



OMZETTING VAN METHAAN UIT MESTOPSLAGEN ALS VERBRANDINGSLUCHT

VERBRANDING VAN VENTILATIELUCHT IN
LOKALE ENERGIEVOORZIENING

Hans Oonk
Jan Koopmans

Juli 2010

OMZETTING VAN METHAAN UIT MESTOPSLAGEN ALS VERBRANDINGSLUCHT

VERBRANDING VAN VENTILATIELUCHT IN LOKALE ENERGIEVOORZIENING

Eindrapport

Begin en einddatum: 1 maart tot 31 juli 2010

Auteur/uitvoerder: Hans Oonk, OonKAY!
Jan Koopmans, PAS Mestopslagsystemen

In samenwerking met: PAS Mestopslagsystemen
De Giek 31
9206 AS Drachten

Opdrachtgever: Ministeries van VROM en LNV
Gecoördineerd door Agentschap NL
T.a.v. A. Smit
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

SBIR-projectnummer: ROBP090088

Aantal pagina's: 23 (excl. bijlagen)

Bijlagen: 7

De auteursrechten van dit onderzoek berusten bij OonKAY! Alle rechten worden derhalve voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van OonKAY!

Voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer wordt verwezen naar de algemene voorwaarden van OonKAY!, dan wel de specifieke voorwaarden waaronder de overeenkomst tussen partijen in afgesloten.

Het ter inzage geven van dit rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan. OonKAY! aanvaardt geen aansprakelijkheid voor schade, van welke aard ook, die het gevolg zijn van handelingen en/of beslissingen die gebaseerd zijn op dit rapport.

INHOUDSOPGAVE

Omzetting van methaan uit mestopslagen als verbrandingslucht.....	1
verbranding van ventilatielucht in lokale energievoorziening.....	1
Inhoudsopgave.....	3
1. Management samenvatting.....	4
2. Uitvoering van het project.....	5
2.1 Inleiding.....	5
2.2 Methoden en activiteiten.....	7
2.3 Projectorganisatie.....	8
3. Inhoudelijke bevindingen.....	9
3.1 Bijdrage aan het maatschappelijk vraagstuk.....	9
3.2 Technische haalbaarheid.....	9
3.3 Economische haalbaarheid.....	19
3.4 Organisatie.....	21
3.5 Toegevoegde waarde voor de samenleving.....	21
4. Conclusies en vervolg.....	22
Referenties.....	23
Bijlage 1: Vorming afgassen in mestopslagen	
Bijlage 2: Definitie referentie mestopslagen	
Bijlage 3: Energieverbruik van stallen.	
Bijlage 4: Voorbehandeling H ₂ S en NH ₃ -verwijdering	
Bijlage 5: Noodzaak van 'head-space'	
Bijlage 6: NH ₃ in verbrandingsprocessen	
Bijlage 7: Detailontwerp mestopslag	

1. MANAGEMENT SAMENVATTING

- *Verwachte (kwantitatieve) bijdrage aan het maatschappelijk vraagstuk uit de aanbesteding.*

De totale methaanemissies uit mestverwerking in Nederland bedraagt naar schatting 115 kton CH₄, oftewel 2,7 Mton CO₂-equivalenten (bijna 1,5% van alle Nederlandse broeikasgasemissies). De toepasbaarheid van deze maatregel is beperkt tot hele specifieke situaties en zal zich hooguit beperken tot enkele tientallen mestilo's in Nederland. Daarmee is het potentieel van de maatregel minder dan 1% van de totale Nederlandse emissies uit dierlijke mest van 2,7 Mton CO₂-eq.

- *Technische haalbaarheid.*

De maatregel lijkt technisch alleen haalbaar bij mestilo's met een spandak bij boerderijen waar een grote consument van aardgas op zeer korte afstand bevindt (bijvoorbeeld een 250 kW_e gasmotor binnen 30 à 100 meter van de opslag). Voorwaarde is tevens dat geen voorbehandeling van het afgas nodig is.

- *Economische haalbaarheid.*

In zijn meest simpele uitvoeringsvorm bedragen de kosten voor methaanemissiereductie 7 Euro per ton CO₂-eq. Er zijn argumenten om een grens van 20 Euro per ton CO₂-eq. aan te houden voor het acceptabel zijn van een maatregel voor beperking van broeikasgasemissies en daarmee lijkt de maatregel kosteneffectief.

- *Organisatorische haalbaarheid.*

Het huidige consortium is in staat om onderzoek en ontwikkeling en de vermarkting van het systeem uit te voeren. Gezien de beperkte toepasbaarheid zien OonKAY! en PAS Mestopslagsystemen echter af van verdere ontwikkeling en commercialisatie.

- *Verwachte (kwantitatieve) toegevoegde waarde voor de maatschappij.*

De waarde van de maatregel voor de maatschappij is beperkt tot minder dan 1% van de totale Nederlandse emissies uit dierlijke mest van 2,7 Mton CO₂-eq. Naast een reductie van methaanemissies kan ook een reductie van geuremissies worden verwacht. Het effect op verzurende emissies (NO_x en NH₃) en broeikasgasemissies (N₂O) is onduidelijk.

- *Het ontwikkelingstraject en de eventuele aandachtspunten.*

Gezien de beperkte toepasbaarheid zien OonKAY! en PAS Mestopslagsystemen af van verdere ontwikkeling en commercialisatie. Wel willen de projectpartners met AgentschapNL nadenken over mogelijkheden om de resultaten van dit project breder bekend te maken, waardoor gebruik kan worden gemaakt van de in dit project opgedane kennis, mocht het idee in een specifieke situatie toch mogelijk lijken.

Vervolg op fase 2

N.v.t.

2. UITVOERING VAN HET PROJECT

2.1 INLEIDING

De opslag van dierlijke mest brengt een aantal milieuproblemen met zich mee. Door omzetting van organisch materiaal in de mest wordt methaan gevormd. Methaan is een broeikasgas en heeft per kg het effect van 25 kg CO₂¹. Daarnaast wordt ammoniak geëmitteerd, wat bijdraagt aan verzuring en vermisting. Ook kan mestopslag resulteren in geuroverlast in de omgeving, o.a. door NH₃, H₂S en andere zwavelverbindingen in het afgas. De totale methaanemissies uit mestverwerking in Nederland bedraagt naar schatting 115 kton CH₄ (Project emissieregistratie, 2010). Dit is ongeveer gelijk aan 2,7 Mton CO₂-equivalenten en daarmee is de mestverwerking verantwoordelijk voor bijna 1,5% van de Nederlandse broeikasgasemissies.

Methaanemissies uit mestopslagen komen vrij in een relatief kleine hoeveelheid, die ook nog eens sterk wisselt. De methaanemissie hangt af van de hoeveelheid mest in opslag en bijvoorbeeld ook de omgevingstemperatuur. In dit project wordt ingeschat dat de methaanvorming bij een stal met 80 melkkoeien jaargemiddeld ongeveer 300 g per uur is, met een piek in de zomer van iets minder dan een kg per uur. Voor varkensstallen en mestopslagen in het veld is de vorming weliswaar wat groter, maar het emissieprobleem is nog steeds klein in vergelijking tot bijvoorbeeld afgassen in de industrie.

