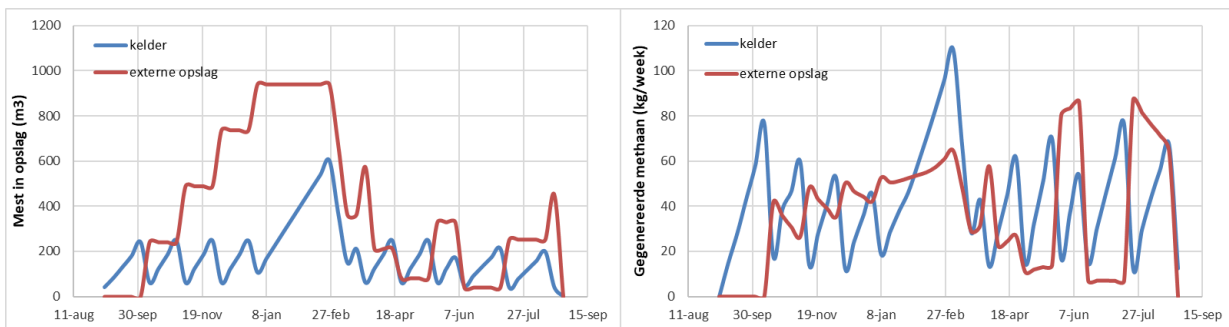
Bij het 3^e scenario, eerst vullen van de buitenopslag en ook eerst legen van de buitenopslag, is de totale methaanvorming in de buitenmestopslag 1886 kg. Aangenomen is dat er mest van de kelder naar de buitenopslag gaat zodra de kelder voor 20% gevuld is. De piekvorming is 126 kg methaan per week zoals ook te zien is in figuur 27. In dit scenario is er nog een zekere hoeveelheid mest in de buitenopslag in de zomer wat leidt tot de veel hogere piekbelasting dan in de beide voorgaande

scenario's en ook tot meer methaanvorming in de buitenopslag. Daarnaast is de verblijfsperiode van mest in de buitenopslag langer door het beperken van de hoeveelheid mest in de kelder.



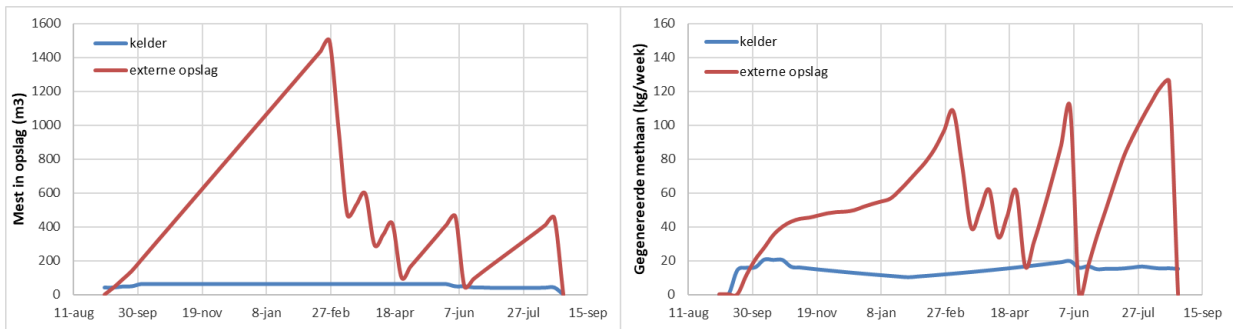
Figuur 27 Hoeveelheden mest in de opslagen (links, in m^3) en methaanvorming (rechts in kg/week) bij eerst vullen van de buitenopslag en eerst legen van de kelder: blauw is kelder en rood is externe opslag.

Bij het 4^e scenario, eerst vullen van de buitenopslag en ook eerst legen van de kelder, is de totale methaanvorming in de buitenmestopslag 1941 kg. Aangenomen is dat er mest van de kelder naar de buitenopslag gaat zodra de kelder voor 20% gevuld is. De piekvorming is 87 kg methaan per week zoals ook te zien is in figuur 28. Net zoals in het voorgaande 3^e scenario is er in dit scenario nog een zekere hoeveelheid mest in de buitenopslag in de zomer maar doordat het overpompen van mest vanuit de kelder naar de externe opslag in de zomer een week later gebeurt, is de piekvorming aanzienlijk lager. Dit is toeval: bij bv. niet weiden of juist langer weiden kan het al anders uitpakken.



Figuur 28 Hoeveelheden mest in de opslagen (links, in m^3) en methaanvorming (rechts in kg/week) bij eerst vullen van de buitenopslag en eerst legen van de buitenopslag: blauw is kelder en rood is externe opslag.

Bij het 5^e scenario, dagontmesting, is de totale methaanvorming in de buitenmestopslag 2833 kg, de hoogste waarde bij de 5 scenario's. Dat is goed verklaarbaar omdat in dit scenario nagenoeg alle mest zich steeds in de buitenopslag bevindt. De piekvorming is 126 kg methaan per week zoals ook te zien is in figuur 29.



Figuur 29 Hoeveelheden mest in de opslagen (links, in m³) en methaanvorming (rechts in kg/week) bij dagontmesting: blauw is kelder en rood is externe opslag.

Aan de hand van de piekproducties berekend in de 5 scenario's samen met de kosten van de technieken beschreven in tabel 5 is overzichtstabel 6 opgesteld. De piekproducties van methaan zijn dezelfde als die al bij de figuren 25 tot en met 29 zijn genoemd, alleen zijn ze nu in kg per uur weergegeven (delen van de piekproductie per week door 168 uur per week resulteert in de piekproductie per uur). Tussen de scenario's verschillen de piekproducties van methaan, maar binnen een scenario zijn ze voor de 3 technieken steeds hetzelfde.

De efficiënties voor het biofilter, het bodemfilter en de fakkel zijn gesteld, op respectievelijk 75%, 90-99% en 98%. Het biofilter oxideert daardoor steeds de minste methaan en de fakkel het meest. Omdat het biofilter ook de hoogste investering heeft en de hoogste aanvullende kosten (door het moeten vervangen van de vulling na 5 jaar) zijn de kosten per geoxideerde kg methaan bij het biofilter het hoogst. Het bodemfilter komt bij deze variant op de laagste kosten uit.

Tabel 6 vat uitkomsten voor variant 1 samen voor de 5 scenario's en de 3 technieken.

Tabel 6 Piekproductie methaan, kg geoxideerde methaan en kosten per kg geoxideerde methaan bij 5 scenario's van vullen en legen van de externe mestopslag voor een voorbeeldbedrijf met 100 melkkoeien, 720 uur weiden per jaar door melkkoeien en een melkgift per koe per jaar van 9000 kg.

Scenario	kengetal	Techniek		
		biofilter	bodemfilter	fakkel
Nee/ja	Piekproductie methaan in kg per uur	0,35	0,35	0,35
	Kg geoxideerde methaan per jaar	382	470	499
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	3,13	1,02	2,14
Nee/nee	Piekproductie methaan in kg per uur	0,35	0,35	0,35
	Kg geoxideerde methaan per jaar	648	814	847
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	1,85	0,59	1,26
Ja/ja	Piekproductie methaan in kg per uur	0,75	0,75	0,75
	Kg geoxideerde methaan per jaar	1415	1818	1848
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,96	0,32	0,58
Ja/nee	Piekproductie methaan in kg per uur	0,52	0,52	0,52
	Kg geoxideerde methaan per jaar	1456	1836	1902
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,87	0,29	0,56
Dagontmesting	Piekproductie methaan in kg per uur	0,75	0,75	0,75
	Kg geoxideerde methaan per jaar	2125	2699	2777
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,64	0,22	0,39

Uit deze berekeningen kunnen een aantal belangrijke conclusies getrokken worden.