Een standaardoplossing voor VOS²-houdende afgasstromen bij lage en wisselende debiet en concentraties is het gebruik van de afgasstroom als verbrandingslucht in een ketel, oven, gasmotor etc. Ook het afgas van een mestopslag kan op deze manier worden verwijderd, op voorwaarde dat een geschikte verbrandingsinstallatie voldoende dichtbij aanwezig is. De oplossing lijkt op het eerste gezicht een hele goedkope, want veel is er niet voor nodig:

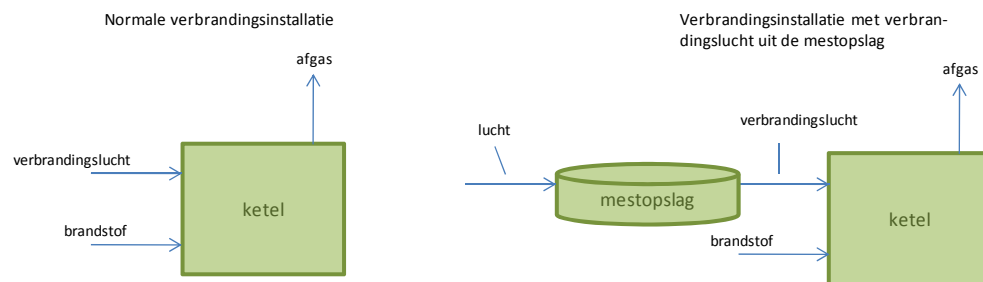
- een leidingensysteem van de mestopslag naar verbrandingsinstallatie
- mogelijk een kleine ventilator die zorgt voor transport van het afgas

Mogelijk is er nog iets van een regeling nodig, waardoor totale luchtaanbod en mischien ook het aardgasaanbod aan de verbrandingsinstallatie wordt geregeld.

Een beschrijving van het systeem staat gegeven in figuur 1.

¹ Waarde als vastgesteld door IPCC (2007). Deze waarde (100 jaar integratietijd en inclusief indirecte effecten) is het meest gangbaar in onderlinge vergelijkingen van broeikasgasemissies.

² VOS staat voor vluchtige organische stoffen:



FIGUUR 1: EEN NORMALE VERBRANDINGSINSTALLATIE EN TOEPASSING VAN AFGASSEN VAN EEN MESTOPSLAG ALS VERBRANDINGSLUCHT

N.B. toepassing van afgassen van mestopslagen als verbrandingslucht is dus iets essentieel anders dan de benutting van de methaan in een ketel of gasmotor. Voor dat laatste dient het afgas een hoge (brandbare) concentratie aan methaan in het gas te hebben, afhankelijk van de toepassing van minimaal 35-50 vol% CH₄.

Alleen zal niet bij iedere mestopslag een dergelijke verbrandingsinstallatie aanwezig zijn. Echter als dit bij 20% van de opslagen wel het geval is dan is het potentieel van deze maatregel 0,5 Mton CO₂-eq. en is daarmee nog steeds fors en ook aanzienlijk hoger dan de norm voor aantrekkelijke maatregelen die elders binnen ROB gelden (daar gold tot voor een aantal jaar geleden een minimum potentieel van 0,1 Mton CO₂-eq.).

2.1.1 PROBLEEMSTELLING

De technische mogelijkheden voor toepassing van afgassen van een mestopslag als verbrandingslucht lijken vrij goed. Er zijn echter een aantal aspecten die nog nadere uitwerking behoeven:

- De grootste onzekerheid lijkt de kosteneffectiviteit van de pijpleiding van de mestopslag naar de verbrandingsinstallatie. Er zal een bepaalde maximum afstand zijn, waarbij de kosten nog net opwegen tegen de baten;
- De capaciteit van de verbrandingsinstallatie en de hoeveelheid afgas van de mestopslag dienen op elkaar te passen. Bijkomend probleem is dat zowel de methaan en NH₃-afgifte van een mestopslag en het gebruik van de verbrandingsinstallatie een seizoensfluctuatie hebben;
- Veiligheid is een onderwerp van aandacht. De installatie dient aan de normen te voldoen en dat betekent dat nergens in de installatie 10% LEL³ mag worden overschreden.
- Lage hoeveelheden aan NH₃ vormen waarschijnlijk geen probleem in de verbrandingsinstallatie. Wat dat betreft is er een analogie met H₂S in biogas dat tot 100 ppm zonder enig probleem kan worden benut. Bij hogere concentraties aan NH₃ zal afhankelijk van het advies van de leverancier een aanvullende maatregel nodig zijn, waarmee NH₃ concentraties in wordt verlaagd;

³ 10% van de methaanconcentratie horend bij onderste explosiegrens van methaan in lucht

- NH_3 in de verbrandingsinstallatie kan leiden tot vorming van NO_x . Mogelijk kan NH_3 nog zorg dragen voor een emissiereductie van NO_x door optreden van een zogenoemde SNCR-reactie. Vorming van N_2O wordt niet verwacht. ;
- Tenslotte en niet technisch inhoudelijk: niet iedere boer zal een geschikte verbrandingsinstallatie in de buurt hebben. Dus een vraag is bij welk deel van de totale Nederlandse mestopslagen de maatregel kan worden toegepast.

2.1.2 DOELSTELLING

Doelstelling van deze haalbaarheidsstudie is tweeledig:

- Enerzijds een evaluatie van de investerings- en operationele kosten, alsmede de bijkomende voordelen van gebruik van afgas van een mestopslag als verbrandingslucht. Bepaling van het aandeel aan mestopslagen waar dit op kan worden toegepast.
- Daarnaast was het idee om voor fase 2 een demonstrator te ontwerpen, waarmee proof-of-principle kon worden gerealiseerd. Door de beperkte toepasbaarheid van het idee wordt afgezien van verdere ontwikkeling en is dit niet verder uitgewerkt.

2.2 METHODEN EN ACTIVITEITEN.

De haalbaarheidsstudie is volledig gebaseerd op open literatuur, gesprekken met experts, aangevuld met ontwerpen van de projectpartners. De projectactiviteiten komen overeen met de hierboven beschreven probleem- en doelstelling en verliepen, afgezien van de definitie van vervolgstappen, conform projectplan.

- Definitie van een referentiemestopslag en de bijhorende methaan- en NH_3 -afgifte als functie van de tijd van het jaar (bijvoorbeeld per maand).
- Inventarisatie van typische verbrandingsinstallaties op of in de omgeving van een boerenbedrijf en vaststellen van de behoefte aan verbrandingslucht in de verschillende maanden.
- Overleg met leveranciers van verbrandingssystemen over en literatuurstudie naar consequenties voor de verbrandingsinstallatie voor schommelingen in het methaanaanbod, mogelijkheden om dit te regelen, tolerantie voor NH_3 in het afgas;
- Ontwerp van een systeem voor onttrekken van het afgas van de mestopslag en vervolgens transporteren naar de verbrandingsinstallatie, regelen van de verbrandingsluchttoevoer en eventueel aanvullende NH_3 -verwijdering uit het afgas. Bepaling van de kosten als functie van de afstand en ook als functie van de grootte van de mestopslag.
- Literatuurstudie naar NH_3 -afbraak, NO_x en N_2O vorming, eventueel SNCR in verbrandingsinstallaties. Kwantificeren van de overige voordelen als hierboven benoemd.
- Schatting voor welk deel van de mestopslagen een geschikte verbrandingsinstallatie voldoende dichtbij is;

- Ontwerp demonstrator, bepaling investeringskosten, operationele kosten en kosten voor monitoring (N.B. door de beperkte toepasbaarheid wordt afgezien van verdere ontwikkeling. Deze taak is dus niet verder uitgewerkt).
- Evaluatie en rapportage.

2.3 PROJECTORGANISATIE

Het project is uitgevoerd in samenwerking van OonKAY! en PAS Mestopslagsystemen. OonKAY! was binnen deze haalbaarheidsstudie verantwoordelijk voor de ontwikkeling van het mestmodel, de inventarisatie en uitwerking van alle relevante aspecten voor toepassing van afgassen als verbrandingslucht. PAS mestopslagsystemen heeft specifieke kennis van mestopslagen en is verantwoordelijk voor detailontwerp van de installatie. Beide partners hebben bijgedragen aan de kwantificering van de kosten.

3. INHOUDELIJKE BEVINDINGEN

3.1 BIJDRAGE AAN HET MAATSCHAPPELIJK VRAAGSTUK

Dit project richt zich primair op de methaanemissies. De totale methaanemissies uit mestverwerking in Nederland bedraagt naar schatting 115 kton CH₄ (Project emissie-registratie, 2010). Dit is ongeveer gelijk aan 2,7 Mton CO₂-equivalenten en daarmee is de mestverwerking verantwoordelijk voor bijna 1,5% van de Nederlandse broei-kasgasemissies.

In deze haalbaarheid wordt de mogelijkheid onderzocht voor toepassing van het af-gas van de mestopslag als verbrandingslucht van een verbrandingsinstallatie. De toepasbaarheid van deze maatregel is beperkt tot mestsilos met een spandak bij boerderijen waar een grote consument van aardgas op zeer korte afstand bevindt (bijvoorbeeld een 250 kW_e gasmotor binnen 30 à 100 meter van de opslag). Het aantal boerderijen waar dat het geval is, zal zich hooguit beperken tot enkele tientallen in Nederland. In Nederland hebben we tienduizenden mestopslagen en daarmee is het potentieel van de maatregel minder dan 1% van het totale probleem van methaanemissies uit mestopslagen.

3.2 TECHNISCHE HAALBAARHEID

3.2.1 SOORTEN MESTOPSLAGEN

Er kunnen drie of vier typen mestopslagen worden onderscheiden. De meest simpele zijn de mestbassins, die veelal tussen vier dijken worden aangelegd. De mest wordt tussen twee afdichtingen gepompt. De bovenste afdichting is voorzien van ontluhtingspunten, waardoor drukopbouw wordt vermeden. Een variant op een mestbassin is de mestzak. Dit zijn stevige zakken van 200 tot 6000 m³, waar de mest in wordt gepompt. Vaak ligt zo'n mestzak ook tussen vier dijken, maar de constructie maakt het mogelijk om de zak tot boven de dijk te vullen. Spanbanden houden de mest op zijn plek. Daarnaast zijn er de bekende mestsilos. Deze kunnen zijn uitgerust met een op de mest drijvend dak of met een spandak, waarbij er ruimte ontstaat tussen de mest het dak.

3.2.2 METHAANEMISSIES UIT EEN MESTOPSLAG

Van der Hoek en van Schijndel (2006) specificeren de methaanemissies voor de diverse diercategorieën in 2003. 3 soorten dieren domineren de methaanemissie uit mestverwerking: 45% is afkomstig van melkvee; 26% van vleesvarkens en 11% van fokzeugen. Om die reden richt deze haalbaarheidsstudie zich op deze drie diersoorten. Mestopslag vindt plaats bij de stal waar de mest wordt geproduceerd. Daarnaast zijn er mestopslagen in het veld waar mest, dichtbij waar de mest uiteindelijk wordt toegepast. Op enig moment in het jaar wordt deze mest door een akkerbouwer aangekocht daar opgeslagen totdat het wordt uitgereden.

In dit project is een model gemaakt (zie bijlage 1), waarmee de methaanemissies van stallen voor melkkoeien, vleesvarkens en fokzeugen kan worden voorspeld. Een tweede model is in staat om de methaanemissie van een mestopslag in het veld in te schatten.

Het methaanemissiemodel is gebaseerd op de manier waarop het Planbureau voor de leefomgeving (PBL) de Nederlandse emissies uit mestopslagen kwantificeert (van der Hoek en van Schijndel, 2006). De PBL-methodiek geeft alleen een jaargemiddelde emissie. Op basis hiervan is een model gemaakt dat de methaanvorming door het jaar heen bepaalt, afhankelijk van het moment van het jaar en bijvoorbeeld als functie van de hoeveelheid mest die op dat moment in opslag is. In het model wordt aangenomen dat de methaanvorming recht evenredig is met de hoeveelheid substraat⁴ dat op dat moment in opslag is; elke dag wordt een bepaald deel, k , van het substraat omgezet. Tabel 1 geeft de relevante modelparameters. De met dit model berekende jaargemiddelde vorming komt overeen met de jaargemiddelde vorming van PBL.

TABEL 1: PARAMETERS VOOR BEREKENING VAN JAARGEMIDDELTE METHAANEMISSIONS UIT MESTOPSLAGEN (VAN DER HOEK EN VAN SCHIJNDEL, 2006).

	mestproductie (ton/dier/jaar) ¹	initieel methaan- potentieel (m ³ /ton mest) ²	k_{zomer} (1/dag)	k_{winter} (1/dag)
Melkkoeien	19,5	16	0,0028	0,0014
Vleesvarkens	1,2	20,4	0,0061	0,0031
Fokzeugen	5,1	11,9	0,0061	0,0031

¹) Inclusief spoelwater

²) Product van VS en B₀ in bijlage 1

De resulterende methaanemissies van een viertal referentiemestopslagen staan gegeven in bijlage 1 en worden verderop geïnterpreteerd in figuren 2 tot en met 5.

3.2.3 NAUWKEURIGHEID VAN HET MODEL

De schatting van de methaanvorming is gebaseerd op de schatting van PBL van de methaanemissies uit mestopslagen in Nederland. De mestproductie per dier per jaar en de samenstelling (initieel methaanpotentieel) van de mest wordt intensief gemonitord en is daarmee vrij nauwkeurig. De mate waarin dit potentieel ook daadwerkelijk vrijkomt (en daarmee ook de waarde voor k in tabel 1) is slechts een grove schatting, vooral gebaseerd op laboratoriumwerk aan de Universiteit Wageningen, begin jaren '90. Al met al wordt *de onzekerheid* in de kwantificering van de methaanemissies geschat op 100% (Olivier et al., 2009; PBL, 2010).

De vertaling van de PBL- methodiek naar het hier beschreven methaanvormingsmodel gebeurt onder aanname dat de vormingssnelheid evenredig is met de hoeveel-

⁴ Substraat is het organisch materiaal in de mest, dat kan worden omgezet naar methaan.

heid substraat in de mestopslag. Ook dit zal in werkelijkheid niet helemaal het geval zijn. De bacteriemassa die verantwoordelijk is voor methaanvorming ontwikkelt zich in de loop van de tijd. Het gevolg hiervan is dat de methaanomzetting in de periode na het legen van een opslag wat minder snel op gang komt en aan het eind van een vulseizoen mogelijk wat hoger is. De pieken in de figuren 2 tot en met 5 zijn dus mogelijk wat scherper.

3.2.4 ENERGIEVERBRUIK VAN EEN STAL

Alle stallen gebruiken energie. Stallen voor melkvee gebruiken vooral energie voor het maken van heet water voor reiniging van apparatuur na het melken. Stallen voor fokzeugen en vleesvarkens hebben vooral verwarming van de ruimtes voor gespeende biggen en jonge dieren.

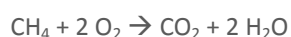
In bijlage 3 wordt het jaargemiddeld energieverbruik van een stal gegeven. Dit is de basis van een schatting van het gemiddeld energieverbruik per maand en deze schatting is op zijn beurt weer omgerekend naar een schatting van het gemiddeld verbruik van verbrandingslucht per maand. In de figuren 2 t/m 5 staan de resultaten voor de verschillende stallen weergegeven.

3.2.5 EISEN VAN LEVERANCIERS VAN VERBRANDINGSINSTALLATIES

Een telefoongesprek met leveranciers van verbrandingsinstallaties (vooral leveranciers van ketels en boilers als AO Smith, Ecoheating, Baxi, Daaldrup) leerde dat zij erg huiverig staan tegenover gebruik van ventilatielucht van een mestopslag in verbrandingsinstallaties.

Veiligheid is een belangrijke voorwaarde. De methaanconcentratie in het gas dient beperkt te blijven tot 10% van de onderste explosiegrens (10% LEL). De onderste explosiegrens is 5 vol% methaan in lucht, dus de maximale concentratie aan methaan in de verbrandingslucht is 0,5 vol% methaan. Per m³ methaan die in de mestopslag ontstaat is dus 200 m³ aan ventilatielucht nodig.

Een verbrandingsinstallatie consumeert brandstof en verbrandingslucht (zie ook figuur 1). Als aardgas wordt verbrand, dan is de reactievergelijking:



Per mol CH₄ is 2 mol O₂ nodig. Bij een gas is de molverhouding bij nagenoeg gelijk is aan de volumeverhouding. Omdat lucht 20% zuurstof bevat en aardgas vrijwel geheel uit methaan, is de benodigde volumeverhouding bij verbranding van aardgas 1 m³ aardgas per 10 m³ lucht⁵.