- Zoveel mogelijk eerst vullen van de externe opslag en eerst legen van de kelder onder de stal is gunstig voor de hoeveelheid te oxideren methaan. Dit volgt logischerwijs uit het feit dat de 3 in dit onderzoek betrokken technieken alleen worden toegepast bij externe mestopslagen: voor oxidatie van methaan uit de kelder onder de stal zijn deze technieken (nog) niet geschikt. Ten opzichte van het eerst volledig vullen van de mestkelder voordat de externe mestopslag wordt gebruikt kan er bij dagontmesting 5 tot 6 keer meer methaan worden geoxideerd.
- De meeste potentie voor de technieken (en kosteneffectiviteit) zal gehaald worden bij toepassing van dagontmesting. Dit betekent echter een andere opzet van de stal: er gaat dan geen mest in een kelder onder de stal en de externe opslag moet groter zijn.
- Er blijken schaalvoordelen (grotere bedrijfsomvang) voor met name de fakkel maar ook wel voor het biofilter. Voor het bodemfilter zijn de schaalvoordelen beperkt (zie ook bijlage 3).
- Het biofilter heeft van de 3 technieken in de onderzochte combinaties van varianten en scenario's steeds de hoogste kosten per kg geoxideerde methaan heeft (zie ook bijlage 3).
- Het bodemfilter is in veel situaties goedkoper dan de fakkel, maar bij grote bedrijven met weinig of geen weidegang en hoge melkproducties per koe is de fakkel nog wel eens goedkoper, met name als de externe opslag eerst wordt gevuld en het laatst geleegd (zie ook bijlage 3).

5 Implementatie

Binnen het project is er een actoranalyse uitgevoerd omtrent mogelijke knelpunten binnen het project en rondom implementatie van de technieken in de praktijk.

5.1.1 Inleiding

Om zicht te krijgen op de randvoorwaarden en mogelijkheden voor borging en handhaving is een actoranalyse uitgevoerd. Er zijn interviews gehouden met dertien relevante partijen, die te zijner tijd daadwerkelijk te maken zullen krijgen met borging en/of handhaving van de nieuwe technieken. Deze actoren zijn bevraagd over de te stellen eisen en mogelijke knelpunten bij de borging en handhaving van de technieken, waarbij de focus lag op technische en organisatorische aspecten. Tevens is geprobeerd in de interviews een eerste indruk te krijgen van factoren die de adoptie van deze nieuwe systemen zouden kunnen stimuleren of juist remmen.

Welke actoren zijn relevant?

Actoren die betrokken kunnen worden bij de borging en handhaving van de technieken kunnen uit de volgende richtingen komen:

- Overheidsinstanties, die betrokken zijn bij vergunningverlening; toezichthouders
- Marktpartijen, die private keurmerken gebruiken;
- Subsidieverleners.

Voor de interviews levert dit de volgende lijst van relevante organisaties en bedrijven op:

- Overheidsinstanties (vergunningverlening); toezichthouders
 - o Omgevingsdiensten, waarvan twee die al betrokken zijn bij methaanemissies, en twee die daar (nog) niet bij betrokken zijn
 - o Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA)
 - o Eventueel certificerende instanties
- Marktpartijen
 - o Stichting Milieukeur (SMK), o.a. keurmerk 'On the way to PlanetProof'
 - o Zuivelbedrijven
 - o Subsidieverleners/uitvoeringsinstanties Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)
 - o Provincies

Interviewvragen

In de interviews zijn de hieronder genoemde vier vragen gesteld.

1. Wat voor soort eisen zou je aan dit soort nieuwe systemen moeten stellen?
2. Hoe stel je vast of het systeem deugdelijk geïnstalleerd is, zodat de beloofde emissiebeperking gerealiseerd kan/zal worden?
3. Zou je kunnen werken met eigen verklaringen of administratie van de melkveehouder, of verdienen objectieve meetgegevens de voorkeur?
4. Wat zullen voor melkveehouders belangrijke incentives zijn om daadwerkelijk met zo'n nieuw systeem aan de slag te gaan?

Zie de **bijlage 4** voor een uitgebreidere omschrijving.

De geïnterviewden hebben vooraf een korte beschrijving van de drie emissiebeperkende systemen ontvangen, plus een korte weergave van de interviewvragen.

5.1.2 Te stellen eisen

Uit de interviews zijn uiteenlopende aspecten naar voren gekomen, die belangrijk worden gevonden als het gaat om de eisen, die aan de nieuwe systemen moeten worden gesteld. Het hangt hierbij af van het soort van beloning dat mogelijk wordt gegeven. Hierin kan onderscheid gemaakt worden tussen een inspanningsverplichting en een prestatieverplichting. In het geval van een inspanningsverplichting zou gecontroleerd moeten worden of het systeem juist is aangelegd en of het functioneert. In het geval van een prestatieverplichting is het nodig dat de prestaties van het systeem ook gemonitord worden. Hierbij kan gedacht worden aan de volgende aspecten:

- De hoeveelheid materiaal die mogelijk in methaan kan worden omgezet in de ingaande en uitgaande mest;
- Hoeveelheid gas wat is afgevoerd vanuit de mestopslag;
- Hoeveelheid gas wat is afgefakkeld;
- Metingen met betrekking tot het goed functioneren van het systeem, bv. lekcontroles.

In bijvoorbeeld de KringLoopWijzer (KLW) bestaat borging op drie niveaus: a) administratief; o.a. aantonen dat er geïnvesteerd is, dat er 'hulpstoffen' aangekocht zijn; b) fysieke controle op locatie; c) continue monitoring, zoals tegenwoordig ook bij luchtwassers wordt gedaan.

Goede systeembeschrijving

In de eerste plaats heb je een goede en betrouwbare beschrijving van het systeem nodig en een opleveringsverklaring nodig. Hieruit moet blijken dat het systeem aantoonbaar goed werkt, gebaseerd op een wetenschappelijke onderbouwing, en dat er dus een bepaalde emissiereductie mee behaald kan worden. Het verdient aanbeveling om tevens zorgvuldig te beschrijven onder welke omstandigheden (zowel stal als management) de emissiereductie behaald is. Vanwege mogelijke beloningen en ook mogelijke rechtszaken met betrekking tot hinder of milieuvergunningen is het zaak dat de systeembeschrijving en onderbouwing van de werking staat als een huis. Een gedegen beschrijving van de effectiviteit in verschillende omstandigheden (jaargetijde, soort grond (bodemfilter), soort dragermateriaal (biofilter), vervangingsfrequentie van ontzwavelingsmateriaal etc. dient onderbouwd te zijn, zodat het in rechtszaken stand houdt.

De beschrijving van het systeem is de basis voor de beoordeling.

De belangrijkste kritische controlepunten moeten hierin worden aangegeven, en de randvoorwaarden die gelden voor een optimale werking van het systeem. Denk hierbij bijvoorbeeld aan afmetingen in relatie tot de mestopslag. Daarbij zou als uitgangspunt kunnen worden gekeken naar de monitoring die in het onderzoek wordt gebruikt. Bij luchtwassers is bijvoorbeeld gebleken dat het elektriciteitsgebruik een essentieel controlepunt is, omdat het laat zien dat het systeem in ieder geval gedraaid heeft. De formele 'leaflets', die worden gebruikt in de Regeling Ammoniak en Veehouderij, zijn de laatste jaren al beter geworden, maar er blijft zeker ruimte voor verdere verbetering. Bovendien heeft zo'n leaflet een wat beperktere doelstelling dan een complete systeembeschrijving. Voor de prestatiebeloning is daarnaast nodig dat in het systeem meetpunten zijn verwerkt die bijhouden wat de prestaties van de installatie zijn. In de interviews kwam naar voren dat verwacht wordt dat de ontwerpers de belangrijke controlepunten aangeven. Verderop hebben we daartoe een eerste poging gedaan. Het is de bedoeling om dit te toetsen met experts in het vervolgproject.

Andere door de geïnterviewden genoemde aandachtspunten:

- Zorg voor een overtuigende, robuuste techniek, waarbij ook is gedacht aan het minimaliseren van veiligheidsrisico's.
- Het werkingsmechanisme moet duidelijk zijn, niet te veel variëren in effectiviteit, en goed controleerbaar zijn.
- De overheid zal het systeem moeten erkennen. In elk geval wil men de reductie van de emissies terugzien in de monitoringssystemen, zoals de nationale monitoring (NEMA¹). De NEMA stelt vaak een flinke adoptie van systemen als een voorwaarde, mogelijk zouden ze innovaties eerder in hun modellen kunnen inbouwen.
- Liever doelvoorschriften dan middelvoorschriften. Dit zou benaderd kunnen worden door de kans te geven om één van de drie technieken van methaanoxidatie te kiezen om een beperking

van de emissie vanuit de mestopslag te realiseren. Wel moet er dan een goede systeembeschrijving zijn waaraan de installatie moet voldoen.