⁵ In werkelijkheid ligt het iets subtieler. Gronings aardgas bevat geen 100% methaan, maar slechts iets van 81%, met daarnaast kleine hoeveelheden ethaan en propaan. Echter in de meeste systemen is nog sprake van een overmaat zuurstof ten opzichte van methaan. Ketels en boilers kunnen bijvoorbeeld een luchtvermaat hebben van 15% (SenterNovem). Beide effecten heffen elkaar zo'n beetje op en daarom wordt in deze studie wordt uitgegaan van een verhouding aardgas:lucht van 1:10.

Wanneer 1 m³ aardgas wordt verbrand met 10m³ lucht, dan bevat de aangezogen lucht ook een kleine hoeveelheid methaan (0,05 vol%). Dit komt overeen met een extra 0,5 m³ aardgas. Voordeel hiervan is dat de energieinhoud van deze 0,5 m³ methaan ook wordt benut. Nadeel is echter dat de werkelijke luchtvermaat wat wordt verkleind, waardoor een iets andere instelling van de ketel misschien noodzakelijk is. Nadeel hiervan is mogelijk een iets lager rendement in perioden dat de 0,05 vol% aan methaan in het afgas niet wordt gehaald. Voor de stabiliteit van de verbranding hoeft deze lichte schommeling in werkelijke verhouding CH₄:O₂ geen probleem te zijn.

De leveranciers hebben wel grote bezwaren tegen NH₃ en H₂S in de verbrandingslucht en willen dit graag volledig verwijderd zien. De reden voor verwijdering van NH₃ en de mate waarin NH₃ dient te worden verwijderd is echter onduidelijk. Vrijwel alle mestvergisters zijn uitgerust met een NH₃ wasser, waarmee het biogas wordt voorbehandeld, maar nergens staan eisen vermeld waar de NH₃-concentratie aan dient te voldoen. Ook de reden waarom is onduidelijk. Het kan zijn dat preventie van corrosie van apparatuur het doel is; het kan ook zijn dat het een noodzakelijke maatregel is om te voorkomen dat de NO_x-emissies van de verbrandingsinstallatie te hoog worden, zoals kan worden opgemaakt uit Strik et al. (2005).

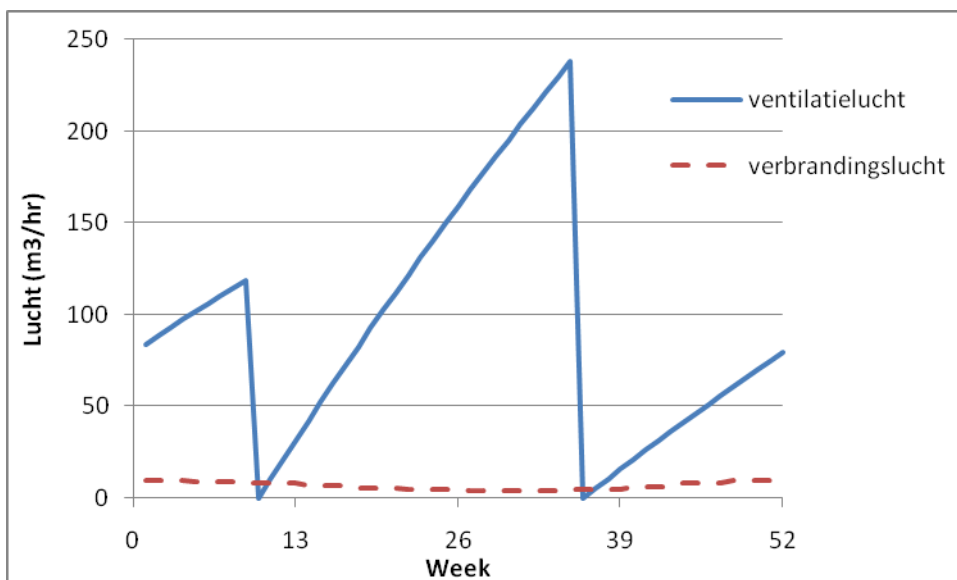
Volledige verwijdering van H₂S lijkt ook wat overdreven, gezien de eisen aan biogas, die elders worden gerapporteerd. In onderstaande tabel staan deze eisen samengevat en zijn omgerekend naar eisen aan de verbrandingslucht, onder aanname van een verhouding van lucht:methaan van 10:1 (gebaseerd op McKinsey Zicari, 2003). De maximale concentraties in verbrandingslucht zijn dan 7% van de maximale concentraties in het biogas.

TABEL 2: EISEN AAN H₂S-GEHALTE VOOR BENUTTING VAN BIOGAS EN DAARVAN AFGELEID DE EISEN VOOR VENTILATIELUCHT ALS VERBRANDINGSLUCHT

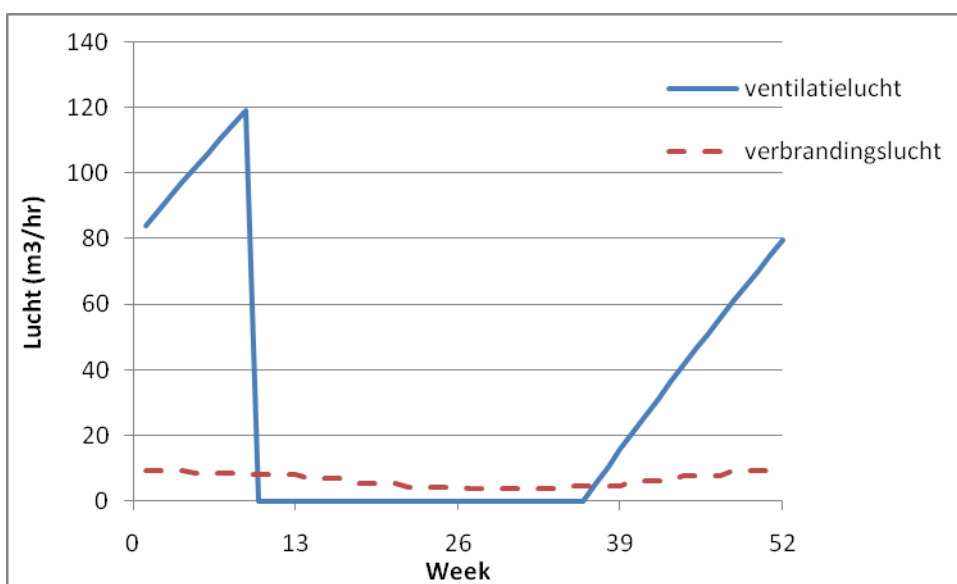
	H ₂ S	verbrandingslucht	bron
huishoudelijk gebruik	<10 ppm	<1 ppm	Wellinger (2000)
gasmotoren	<100 ppm	< 10 ppm	Wellinger (2000)
boilers, ketels	<1000 ppm	< 100 ppm	Wellinger (2000)
turbines	< 70.000 ppm	< 7.000 ppm	CTC (2002)

3.2.6 VRAAG EN AANBOD VAN VERBRANDINGSLUCHT

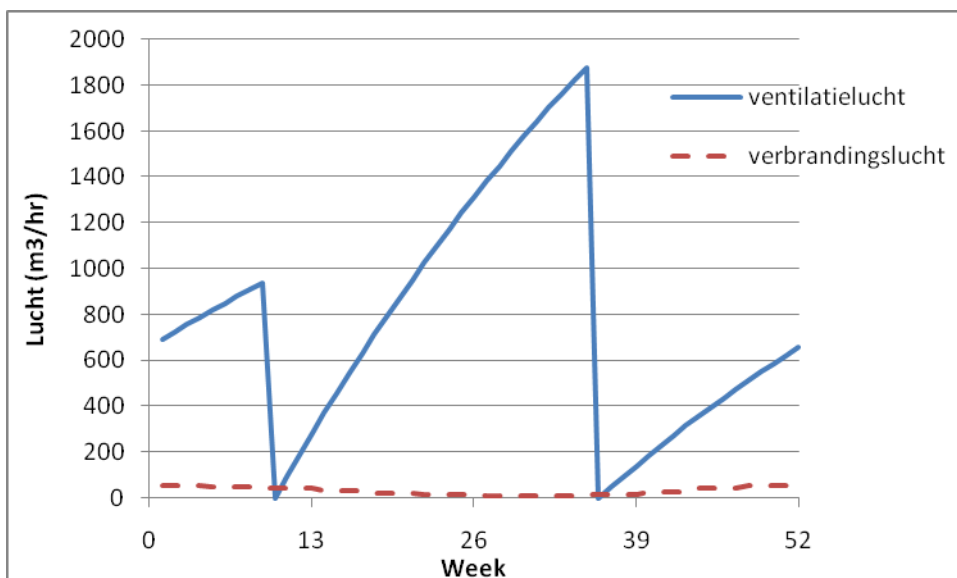
In de figuren 2 tot en met 5 staan voor vier modelstallen (gespecificeerd in bijlage 2) de vraag naar verbrandingslucht (als berekend in 3.2.4) en het aanbod van ventilatielucht uit de mestopslagen (als berekend in 3.2.1, onder aanname van 0,5 vol% aan CH₄ in het gas) uitgewerkt.



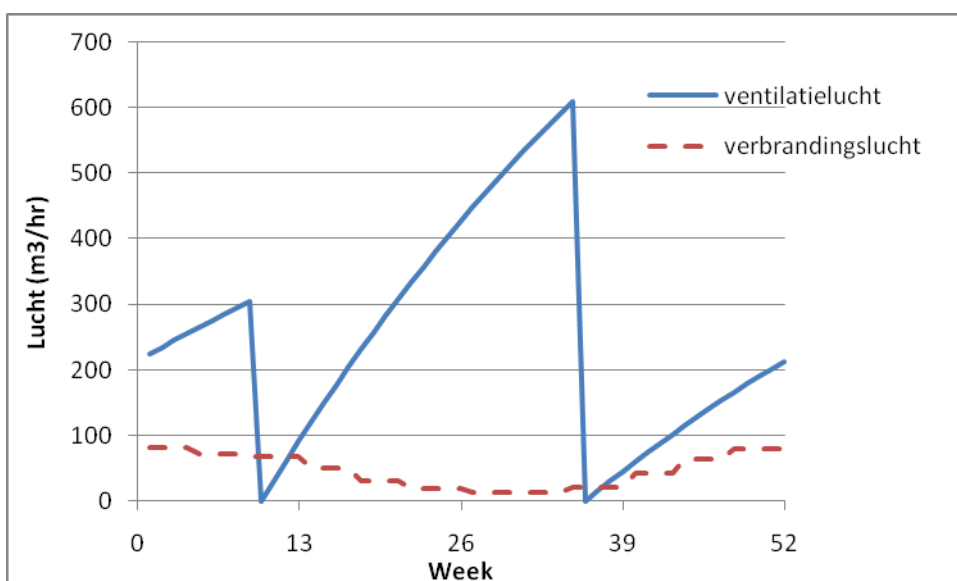
FIGUUR 2: AANBOD VAN VENTILATIELUCHT UIT DE MESTOPSLAG (VERDUND NAAR 10% LEL) EN VRAAG NAAR VERBRANDINGSLUCHT VAN DE DIVERSE APPARATUUR OP AARDGAS IN DE STAL EN HET BIJBEHORENDE WOONHUIS VOOR EEN STAL MET 80 MELKKOEIEN.



FIGUUR 3: AANBOD VAN VENTILATIELUCHT UIT DE MESTOPSLAG (VERDUND NAAR 10% LEL) EN VRAAG NAAR VERBRANDINGSLUCHT VAN DE DIVERSE APPARATUUR OP AARDGAS IN DE STAL EN HET BIJBEHORENDE WOONHUIS VOOR EEN STAL MET 80 MELKKOEIEN, WELKE IN DE ZOMER OP DE WEI STAAN.



FIGUUR 4: AANBOD VAN VENTILATIELUCHT UIT DE MESTOSLAG (VERDUND NAAR 10% LEL) EN VRAAG NAAR VERBRANDINGSLUCHT VAN DE DIVERSE APPARATUUR OP AARDGAS IN DE STAL EN HET BIJBEHORENDE WOONHUIS VOOR EEN STAL MET 4200 VLEESVARKENS.



FIGUUR 5: AANBOD VAN VENTILATIELUCHT UIT DE MESTOSLAG (VERDUND NAAR 10% LEL) EN VRAAG NAAR VERBRANDINGSLUCHT VAN DE DIVERSE APPARATUUR OP AARDGAS IN DE STAL EN HET BIJBEHORENDE WOONHUIS VOOR EEN STAL MET 550 FOKZEUGEN.

Uit de figuren 2 tot en met 5 blijkt dat de methaanvorming in mestopslagen veel te hoog is om te kunnen worden verwerkt in de verbrandingsinstallaties in of rond een normaal boerenbedrijf. Stallen voor fokzeugen met een relatief hoog energieverbruik per dier komen in de wintermaanden nog het dichtst in de buurt. In deze periode is het energieverbruik hoog, terwijl de kou de methaanvorming onderdrukt. Toch lijkt ook in deze periode de consumptie van verbrandingslucht slechts genoeg voor ongeveer een kwart tot de helft van de totale hoeveelheid ventilatielucht van de mestopslag (zie figuur 4). In de zomer daalt het energieverbruik fors en neemt de methaanvorming sterk toe. Gevolg is dat ook voor stallen met fokzeugen in de zomermaanden

den vraag en aanbod ver uit elkaar liggen. Jaargemiddeld kan voor een stal met fokzeugen naar schatting slechts 18% van de methaan uit de mestopslag worden verwerkt in de verbrandingsinstallatie op de boerderij zelf. Voor stallen met melkkoeien en vleesvarkens is dit zelfs nog een stuk lager (7 en 4%). Alleen wanneer de melkkoeien in de zomer in de wei staan is een rendement boven 10% mogelijk (13% om precies te zijn).

3.2.7 NOODZAAK HEAD-SPACE

Zowel het vrijkomen van methaan door de mestopslag als het gebruik van verbrandingslucht is een discontinu proces.

- In de mestopslag komt de methaan uit de mestopslag bubbelen. Bij mestopslagen met een drijvend dak, mestbassins of mestzakken hoopt de methaan zich op onder de afdichting, waarbij eens in de zoveel tijd een bel richting ontluchtingspunt drijft en dan ineens vrij komt. Onder een mestopslag met een spandak verloopt de concentratieopbouw wat gelijkmatiger.
- Een boiler of ketel zal niet altijd branden, maar zal van tijd tot tijd aanslaan. Boilers voor heetwatervoorziening in koeienstallen zullen bijvoorbeeld aanslaan, wanneer na het melken de voorraad aan heet water wordt aangesproken; ruimteverwarming springt, aangestuurd door een thermostaat, meestal wat frequenter aan.

De enige manier om methaan in verbrandingslucht te kunnen verwerken en tegelijkertijd er voor te zorgen dat de methaanconcentratie in de verbrandingslucht niet te veel schommelt (en daarbij niet boven de 10% LEL uitkomt), is het aanbrengen van een bufferruimte, waarin methaan en lucht kunnen worden voorgemengd. In bijlage 4 staan wat berekeningen aan zo'n bufferruimte weergegeven. Afhankelijk van wat aannames is de grootte van zo'n bufferruimte al snel enkele honderden m³. Voor mestbassins, mestzakken en mestsilo's met drijvende daken wordt een externe gasbuffertank noodzakelijk. Dit betekent een forse investering van naar schatting enkele tienduizenden Euro's (Dace, 2009), waardoor de maatregel vrijwel direct te duur wordt. Bij mestsilo's met spandak dit de bufferruimte in feite ingebouwd, doordat de head-space tussen de mest en spandak al snel enkele honderden m³ bedraagt. Om deze reden lijkt toepassing van ventilatielucht van een mestopslag vooral geschikt voor mestopslagen met spandak.