- Eén geïnterviewde vindt het jammer dat de drie systemen 'eenzijdig gericht zijn op methaanreductie'.
- Eén geïnterviewde geeft aan dat we moeten 'oppassen dat de melkveehouderij zich niet ontwikkelt richting intensieve veehouderij'.
- Het is handig als er een beloningsstelsel gekoppeld wordt aan deze technieken. Dit kan ook in de vorm van bijvoorbeeld een vergunning om meer dieren te houden als je een percentage methaan wegvangt.
- Check waar de installaties geplaatst mogen worden. Is het buiten het bouwterrein plaatsen van een bodemfilter toegestaan? Zo niet, moet het bestemmingsplan daarvoor worden aangepast?

5.1.3 Installatie en controles

De geïnterviewden wijzen op diverse zaken, die van belang zijn voor een deugdelijke installatie van het emissiebeperkende systeem en voor de verdere controles.

Erkend installatiebedrijf

Het is niet uitgesloten dat een bepaald systeem door een handige melkveehouder zelf zou kunnen worden geïnstalleerd. Echter, als je de eis stelt dat de installatie door een erkende aannemer is aangelegd, geeft dat een extra waarborg. Te denken valt aan een gecertificeerde aannemer en/of KIWA-keur voor het type aangeschakelde techniek. De controle of het systeem deugdelijk is aangelegd, is cruciaal. Alle andere controles zijn achteraf, en vaak een stuk lastiger. Mogelijk kan de aannemer die de installatie heeft aangelegd, ook met regelmaat een controle op de juiste werking van het systeem uitvoeren. Aanwezigheid bij de aanleg van een systeem door een controlerende instantie is ook een optie. Op basis van de te verwachten periodes waarin onderdelen moeten worden vervangen, kan je de controles op locatie plannen. Bijvoorbeeld op basis van de nodige vervanging van de ontwavelingsinstallatie. Afvoer van het materiaal uit het ontwavelingsvat moet ook specifiek plaatsvinden bij een verwerker. Hiervan zou het bonnetje voor betaling gecontroleerd kunnen worden naast een logboek.

Robuust aanleggen

Als bijvoorbeeld het gasdicht zijn van mestzakken een randvoorwaarde is voor de juiste werking van een emissiebeperkend systeem, dan zou je daarop kunnen anticiperen door mestzakken altijd gasdicht te gaan opleveren. Stel dat schade aan de buizen in een bodemfilter een kritieke factor is, dan kun je jaarlijks gaan controleren op de 'staat' van die buizen, maar je zou ook vooraf bepaalde eisen kunnen stellen aan het robuust ('hufferproof') aanleggen van die buizen. Het robuust aanleggen kan weleens een stuk goedkoper zijn, dan een frequente fysieke controle. Het is ook denkbaar om uit te gaan van een enigszins voorzichtig ingeschatte emissiereductie, waarbij de controle beperkt kan zijn, en de veehouder de mogelijkheid te geven om met een grotere reductie te rekenen, als dat wordt aangetoond.

SMART informatie vanuit het onderzoek

Zoals hiervoor al aangegeven is het volgens de geïnterviewden belangrijk dat vanuit het onderzoek duidelijk wordt gewezen op de kritieke punten in het emissiebeperkende systeem. Streef daarbij naar een korte, specifieke en concrete lijst van de écht belangrijke punten, dat is veel beter dan een lange lijst. Meestal is het ook best mogelijk om het te beperken tot een klein aantal punten. Enkele geïnterviewden geven aan dat het tot nu toe weinig gebeurt, dat er al vanuit onderzoek en ontwikkeling zulke 'SMART' informatie ten behoeve van de borging en handhaving wordt aangedragen. Zie verderop, bij 'Kritische controlepunten', voor de uit dit onderzoek naar voren gekomen eerste suggesties van deze punten. Deze kunnen worden gecontroleerd in het vervolgtraject.

Andere in de interviews genoemde aandachtspunten:

- Basisuitgangspunt moet zijn dat boeren te vertrouwen zijn;
- Baseer de borging op een groep bedrijven;
- Meet zo vaak als nodig is, afhankelijk van het systeem;
- Je moet vooraf goed weten hoe het systeem moet worden uitgevoerd om daadwerkelijk de beloofde reductie te realiseren;
- Zeker in de eerste jaren zul je wat kritischer moeten controleren; zodra de kinderziektes eruit zijn is dat minder noodzakelijk;
- Het is verstandig om extra strikt te controleren op veiligheid;
- Eén van de geïnterviewden wijst erop dat ook gedacht moet worden aan de (ICT-technische) aansluiting van meetsystemen op de elektronische monitoring, die provinciaal plaatsvindt;
- Houd rekening met de heropstart van het veldbed of biofilter na de winter of wanneer dragermateriaal is vervangen. Stelt vaste regels op over de efficiëntie in dergelijke tijdsvlakken;
- Het wordt extra nuttig wanneer er dagontmesting wordt gecombineerd met de afvang van methaan. Voor jaarronde afvang en externe opslag zijn nieuwe silo's nodig. Hiervoor is ruimte op het bouwkveld nodig. Dit vergt aanpassingen in bestemmingsplannen;
- Op dit moment hoef je als veehouder nog geen methaanemissie van je bedrijf te berekenen en vast te leggen. De verwachting is dat dit in de toekomst wel gevraagd gaat worden. Dan worden deze technieken ook meer relevant;
- Naast methaan is het goed om ook aandacht te besteden aan de ammoniakuitstoot van de verschillende technieken. Ook al zal de ammoniak uitstoot nooit groter worden dan zonder deze technieken, gegevens hierover zijn wel van belang voor het op de markt brengen van de technieken. Dit is nodig om ook in rechtszaken overeind te blijven. Ook moet er aandacht besteed worden aan de geuroverlast. Deze aspecten moeten ook uitgebreid meegenomen worden in de testfase.

5.1.4 Objectieve meetgegevens

De geïnterviewden hebben aangegeven welke gegevens volgens hen het beste bruikbaar zijn voor de controle van de juiste werking van de emissiebeperkende systemen.

Objectieve metingen

Objectieve meetgegevens verdienen duidelijk de voorkeur. Logboeken worden door de veehouders vaak helemaal niet of slecht bijgehouden. Zulke logboeken zijn ook niet handig, dit kun je echt beter automatiseren. Wellicht kun je aan een systeem de flow van het methaangas meten, of bijvoorbeeld de branduren van een fakkel, en dat kun je dan loggen.

Je zou kunnen werken met een eigen verklaring van de ondernemer "dat alle gegevens naar eer en geweten is aangeleverd", volgens het principe van het 'horizontaal toezicht', dat ook bij belastingaangiften door bedrijven wordt toegepast. Toch kun je de controles niet helemaal beperken tot een eigen verklaring van de boer. Verklaringen door derden zijn bijvoorbeeld ook een optie, bijvoorbeeld, na een periodieke controle, door de aannemer die de installatie heeft aangelegd. Een combinatie van eigen verklaring en verrassingscontroles op locatie is ook een optie.

Risicogericht controleren

Het is zeker een mogelijkheid om risicogericht te gaan controleren. Daarbij zou je dan kunnen kijken naar de reputatie van een ondernemer op andere gebieden, al dan niet gerelateerd aan mest en mineralen. Je zou ook extra kunnen letten op bedrijven die een premie ontvangen in het kader van het terugdringen van broeikasgassen. Tegelijk moet men zich serieus afvragen of het bij deze systemen echt nodig is om risicogericht te gaan controleren. Het advies is om eerst ervaring op te doen met de systemen en de controles voordat je andere aspecten met betrekking tot betrouwbaarheid van de boeren mee gaat nemen.

5.1.5 Incentives voor adoptie

De geïnterviewden hebben verteld wat voor melkveehouders belangrijke incentives zullen zijn om daadwerkelijk met zo'n nieuw systeem aan de slag te gaan.