3.2.8 VOORBEHANDELING AFGASSEN MESTOPSLAG

De ventilatielucht van de mestopslag bevat naast methaan en CO₂ ook zekere hoeveelheden NH₃ en H₂S. Beide zijn stoffen, die problemen kunnen leveren in de verbrandingsinstallatie. NH₃ kan daarnaast zorgen voor een verhoogde NO_x-emissie van de verbrandingsinstallatie. Leveranciers van verbrandingsinstallaties hebben bezwaren tegen deze componenten in de verbrandingslucht (zie ook 3.2.5).

Bijlage 4 geeft een overzicht van technische mogelijkheden om NH₃ en H₂S te verwijderen. Bij conventionele technieken als chemische wassers, biotrickling-filters of adsorptiekolommen bedragen de totale kosten al snel minimaal € 5.000-8.000 per jaar voor een mestopslag van 3.500 m³ varkensmest en met een totale methaanproductie van 20 ton per jaar (zoals ongeveer het geval bij een stal van 4200 vleesvarkens).

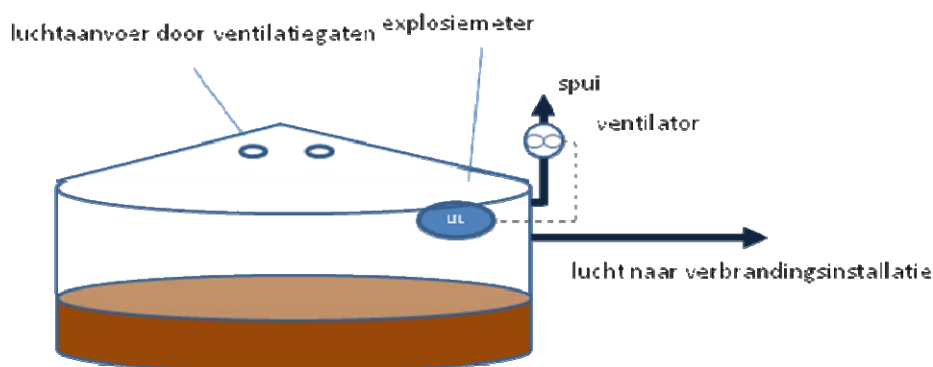
In de literatuur worden ‘low-cost’ systemen voorgesteld. Deze systemen zijn meestal gebaseerd op biologische omzetting van NH_3 en H_2S in een biofilter. De verblijftijd in een biofilter is hoog en daardoor is het benodigde systeem vrij groot. Ook is de standtijd van een biofilter beperkt tot naar schatting 50-100 dagen. In de praktijk zullen deze low-cost systemen dan waarschijnlijk ook niet echt low-cost uitpakken.

De € 5.000-8.000 per jaar is fors, vergeleken met wat de totale maatregel zou mogen kosten.⁶ Voorbehandeling van het afgas zou dus bij voorkeur moeten worden vermeden.

3.2.9 TECHNISCHE UITVOERING BIJ MESTOPSLAGEN

In de paragrafen hiervoor staan een aantal aspecten bediscussieerd die relevant zijn voor toepassing van ventilatielucht als verbrandingslucht. Hierdoor zijn de mogelijkheden voor implementatie erg beperkt. Eén van de weinige mogelijke technische uitvoeringen staat weergegeven in onderstaande figuur. In bijlage 7 staat het ontwerp in meer detail uitgewerkt.

Het ontwerp is gebaseerd op een mestopslag met spandak, met een totaal mestopslagvolume van 2000 m^3 . Dit is een mestopslag, welke geschikt zou kunnen zijn voor een stal met 3000 vleesvarkens. Hierbij wordt aangenomen dat een gasmotor van 200 kW_e zich bevindt op 30 meter van de mestopslag. De gasmotor heeft een luchtverbruik van ongeveer 600 m^3 per uur.



FIGUUR 6: SCHETS VAN EEN UITVOERING VAN TOEPASSING VENTILATIELUCHT

In het systeem wordt ventilatielucht onttrokken via een pijpleiding richting verbrandingsinstallatie. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de ventilator die in de verbrandingsinstallatie geïntegreerd is⁷. Door keuze voor een voldoende dikke leiding (minimaal 300 mm diameter) en een beperking van de lengte van de leiding (ongeveer

⁶ Als een mestopslag 20 ton methaan per jaar emitteert, is dit 500 ton CO_2 -eq. per jaar. Bij geaccepteerde kosten van bestrijding van CO_2 -emissies van € 20 per ton en 100% vermindering van methaanemissies, zou de totale emissiereductie maximaal 10.000 Euro per jaar mogen kosten.

⁷ In geval van een gasmotor is geen sprake van een ventilator, maar wordt lucht aangezogen door de cilinders, via de bijbehorende kleppen.

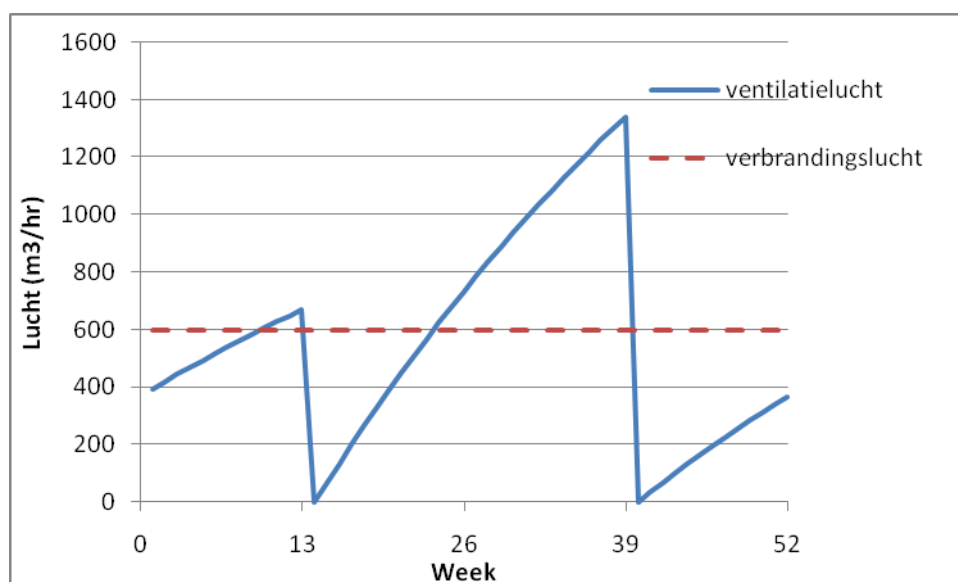
30 meter), kan de drukval worden beperkt *tot iets* in de orde grootte van 100 Pa, waardoor de werking van de verbrandingsinstallatie niet wordt beïnvloed. Voor grotere afstanden, zou de ventilator van de verbrandingsinstallatie moeten worden aangepast. Dit vereist medewerking van de leverancier van de verbrandingsinstallatie en gaat tegen meerkosten (al snel naar schatting enkele duizenden Euro's).

Er wordt vanuit gegaan dat geen voorbehandeling noodzakelijk is voor toepassing van het afgas. Dit is een discutabele aanname, omdat leveranciers van verbrandingsinstallaties het liefst ieder spoor van NH_3 en H_2S lijken te willen vermijden. En zelfs als de afgeleide H_2S -normen in Tabel 2 worden geaccepteerd, voldoet het ventilatiegas voor toepassing in een gasmotor dan waarschijnlijk nog niet aan de hier gestelde H_2S -eisen.⁸ Als voorbehandeling noodzakelijk is, dan leidt dit tot meerkosten, maar ook tot extra drukval in de orde grootte van 100 tot 300 Pa.

Het methaangehalte in de ventilatielucht wordt bewaakt door een explosiemeter, die een ventilator aanstuurt. Wanneer de methaanconcentratie de 10% LEL overschrijdt, springt de ventilator aan en wordt een deel van de lucht uit de head-space van de mestopslag gespuid. De capaciteit van de ventilator is zodanig gekozen dat ook bij de verwachte maximale methaanvorming de methaanconcentratie in de tank stabiel onder 10% LEL kan worden gehouden.

3.2.10 EFFECTIVITEIT VAN DE MAATREGEL

De effectiviteit van het hierboven beschreven systeem staat weergegeven in onderstaande figuur. De overall effectiviteit van het systeem is 77%. De totale methaanvorming is 17 ton per jaar; de emissiereductie bedraagt 13 ton methaan per jaar.



FIGUUR 7: EFFECTIVITEIT VAN HET HIERBOVEN BESCHREVEN SYSTEEM

⁸ Zoals hiervoor beschreven is voor NH_3 geen norm af te leiden. In deze analyse wordt ervan uit gegaan dat de eis voor NH_3 in dezelfde orde grootte ligt als de eis voor H_2S .

In het algemeen wordt de effectiviteit van de maatregel bepaald door drie factoren:

- De effectiviteit, waarmee de methaan wordt omgezet, zodra dit inderdaad met de verbrandingslucht mee in de boiler, ketel of gasmotor terecht komt. In boilers en ketels zal het verwijderingsrendement ruim 99,5% zijn. In geval van een verbrandingsmotor wellicht wat minder, maar nog steeds ruim 98%;
- De mate waarin de methaan uit de mestopslag kan worden verwerkt in een verbrandingsinstallatie op of dichtbij het boerenbedrijf. Voor stallen voor fokzeugen is de situatie het meest gunstig en kan naar schatting 18% worden verwerkt. Alleen in situaties waar een grotere verbrandingsinstallatie aanwezig is, lijkt een hoger rendement mogelijk. Bijvoorbeeld op boerderijen waar ook mest wordt vergist en waar het geproduceerde biogas wordt gebruikt voor energieopwekking. Een gasmotor van 250 kW_e bijvoorbeeld heeft een vraag naar verbrandingslucht van ongeveer 750 m³ per uur. Hiermee kan een groot deel van de ventilatielucht van een mestopslag worden verwerkt.⁹
- De implementatiegraad is de hoeveelheid bedrijven waar de maatregel implementeerbaar lijkt. Dat zijn dus boerenbedrijven met een mestsilo met spandak, en met een grotere verbrandingsinstallatie (bijvoorbeeld een 250 kW_e gasmotor) op maximaal enkele tientallen meters afstand. Dat zal hooguit op een beperkt aantal plaatsen het geval zijn.

3.2.10 OVERIGE MILIEUEFFECTEN

- *Geur*

Met de omzetting van NH₃, H₂S, mercaptanen maar ook van specifieke organische verbindingen wordt de geurhinder van een mestopslag vrijwel geheel vermeden.

- *Verzuring en vermesting*

Het effect op verzuring en vermesting is tweeledig:

- De hoeveelheid NH₃ die uit de mest vrijkomt wordt mede bepaald door een evenwicht tussen NH₃ in de mest en de NH₃ in de lucht direct daarboven. Door afdichting van de opslag wordt afvoer van NH₃ uit de lucht voorkomen en de emissie verminderd. Doordat ventilatielucht uit de mestopslag wordt onttrokken, zal veel meer NH₃ uit mestopslag ontwijken. Dit effect is echter niet te kwantificeren;
- Bij verbranding wordt een belangrijk deel van de NH₃ (waarschijnlijk > 80%) omgezet naar N₂ (zie bijlage 6). Bij een normale mestopslag wordt alle NH₃ naar de atmosfeer geëmitteerd, daar omgezet naar NO_x, of met de regen uitgespoeld naar de bodem. Ook de gevormde NO_x wordt met regen uitgespoeld en leidt uiteindelijk tot verzuring en vermesting. Verbranding van de ventilatielucht levert hier dus een belangrijke reductie van verzuring en vermesting.

Het overall effect op verzuring en vermesting is daarmee onduidelijk.

⁹ Hierbij moet weer worden opgemerkt dat juist gasmotoren een beperkte tolerantie hebben voor H₂S (zie tabel 2).

- *Broeikaseffect (lachgas)*

Er is geen toename van lachgasemissies te verwachten (zie bijlage 6).

3.2.11 SAMENVATTING TECHNISCHE HAALBAARHEID

Toepassing van ventilatielucht van mestopslagen als verbrandingslucht heeft een drietal problemen, die overwonnen moeten worden:

Voor een normale stal is het aanbod van methaan veel hoger dan wat met de verbrandingslucht kan worden verwerkt. Het verwachte rendement van de maatregel blijft beperkt tot 18% in het meest gunstige geval. Alleen in hele specifieke situaties, wanneer bijvoorbeeld andere grote verbrandingsinstallaties zich op het terrein bevinden, dan zou de maatregel het overwegen waard zijn.

Afhankelijk van de verbrandingsinstallatie en van de samenstelling van het ventilatiegas zal een voorbehandeling van het gas moeten plaatsvinden. Conventionele methoden voor H₂S en NH₃ zorgen ervoor dat de maatregel niet kosteneffectief wordt. De toepasbaarheid van wat meer experimentele maatregelen, gebaseerd op afvalstoffen lijkt beperkt. Deze technieken lijken in de praktijk niet wezenlijk goedkoper dan bewezen technologieën. Toepassing van ventilatielucht lijkt daardoor beperkt tot verbrandingsinstallaties met minder stringente aan H₂S en NH₃.

Een discontinuïteit van zowel de manier waarop de methaan vrijkomt als het gebruik van verbrandingslucht, maakt een mengkamer/luchtbuffer noodzakelijk. Mestsilo's met een spandak hebben een 'head-space' in de ruimte tussen mest en spandak en dit kan worden gebruikt als luchtbuffer. Voor de andere systemen voor mestopslag zal een aanvullende investering nodig zijn, waardoor het systeem niet kosteneffectief zal zijn.

3.3 ECONOMISCHE HAALBAARHEID

3.3.1 KOSTEN MAATREGEL PER MESTOPSLAG

De investeringskosten van het systeem, als weergegeven in Figuur 6 en verder uitgewerkt in Bijlage 7 bedragen naar schatting in totaal zo'n € 8000,- :

LEL-meter:	€ 600,-
Ventilator (1200 m ³ /hr):	€ 2000,-
Aanpassing mestopslag, aansluitingen, elektra:	€ 2000,-
Luchtaanvoer via pijpleiding (250 mm diameter) over 30 m:	€ 2500,-

Operationele kosten zijn er vooral voor controle en onderhoud aan de LEL-meter en de ventilator. Deze kosten zijn voor deze veiligheidsgerelateerde onderdelen relatief vrij hoog en zullen in de orde grootte van € 1000,- per jaar zijn. Verdere onderhoudskosten zijn niet te verwachten.

Wanneer de investering op annuïtaire wijze wordt afgeschreven over 10 jaar en bij een rentestand van 10%, zijn de totale kosten per jaar van de maatregel € 2300,-.

Wanneer aanpassingen aan de verbrandingsinstallatie noodzakelijk zijn (bijvoorbeeld andere compressor), dan komen daar extra investeringskosten bij van naar schatting 2000-4000 Euro. Voor onderhoud van de installatie heeft dit geen extra consequenties bovenop het normale onderhoud.

Wanneer gasvoorbehandeling noodzakelijk wordt, worden de extra investeringen naar schatting 20.000-40.000 Euro hoger. De goedkopere systemen voor gasbehandeling hebben daarbij aanzienlijk hogere operationele kosten. Jaarlijkse kosten voor afgasbehandeling (inclusief afschrijving en rente op de investering) zullen in de orde grootte van 5.000-8.000 Euro per jaar zijn.

Wanneer de verbrandingsinstallatie op grotere afstand van de mestopslag staat, dan is een langere pijpleiding noodzakelijk, maar ook een leiding met grotere diameter. De kosten voor de pijpleiding worden dan snel dominant. Kosten voor een 100 meter pijpleiding met een diameter van 315 mm bedragen zo'n 14.000 Euro.