Verdienmodel voor de boer

Op dit moment is het nuttig inzetten van de afgevangen methaan economisch gezien nog niet rendabel. Diverse actoren benadrukken dat het investeren in een nieuw systeem voor de melkveehouder wel echt interessant moet zijn, anders zal er alleen iets gaan gebeuren bij enkele gemotiveerde koplopers. Een doorsnee boer zal alleen investeren als er ook iets tegenover staat, als er een soort verdienmodel voor hem is. Hierbij kunnen er twee hoofdlijnen worden onderscheiden:

- Ten eerste de markt, waarin diverse duurzaamheidsprogramma's worden gebruikt, zoals de Kringloopwijzer, waarin zelfs al CO₂-equivalenten per kg meetmelk zijn opgenomen. Een melkveehouder zou een bonus kunnen ontvangen, een 'plus' in de markt, als hij de emissie van broeikasgassen met een bepaald percentage reduceert.
- In de tweede plaats is er de overheid, die vergunningen kan verstrekken, waarin je t.z.t. met CO₂-rechten zou kunnen gaan werken. Ook de overheid werkt soms met een beloning, zoals bijvoorbeeld de Provincie Noord-Brabant doet met de biodiversiteitsmonitor. Een beloning in de vorm van het mogen houden van meer stuks vee is ook een optie.
- Ten slotte is er ook nog de mogelijkheid van overheidssubsidies (SBV) of fiscale voordelen (MIA/VAMIL), die de investering voor een boer interessant kunnen maken.

Nog weinig incentives

De geïnterviewden geven heel duidelijk aan dat methaanreductie nog ver van de boer af staat. Er zijn nog heel weinig incentives. Enkelen stellen dat het bedrijfsleven dit zeker niet zelf zal oppakken, als de overheid het niet expliciet faciliteert. Vooral ten behoeve van het draagvlak zal ook de vraag moeten worden beantwoord waarom emissiereductie voor methaan van de melkveehouderij verwacht wordt, terwijl het gaat om biogeen, kort-cyclisch methaan. Verder zou het helpen als er andere toepassingen mogelijk zijn, bijvoorbeeld middels energieopwekking, zodat er -afgezien van de lagere methaanemissie- ergens een meerwaarde ontstaat. Het helpt vanzelfsprekend ook als de systemen niet te duur zijn.

Wetgeving nodig?

Een cruciale vraag is: wat heeft de veehouder eraan om de methaanemissie op zijn bedrijf te gaan beperken? Dat geldt nog sterker zolang er geen wettelijke regels zijn. Er zijn enkele incentives in 'On the Way to PlanetProof', maar die zijn nog niet zo heel sterk. Bovendien zijn momenteel maar ongeveer 800 boeren aangesloten bij 'On the Way to PlanetProof'.

Het zou het beste zijn als nieuwe emissiebeperkende systemen, voor methaan net als voor ammoniak, eerst door de overheid erkend worden, en op een soort RAV-lijst komen. Vervolgens kan een privaat duurzaamheidsprogramma daarop aansluiten. Hetzelfde is gebeurd bij ammoniakemissiebeperkende systemen. Als de overheid het systeem erkent is 'intern salderen' ook mogelijk. Eén van de geïnterviewden geeft aan dat wetgeving soms snel geregeld kan worden, als er voldoende politieke druk is. Handig is om dan meteen in de wetgeving te regelen dat de systemen ook zonder verdere hobbels met betrekking tot bestemmingsplannen, etc. kunnen worden aangelegd. Een voorbeeld is het toestaan van een bodemfilter of fakkeltje buiten het bouwterrein.

5.1.6 Kritische controlepunten

Diverse geïnterviewden hebben aangegeven dat een goede borging en handhaving beginnen met een goede systeembeschrijving, waarin ook de belangrijkste kritische punten moeten worden aangegeven. Deze punten zijn bepalend voor de juiste werking van het systeem, en daarmee ook van cruciaal belang voor een effectieve controle. In dit onderdeel wordt vanuit dit onderzoek een eerste aanzet voor deze controlepunten benoemd. Er is uitgegaan van een bewezen en vastgestelde emissiereductie per systeem, zodat dit niet meer vastgesteld hoeft te worden.

Biofilter (bovengronds)

Hiervoor gelden de volgende controlepunten als 'kritisch' voor een juiste werking:

- veilige methaanconcentraties waarmee gewerkt wordt (buiten explosiegevaar);
- luchtdichte mestopslag;
- juiste menging lucht en methaan voor filter;
- ontzwaveling meteen na de opslag (en regelmatige vervanging van het filtermateriaal);
- goede vochtigheid en dragermateriaal voor de bacteriën, eventueel meting van toegevoegd water via een datalogger op sproeisysteem. Hiermee is ook de combinatie met dagtemperatuur te checken;
- flowmeter uitgaande lucht uit de mestopslag;
- Controle condenswaterafvoer en doorgang buizen;
- registratie pompgegevens voor menging van de biogassen met lucht.

Bodemfilter (ondergronds)

Hiervoor gelden de volgende controlepunten als 'kritisch' voor een juiste werking:

- ontzwaveling meteen na de opslag (en regelmatige vervanging van het filtermateriaal);
- luchtdichte mestopslag;
- niet lekkende aansluitingen naar buizen;
- controle condenswaterafvoer en doorgang buizen;
- niet te lage aanleg i.v.m. grondwaterstand;
- 1 meter grond boven de buizen;
- juiste grondsamenstelling;
- flowmeter uitgaande lucht uit de mestopslag;
- Geen rijpaden of betreding van het veldbed.

Fakkels

Hiervoor gelden de volgende controlepunten als 'kritisch' voor een juiste werking:

- ontzwaveling meteen na de opslag (en regelmatige vervanging van het filtermateriaal);
- luchtdichte mestopslag;
- niet lekkende aansluitingen naar buizen en fakkels;
- registratie hoeveelheid doorgeleide lucht in de fakkels (of branduren).

6 Belangrijkste leerpunten en vervolg project

Dit verslag gaat over een nog lopend project. Er is tijdens de opstart van het project getest op drie soorten mestopslagen, echter na de eerste testen bleken mestzakken de makkelijkste van de drie soorten om methaan af te vangen. Mestbassins lijken voor bestaande opslagen niet geschikt voor methaan afvangen. Er is destijds gekozen om eerst met mestzakken de werking van de methaanoxidatie technieken aan te tonen, voordat er weer gekeken werd naar afvangen van methaan bij mestsilos. Na het afronden van de drie pilots in 2021 werd de focus weer terug gelegd bij het opstarten van onderzoek bij mestsilos.

Tot nu toe was er voor elke van de drie oxidatie technieken pas één pilot opgestart om eerst de werking te kunnen vast stellen en aantonen. Dit rapport is daarover een samenvatting van de tot nu toe uitgevoerde activiteiten en de eerste meetresultaten en leerpunten. Voor de komende jaren werkt het project verder richting meer pilots voor elke oxidatietechniek. Hierbij zal de focus liggen op het verbeteren van de technische uitvoering en het optimaliseren van de efficiëntie van de systemen. Uit de eerste pilots zijn dit de belangrijkste leerpunten:

- Voor alle technieken is er een vorm van ontzweveling nodig om H₂S uit het gas te kunnen verwijderen. Bij het biofilter geeft dit roest, bij de fakkels is er daarnaast ook nog een 'vuurwerklucht' te ruiken als er niet wordt ontzwevelt. Verder kan bij het bodemfilter een te hoge concentratie sulfaat in het grondwater ontstaan.
- Bij de fakkels dient er over het ontwerp goed nagedacht te worden om aanzuiging van schuim en mest te voorkomen.
- De efficiëntie van de omzetting van methaan in CO₂ voor de biofilter en bodemfilter is respectievelijk 60-80% en 50-70%. Bij de fakkels wordt een bijna volledige verbranding verwacht (>95%). Echter het dimensioneren van een bodemfilter is op dit moment nog niet goed vastgesteld. Het huidige veld was gedimensioneerd op 200 m² per 1000 m³ mestopslag. Mogelijk is de efficiëntie hoger bij een grotere dimensionering.

Als laatste zijn de eerste stappen gezet om te bepalen wat er nodig is om deze systemen op de markt te brengen en te kunnen toe passen op veehouderijbedrijven. Voor een brede acceptatie zullen de systemen moeten worden gestandaardiseerd en er zal sprake moeten zijn van een zekere mate van borging. De huidige suggesties zullen verder worden besproken met alle betrokkenen o.a. gebruiker (veehouder), leverancier en het ministerie om verdere integratie van deze systemen zo goed mogelijk te faciliteren. Hierbij wordt gefocust op:

- De mate van borging die gewenst is. Hierbij kan worden onderscheiden tussen een inspanningsverplichting en een prestatieverplichting. Bij een inspanningsverplichting zal alleen moeten worden aangetoond dat het systeem goed is aangelegd en in gebruik is. Bij een prestatieverplichting zal de daadwerkelijke hoeveelheid verwerkte methaan ook moeten worden aangetoond.
- Huidige wetgeving omtrent het kunnen aanleggen van de methaanoxidatie technieken.
- De veiligheidseisen waaraan voldaan dient te worden en integratie van deze voorwaarden in de aanlegprocedure van de technieken.
- Mogelijke verdienmodellen en stimuleringsregelingen voor methaanoxidatie technieken ter bevordering van de integratie van de technieken in de veehouderij sector.

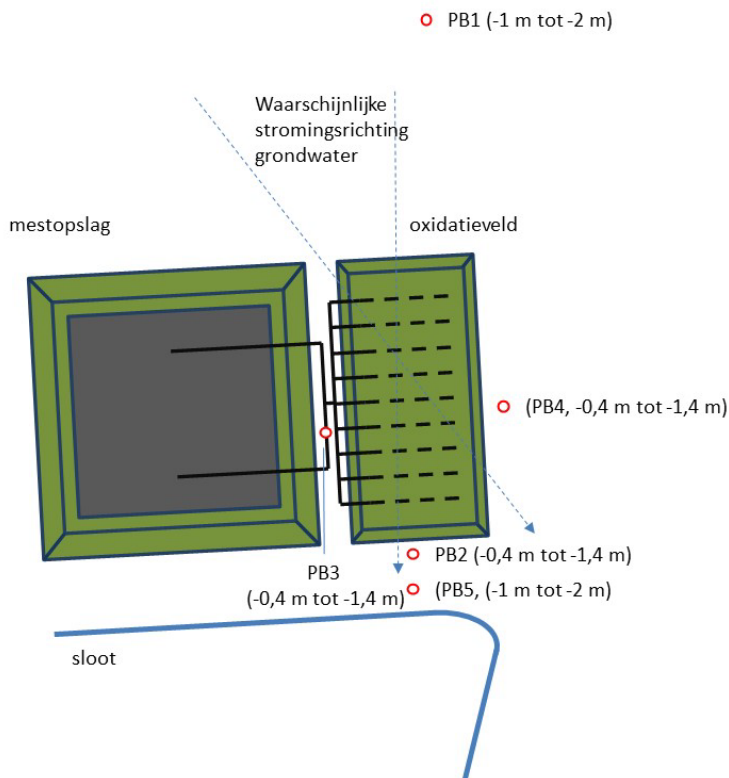
Literatuur

Sommer, S. G., Petersen, S. O., & Møller, H. B. (2004). Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 69, 143–154.

Bijlage 1 Grondwateranalyses

Mestgas bevat naast methaan ook H_2S en NH_3 . Deze componenten worden in de bodem ook omgezet door bacteriën, waardoor de emissies van deze verzurende en vermistende stoffen (en geur) naar de lucht wordt gereduceerd. De omzetting van H_2S leidt tot vorming van sulfaat (SO_4^{2-}); de omzetting van NH_3 kan leiden tot nitraat en nitriet. De stoffen zijn ongewenst en moeten niet boven een bepaalde norm komen omdat ze kunnen uitspoelen naar het grondwater. In overleg met de omgevingsdienst (ODA) is in samenwerking met Deltares besloten het grondwater rondom het bodemfilter te monitoren op S- en N-houdende componenten. Hierbij is afgesproken dat bij concentraties van sulfaat boven de 150 mg/l de proef stil gelegd wordt en overleg volgt met het bevoegd gezag.

Figuur 30 geeft een overzicht van de proefopzet en de locatie van de peilbuizen. Grondwatermonitoring conform NEN-5740 vraagt om wat peilbuizen op -1 m tot -2 m beneden maaiveld. Peilbuizen 1 en 5 zijn op die diepte gerealiseerd. Peilbuis 1 geeft gezien de grondwaterstroming de achtergrond weer en de concentratie in peilbuis 5 is de te toetsen waarde (NEN-5740). Om ook een lichte verontreiniging van de bovenste laag van het grondwater te kunnen waarnemen, zijn PB2-PB4 wat ondieper aangelegd. Deze worden meer beschouwd als waarschuwing (Tabel 7).



Figuur 30 Locatie van de peilbuizen t.o.v. mestopslag en oxidatieveld.

Bij interpretatie van deze resultaten gaat de aandacht vooral uit naar uitspoeling van zwavel (sulfaat en sulfiet) en stikstof-houdende componenten (ammoniak, nitraat, nitriet). De uitspoeling van S bleek voor meer dan 99% in de vorm van sulfaat. De uitspoeling van N gebeurt vooral als nitraat of ammonium.

Tabel 7 Gemeten concentraties aan sulfaat in de grondwatermonsters (in mg/l).

peilbuis	31-Oct-19 nulmeting	18-Dec-19 nulmeting	8-Nov-20 proef	11-Jan-21 proef	22-Sep-21 proef	25-Nov-21 proef
1 - achtergrond	8	72	74	14	20	14
2 - waarschuwing	80	80	250	208	368	487
3 - waarschuwing	107	78	36	55	16	85
4 - waarschuwing	33	150	220	104	209	117
5- toetsing	29	63	155	44	61	201

Tabel 8 Som van gemeten concentraties aan ammonium, nitraat en nitriet in de grondwatermonsters (in mg/l).

	31-Oct-19 nulmeting	18-Dec-19 nulmeting	8-Nov-20 proef	11-Jan-21 proef	22-Sep-21 proef	25-Nov-21 proef
1 - achtergrond	14.82	13.32	7.3	1.0	4.9	5
2 - waarschuwing	0.3	114.41	0.2	0.6	1.1	2.1
3 - waarschuwing	0.9	49.11	43.11	1.9	1.2	1.1
4 - waarschuwing	19.12	41.11	1.2	1.7	4.6	5.6
5- toetsing	0.4	0.6	0.6	0.1	0.7	1.5

¹ vooral als nitraat (alleen weergegeven voor gezamenlijke concentraties boven 10 mg/l)

² vooral als ammonium (alleen weergegeven voor gezamenlijke concentraties boven 10 mg/l)

Op 8 november was in PB5 lag de sulfaatconcentratie boven de 150 mg/l en dus te hoog, ook in PB 2 en 4 werden hoge concentraties aangetroffen. De concentraties aan ammonium/nitraat zijn lager dan de waargenomen sulfaat concentraties en zijn bovendien niet verhoogd ten opzichte van de concentraties, die voorafgaand aan de proef werden gemeten.

Hoewel op 11 januari weer een lagere concentratie in PB5 werd waargenomen is in overleg met ODA toch een actief-kool filter geïnstalleerd (Desotech actief kool, geïmpregneerd met NaOH). De werking van dit filter werd periodiek op doorslag van H₂S gecontroleerd. In juli 2021 bleek dit filter te zijn verzadigd, waarna bij de grondwatermonitoring in september 2021 in PB2 en PB4 de sulfaatconcentratie weer bleek te zijn gestegen. De concentratie in PB5 (voor toetsing conform NEN-5740) bleek echter nog steeds acceptabel. De toevoer van het gas naar het bodemfilter was tijdelijk losgekoppeld tot het filtermateriaal was vervangen op 8 oktober. Desondanks werd er op 25 november weer hoge concentraties gemeten wat betekend dat het nieuwe filter materiaal niet voldoende werkte. De gasaanvoer is toen weer losgekoppeld van de mestzak om in 2022 te worden hervat.

Bijlage 2 Berekening mest in opslag en methaanvorming

De berekening van de methaanvorming in de buitenopslag gebeurt met een massabalans-model voor zowel de hoeveelheid mest (in m³) als de hoeveelheid organische stof in de mest (in kg). Het model beschrijft zowel de mest in de mestkelder als de mest in de buitenopslag en berekent methaanvorming per week in een aantal stappen:

1. Aangenomen wordt, dat de kelder en de buitenopslag op 1 september volledig leeg zijn;
2. Afhankelijk van de hoeveelheid dieren op stal en de hoeveelheid beweiding per jaar wordt voor de volgende week een hoeveelheid verse mest aan de mestkelder toegevoegd. Indien in die week mest wordt afgevoerd (naar de buitenopslag of uitgereden in het veld), dan wordt dit in mindering gebracht;
3. Indien in die week, mest naar de buitenopslag wordt getransporteerd, dan wordt deze aan de buitenopslag toegevoegd. Bij afvoer vanuit de opslag wordt die afvoer in mindering gebracht;
4. Afhankelijk van de gemiddelde temperatuur wordt de omzetting van organische stof berekend in zowel de kelder als de buitenopslag. De variatie van de temperatuur in de kelder is anders dan die van de temperatuur in de buitenopslag. Deze hoeveelheid organische stof die wordt omgezet wordt verwijderd uit de berekeningen in de opslagen;
5. Op basis van de omzetting van organische stof wordt de methaanvorming berekend;
6. De stappen 2-5 worden herhaald voor de daarop volgende weken van het jaar.

Een kritische aanname is de snelheid, waarmee de organische stof in de mest wordt omgezet in biogas. Deense onderzoekers ((Sommer et al., 2004)) stellen een model voor waarbij de afbraak van organische stof gebeurt via een eerste orde afbraakkinetiek en waarbij de reactiesnelheidsconstante temperatuur afhankelijk is.

$$F_t = (VS_d + 0.01VS_{nd}) e^{(\ln A - \frac{E_a}{RT})}$$

Waarin:

F_t	(g CH ₄ day ⁻¹)	methaanvorming
VS_d	(kg)	actuele hoeveelheid biodegradeerbare organisch materiaal in mest
VS_{nd}	(kg)	actuele hoeveelheid niet biodegradeerbaar organisch materiaal in mest
A	(g CH ₄ kg VS ⁻¹ day ⁻¹)	pre-exponentiële reactiesnelheidsconstante
E_a	(J mol ⁻¹)	activeringsenergie voor methanogenese
R	(J K ⁻¹ mol ⁻¹)	gasconstante
T	(K)	temperatuur

Deze methode is hier overgenomen. Echter wanneer de Deense modelparameters worden gebruikt voor simulatie van een Nederlands melkveebedrijf, dan wordt een aanzienlijke onderschatting verkregen van de methaanemissies (vergeleken met de schatting van de emissies per koe uit de kwantificering van Nederlandse emissies door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)). Om beide schattingen met elkaar in overeenstemming te brengen, dient de reactiesnelheid in het Deense model te worden verhoogd met een factor 7.

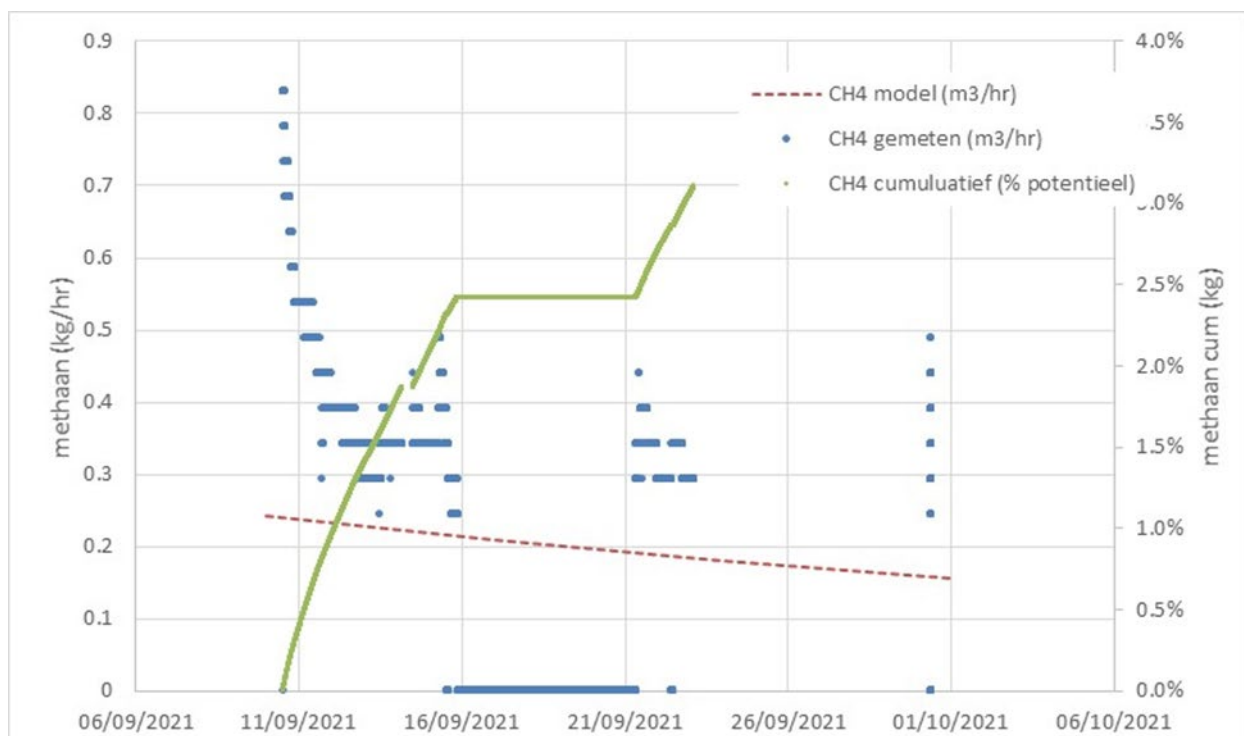
Met dit model kan vervolgens een melkveebedrijf worden gesimuleerd. Het resultaat is een schatting van de methaanemissies uit de mestkelder en de buitenopslag door het jaar heen. Het model houdt rekening met bedrijfsgrootte en bijvoorbeeld ook de weidegang (als gevolg waarvan minder mest in opslag komt en emissies zijn verlaagd).

Validatie van het model aan de hand van metingen in locatie #1 en locatie #3

Vanuit de locaties locatie #1 en locatie #3 zijn mestmonsters beschikbaar waardoor de hoeveelheid organische stof (VS) in de ingaande mest bekend is. Daarnaast zijn tijdreeksen beschikbaar van de biogasvorming, c.q. methaanvorming in de tijd. Er is een poging gedaan om de temperatuur van de mest een jaar lang te meten, alleen was dit in 2021 nog niet succesvol. Om die reden is aangenomen dat de temperatuur van de buitenopslag correleert met de buitentemperatuur. Aan de hand van de hoeveelheid mest in opslag, het VS-gehalte van de ingaande mest en de temperatuur kan met het model een schatting worden gemaakt van de methaanvorming in de tijd.

Figuur 31 geeft de gemeten en gemodelleerde methaanvorming op locatie #1. De blauwe lijn geeft de gemeten methaanvorming weer (in m³ per uur) en de rode lijn de prognose. N.B. de meting van methaanvorming werd gehinderd door de gevoeligheid van de meter waardoor vormingssnelheden onder de 0,23 kg per uur niet konden worden waargenomen. Dus op momenten dat Figuur 31 aangeeft, is de methaanvorming niet 0 maar kleiner dan 0,23 kg/uur. In de eerste dagen na de start van de proef is de gemeten methaanvorming veel hoger dan de modellering. De vorming daalt al snel tot uiteindelijk een waarde vlak boven de gemodelleerde waarde.

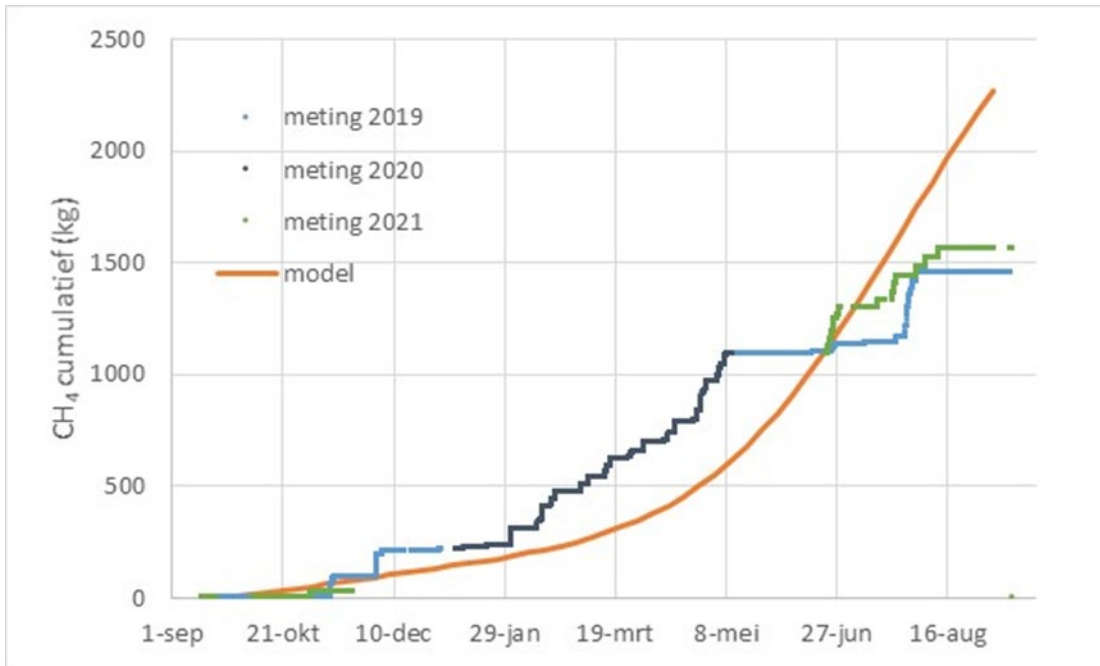
De groene lijn geeft de accumulatieve methaanvorming weer als functie van het potentieel. Dit potentieel is gedefinieerd als het product van het methaanpotentieel per kg VS en de totale hoeveelheid VS ($B_0 \cdot VS$). De totale hoeveelheid VS is het product van de gemeten VS bij mestanalyses en de hoeveelheid mest in opslag. In minder dan een maand tijd wordt hier 4% van dit potentieel omgezet naar CH₄. (N.B. dit is een onderschatting omdat een vorming van kleiner dan 0,23 kg per uur niet wordt waargenomen). Volgens het nationale model in een heel jaar wordt 11% van dit potentieel omgezet.



Figuur 31 Gemeten (blauw) en gemodelleerde (rood) methaanvorming op locatie #1. De groene lijn geeft de cumulatieve hoeveelheid gemeten CH₄ weer als percentage van het potentieel.

Figuur 32 geeft de gemeten en gemodelleerde cumulatieve vorming van methaan weer in een jaar van 15 september tot 15 september bij de fakkel. Gekozen is voor een cumulatieve vorming, omdat bij de fakkel op locatie #3 langere tijd gas wordt opgespaard in de headspace van de mestzak, waarna de methaan wordt afgefakkeld. De methaanvorming in kg/uur valt daardoor niet zo goed terug te halen uit de gefakkelde hoeveelheden. Het model komt uiteindelijk tot een 50% overschatting van de

cumulatieve hoeveelheid gefakkeld methaan. Wat vooral opvalt is dat de vorm van de curve anders is. In de koude periode (december tot april) onderschat het model de methaanvorming. Wanneer het weer opwarmt, wordt juist een onderschatting verkregen. Dat komt mogelijk ook doordat er in geen van de jaren goede metingen zijn voor de maanden mei-juni door technische storingen en beschadigingen in alle jaren in die periode. Mogelijk wordt de temperatuursafhankelijkheid van methaanvorming door het model wat overschat (dus minder afremming in de winter dan verwacht) en is tegelijkertijd de mest wat eerder uitgereageerd dan verwacht.



Figuur 32 Gemeten (blauw-groen) en gemodelleerde (roodbruin) methaanvorming op locatie #3. De metingen betreffen een samenstelling van beschikbare metingen uit 2019, 2020 en 2021.

Bijlage 3 Meer doorgerekende scenario's voor effectiviteit en kosten

Zoals in hoofdstuk 4 beschreven is er voor meerdere scenario's doorgerekend hoeveel methaanomzetting er op een gemiddeld bedrijf kan worden voorkomen en wat de bijkomende kosten zijn. Hieronder zijn voor scenario's 2 tot en met 5 de resultaten weergegeven, scenario 1 staat in hoofdstuk 4:

1. 100 koeien, 720 uur/jaar weiden melkkoeien en 9000 kg melk/koe/jaar: deze variant komt dicht bij de huidige gemiddelde situatie in de Nederlandse melkveehouderij;
2. 100 koeien, 1440 uur/jaar weiden melkkoeien en 7000 kg melk/koe/jaar: dit zou een extensiveringssituatie (meer grondgebondenheid, meer weiden) kunnen zijn. Deze variant heeft geen schaaffect ten opzichte van variant 1;
3. 100 koeien, 0 uur/jaar weiden melkkoeien en 11.000 kg melk/koe/jaar: deze variant heeft geen schaaffect ten opzichte van varianten 1 en 2;
4. 150 koeien, 720 uur/jaar weiden melkkoeien en 9000 kg melk/koe/jaar: dit komt waarschijnlijk dicht bij de gemiddelde situatie in de Nederlandse melkveehouderij over 10 jaar. Deze variant heeft een anderhalf keer zo grote veestapel als in variant 1 maar is verder gelijk aan die variant;
5. 300 koeien, 0 uur/jaar weiden melkkoeien en 11.000 kg melk/koe/jaar: dit weerspiegelt niet weiden bij een hoge melkproductie en een voor huidige begrippen grote bedrijfsomvang. De bedrijfsomvang is driemaal die van variant 3 en deze vijfde variant is verder gelijk aan variant 3.

Variante 2: 100 melkkoeien, 1440 uur weiden, 7000 kg melk per koe per jaar

In deze variant weiden de melkkoeien twee keer zo lang als in variant 1 en is ook de melkproductie per koe per jaar 2000 kg lager. Zowel meer weiden als een lagere melkproductie per koe leiden tot minder mest in de stal en vervolgens ook in de opslag.

Dat is terug te zien in tabel 9. De rangorden veranderen niet maar de piekproducties van methaan en de geoxideerde hoeveelheden methaan zijn alle lager dan bij dezelfde scenario's voor variant 1 en de kosten per kg geoxideerde methaan liggen daardoor allen hoger dan bij variant 1.

Tabel 9 Piekproductie methaan, kg geoxideerde methaan en kosten per kg geoxideerde methaan bij 5 scenario's van vullen en legen van de externe mestopslag voor een voorbeeldbedrijf met 100 melkkoeien, 1440 uur weiden per jaar door melkkoeien en een melkgift per koe per jaar van 7000 kg.

Scenario eerst vullen/ legen externe opslag	kengetal	Techniek		
		biofilter	bodemfilter	fakkel
Nee/ja	Piekproductie methaan in kg per uur	0,32	0,32	0,32
	Kg geoxideerde methaan per jaar	311	382	406
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	3,80	1,23	2,63
Nee/nee	Piekproductie methaan in kg per uur	0,32	0,32	0,32
	Kg geoxideerde methaan per jaar	484	607	632
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	2,44	0,77	1,69
Ja/ja	Piekproductie methaan in kg per uur	0,37	0,37	0,37
	Kg geoxideerde methaan per jaar	1146	1428	1497
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	1,05	0,34	0,71
Ja/nee	Piekproductie methaan in kg per uur	0,49	0,49	0,49
	Kg geoxideerde methaan per jaar	1187	1511	1551
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	1,06	0,34	0,69
Dagontmesting	Piekproductie methaan in kg per uur	0,60	0,60	0,60
	Kg geoxideerde methaan per jaar	1786	2259	2333
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,73	0,24	0,46

Variante 3: 100 melkkoeien, 0 uur weiden, 11.000 kg melk per koe per jaar

Bij deze variant zijn de piekproducties van methaan en de hoeveelheden geoxideerde methaan juist hoger dan bij variant 1, logisch omdat er meer mest in de opslagen komt door minder weiden en de hogere melkproductie. De rangorden zijn alle wederom hetzelfde als bij variant 1: het biofilter het duurst en het bodemfilter het goedkoopst.

Tabel 10 Piekproductie methaan, kg geoxideerde methaan en kosten per kg geoxideerde methaan bij 5 scenario's van vullen en legen van de externe mestopslag voor een voorbeeldbedrijf met 100 melkkoeien, 0 uur weiden per jaar door melkkoeien en een melkgift per koe per jaar van 11.000 kg.

Scenario	eerst kengetal vullen/ legen externe opslag	Techniek		
		biofilter	bodemfilter	fakkel
Nee/ja	Piekproductie methaan in kg per uur	0,38	0,38	0,38
	Kg geoxideerde methaan per jaar	459	564	600
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	2,64	0,86	1,78
Nee/nee	Piekproductie methaan in kg per uur	0,38	0,38	0,38
	Kg geoxideerde methaan per jaar	624	769	815
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	1,94	0,63	1,31
Ja/ja	Piekproductie methaan in kg per uur	1,03	1,03	1,03
	Kg geoxideerde methaan per jaar	1698	2178	2219
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,86	0,30	0,48
Ja/nee	Piekproductie methaan in kg per uur	1,11	1,11	1,11
	Kg geoxideerde methaan per jaar	1832	2359	2394
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,81	0,29	0,45
Dagontmesting	Piekproductie methaan in kg per uur	1,23	1,23	1,23
	Kg geoxideerde methaan per jaar	2742	3507	3583
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,55	0,20	0,30

Variante 4: 150 melkkoeien, 720 uur weiden, 9000 kg melk per koe per jaar

Deze variant betreft de, zoals nu wordt ingeschat, ongeveer gemiddelde bedrijfsopzet van een melkveebedrijf te zijn in 2030. Het is variant 1 maar dan met anderhalf keer zoveel melkkoeien. Door de grotere bedrijfsomvang gaan er schaalearde effecten spelen bij de kosten: de fakkels is namelijk nagenoeg schaalafhankelijk, het biofilter is gedeeltelijk schaalafhankelijk en het bodemfilter is nagenoeg geheel schaalafhankelijk. Tabel 11 geeft enkele uitkomsten voor variant 4.

Tabel 11 Piekproductie methaan, kg geoxideerde methaan en kosten per kg geoxideerde methaan bij 5 scenario's van vullen en legen van de externe mestopslag voor een voorbeeldbedrijf met 100 melkkoeien, 720 uur weiden per jaar door melkkoeien en een melkgift per koe per jaar van 9000 kg.

Scenario eerst kengetal vullen/ legen externe opslag		Techniek		
		biofilter	bodemfilter	fakkels
Nee/ja	Piekproductie methaan in kg per uur	0,53	0,53	0,53
	Kg geoxideerde methaan per jaar	574	705	750
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	2,22	0,75	1,43
Nee/nee	Piekproductie methaan in kg per uur	0,53	0,53	0,53
	Kg geoxideerde methaan per jaar	973	1222	1272
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	1,31	0,43	0,84
Ja/ja	Piekproductie methaan in kg per uur	1,12	1,12	1,12
	Kg geoxideerde methaan per jaar	2122	2726	2772
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,70	0,25	0,39
Ja/nee	Piekproductie methaan in kg per uur	0,78	0,78	0,78
	Kg geoxideerde methaan per jaar	2183	2754	2852
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,63	0,22	0,37
Dagontmesting	Piekproductie methaan in kg per uur	1,12	1,12	1,12
	Kg geoxideerde methaan per jaar	3188	4048	4165
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,47	0,17	0,26

De conclusies zijn hetzelfde als bij de 3 voorgaande varianten: het biofilter het duurst en het bodemfilter het goedkoopst. Wel zijn de relatieve verschillen kleiner dan bij variant 1. Zo was voor scenario 2 bij variant 1 de fakkels iets meer dan 2x zo duur als het bodemfilter terwijl voor scenario 2 bij variant 4 de fakkels net iets minder dan 2x zo duur is als het bodemfilter.

Variante 5: 300 melkkoeien, 0 uur weiden, 11.000 kg melk per koe per jaar

Bij deze 5e variant komt de meeste mest in opslagen terecht van alle varianten. Het biofilter is nog steeds bij alle scenario's het duurst maar het bodemfilter is niet meer altijd het goedkoopst. Als de externe opslag eerst gevuld wordt (3e, 4e en 5e scenario), dan is de fakkel goedkoper dan het bodemfilter.

Tabel 12 Piekproductie methaan, kg geoxideerde methaan en kosten per kg geoxideerde methaan bij 5 scenario's van vullen en legen van de externe mestopslag voor een voorbeeldbedrijf met 300 melkkoeien, 0 uur weiden per jaar door melkkoeien en een melkgift per koe per jaar van 11.000 kg.

Scenario eerst vullen/ legen externe opslag	kengetal	Techniek		
		biofilter	bodemfilter	fakkel
Nee/ja	Piekproductie methaan in kg per uur	1,15	1,15	1,15
	Kg geoxideerde methaan per jaar	1376	1690	1798
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	1,09	0,41	0,59
Nee/nee	Piekproductie methaan in kg per uur	1,15	1,15	1,15
	Kg geoxideerde methaan per jaar	1870	2308	2444
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,80	0,30	0,44
Ja/ja	Piekproductie methaan in kg per uur	3,10	3,10	3,10
	Kg geoxideerde methaan per jaar	5094	6533	6656
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,40	0,19	0,16
Ja/nee	Piekproductie methaan in kg per uur	3,34	3,34	3,34
	Kg geoxideerde methaan per jaar	5497	7077	7182
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,38	0,18	0,15
Dagontmesting	Piekproductie methaan in kg per uur	3,70	3,70	3,70
	Kg geoxideerde methaan per jaar	8226	10520	10748
	Kosten in euro/kg geoxideerde methaan	0,26	0,13	0,10

Bijlage 4 Actor analyse – geïnterviewde partijen en vragenlijst

Geïnterviewde partijen:

Overheidsinstanties, die betrokken zijn bij vergunningverlening; toezichthouders

- Omgevingsdiensten
- NVWA
- Certificerende instanties: SGS, TÜV

Marktpartijen, die private keurmerken beheren of gebruiken

- Zuivelbedrijven
- Certificaatbeheerders
- Wageningen University & Research

- Uitvoeringsinstanties/subsidieverleners Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)

Vragenlijst actoranalyse

Bij de interviews zijn de volgende vier vragen gesteld.

1. Wat voor soort eisen zou je aan dit soort nieuwe systemen moeten stellen?
Bij deze vraag gaat het erom hoe beoordeeld wordt of er wel of niet vergunning/toestemming wordt verleend. Met andere woorden: wat is er nodig voor beoordeling van deze nieuwe technieken? Hierbij kunnen bijvoorbeeld de volgende aspecten aan de orde komen:
 - Landelijke of internationale richtlijnen
 - Resultaten uit onderzoek (pilots, rapporten)
2. Hoe stel je vast of het systeem deugdelijk geïnstalleerd is, zodat de beloofde emissiebeperking gerealiseerd kan/zal worden?
Hierbij kunnen bijvoorbeeld de volgende aspecten aan de orde komen:
 - Waarop ga je controleren?
 - Hoe en hoe vaak moet er gemeten worden?
 - Wie moet de metingen uitvoeren of de informatie daarvan doorgeven?
 - Wat moet er gemeten worden: wat zijn de meest kritische controlepunten?
 - Kan de boer zelf de installatie aanleggen, of moet een gecertificeerde aannemer dat doen?
 - Hoe zit het met kwaliteit/onderhoud installatie, werkingsduur, efficiëntie werking, storingen?
3. Zou je kunnen werken met eigen verklaringen of administratie van de melkveehouder, of verdienen objectieve meetgegevens de voorkeur?
Hierbij kunnen bijvoorbeeld de volgende aspecten aan de orde komen:
 - Als met verklaringen van de boer kan worden gewerkt, wat zou de boer dan moeten vastleggen ter onderbouwing?
 - Hoe moet er gemeten worden?
 - Is het mogelijk om risicogericht te controleren, bijvoorbeeld rekening houdend met reputatie van bedrijven?
4. Wat zullen voor melkveehouders belangrijke incentives zijn om daadwerkelijk met zo'n nieuw systeem aan de slag te gaan?

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



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

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

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