3.3.2 KOSTENEFFECTIVITEIT

De jaarlijkse emissiereductie in het voorbeeld in Figuur 6 is 13 ton methaan. Dit komt overeen met een emissiereductie van 325 ton CO₂-eq. De kosteneffectiviteit van dit meest simpele systeem (zonder aanpassingen aan de verbrandingsinstallatie en zonder gasvoorbehandeling) is 7 Euro per ton CO₂-eq.

Aanpassing aan de verbrandingsinstallatie met kosten in de orde grootte van 2000-4000 Euro, maakt de kosteneffectiviteit van de maatregel 1 tot 2 Euro per ton CO₂-equivalenten ongunstiger.

Wanneer voorbehandeling van het afgas noodzakelijk wordt, stijgt de kosteneffectiviteit van de maatregel tot ver boven de 20 Euro per ton CO₂-equivalenten en wordt daarmee ongunstig.

Gastransport over 100 meter via een pijpleiding met navenant grotere diameter verhoogt de kosteneffectiviteit met 5 Euro per ton CO₂-eq.

N.B. De kosteneffectiviteit beneden € 20 per ton CO₂-equivalenten zal voor de periode 2010-2020 als gunstig worden beschouwd. Ter referentie: het compenseren van CO₂-emissies door inkoop van gecertificeerde emissierechten (bijvoorbeeld bosaanplant in de tropen, Gold Label gecertificeerd) kost momenteel 20 Euro per ton CO₂-equivalenten. De industriële prijs voor verhandeling van CO₂-rechten heeft lang rond de € 20 per ton CO₂-gehangen, is momenteel als gevolg van de recessie weliswaar gedaald, maar zal ongetwijfeld weer stijgen zodra de wereldeconomie weer aantrekt. En bijvoorbeeld grootschalige afscheiding en opslag van CO₂ kost naar schatting € 50 per ton CO₂.

3.3.3. MARKTPOTENTIEEL

De toepasbaarheid van deze maatregel is beperkt tot mestilo's met een spandak bij boerderijen waar een grote consument van aardgas op zeer korte afstand bevindt (bijvoorbeeld een 250 kW_e gasmotor binnen 30 à 100 meter van de opslag). Het aantal boerderijen waar dat het geval is, zal zich hooguit beperken tot enkele tientallen

in Nederland. In Nederland hebben we tienduizenden mestopslagen en daarmee is het potentieel van de maatregel minder dan 1%.

3.4 ORGANISATIE

Het huidige projectteam van OonKAY! en PAS Mestopslagsystemen lijkt goed in staat om het idee op haalbaarheid te beoordelen en eventueel te vercommercialiseren. Gezien het beperkte marktpotentieel wordt echter afgezien van verdere inspanningen hier. Wel willen de projectpartners met AgentschapNL nadenken over mogelijkheden om de resultaten van dit project breder bekend te maken, waardoor gebruik kan worden gemaakt van de in dit project opgedane kennis, mocht het idee in een specifieke situatie toch mogelijk lijken.

3.5 TOEGEVOEGDE WAARDE VOOR DE SAMENLEVING

Het beschreven systeem lijkt een kosteneffectieve methode om methaanemissies van mestopslagen te verwijderen, op voorwaarde dat het systeem simpel kan worden gehouden.

De toepasbaarheid van deze maatregel is beperkt tot mestilo's met een spandak bij boerderijen waar een grote consument van aardgas op zeer korte afstand bevindt (bijvoorbeeld een 250 kW_e gasmotor binnen 30 à 100 meter van de opslag). Het aantal boerderijen waar dat het geval is, zal zich hooguit beperken tot enkele tientallen in Nederland. In Nederland hebben we tienduizenden mestopslagen en daarmee is het potentieel van de maatregel minder dan 1% van de totale Nederlandse emissies uit dierlijke mest van 2,7 Mton CO₂-eq.

4. CONCLUSIES EN VERVOLG

Op zich lijkt het beschreven systeem wel een kosteneffectieve methode om methaanemissies van mestopslagen te verwijderen, op voorwaarde dat het systeem simpel kan worden gehouden. De kosteneffectiviteit is dan ongeveer 7 Euro per ton CO₂-equivalenten en dat is laag in vergelijking met andere maatregelen voor broeikasgasemissiereductie.

Toepassing van ventilatielucht van mestopslagen als verbrandingslucht heeft echter een drietal technische problemen, die overwonnen moeten worden:

- Voor een normaal boerenbedrijf is het aanbod van methaan vele malen hoger dan wat met de verbrandingslucht kan worden verwerkt. Voor stallen voor fokzeugen is de situatie het meest gunstig, maar ook hier kan naar schatting slechts 18% van de ventilatielucht in de verbrandingsinstallatie worden verwerkt;
- De toepasbaarheid van deze maatregel is beperkt tot mestsilos met een spandak bij boerderijen waarbij een grote consument van aardgas of biogas op zeer korte afstand (30-100 meter) van de mestopslag aanwezig is. Voorbeeld is een 250 kW_e gasmotor, waarbij moet worden opgetekend dat een gasmotor nou net strenge eisen stelt aan het H₂S-gehalte van de lucht.
- Toepassing van ventilatielucht is beperkt tot verbrandingsinstallaties met minder stringente aan H₂S en NH₃. Technisch is het mogelijk om H₂S en NH₃ te verwijderen, maar dit gaat gepaard met hoge kosten, waardoor de gehele maatregel niet meer als kosteneffectief kan worden beschouwd. De toepasbaarheid van wat meer experimentele maatregelen, gebaseerd op afvalstoffen lijkt beperkt. Deze technieken lijken in de praktijk niet wezenlijk goedkoper dan bewezen technologieën.

Naast een reductie van CH₄, zal de maatregel ook geuremissies van de mestopslag reduceren. De verbrandingsinstallatie zet naar schatting ruim 80% van de ammoniak om naar N₂. De NO_x-vorming blijft beperkt tot 20%. Hierdoor kan de maatregel een bijdrage leveren aan reductie van verzurende emissies, ware het niet dat door onttrekking van grote hoeveelheden ventilatielucht ook meer NH₃ uit mestopslag ontwijken. Het overall effect op verzuring en vermesting is daarmee onduidelijk. Er is geen toename van lachgasemissies te verwachten.

Het marktpotentieel is dus zeer beperkt en om die reden zien OonKAY! en PAS Mestopslagsystemen af van verdere ontwikkeling en commercialisatie. Wel willen de projectpartners met AgentschapNL nadenken over mogelijkheden om de resultaten van dit project breder bekend te maken, waardoor gebruik kan worden gemaakt van de in dit project opgedane kennis, mocht het idee in een specifieke situatie toch mogelijk lijken.

REFERENTIES

CTC (2002): C30 Biogas Spec-Sheet , Capstone Turbine Corporation (2002), Chatsworth, CA.

Cardenas-Gonzalez, B., S. J. Ergas, et al. (1999). "Characterization of Compost Biofiltration Media." Journal of the Air and Waste Management Association

Dace (2009): Prijzenboekje editie 27, Dutch association of cost engineers, Doetinchem.

Emissieregistratie (2010): database beschikbaar via www.emissieregistratie.nl.

Hoek K.W. van der, Schijndel M.W. van (2006): Methane and nitrous oxide emissions from animal manure management, 1990 – 2003, Background document on the calculation method for the Dutch National Inventory Report, RIVM report 680125002/2006, RIVM, Bilthoven.

IPCC (2007): Fourth Assessment Report, Climate Change 2007.

KWIN-V (2009), Kwantitatieve informatie veehouderij, 2009-2010, Livestock research, Universiteit Wageningen.

McKinsey-Zicari S. (2003): Removal of hydrogen sulphide from biogas using cowmanure compost, Thesis Cornell University, New York, USA.

Melse R., (2003): Biologisch filter voor verwijdering van methaan uit lucht van stallen en mestopslagen, Agrotechnology and Food Innovations B.V., Wageningen.

PBL, 2010: Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2008, PBL report 500080017 / 2010, PBL, Bilthoven.

Olivier, J.G.J., L.J. Brandes, R.A.B. te Molder, 2009: Estimate of annual and trend uncertainty for Dutch sources of greenhouse gas emissions using the IPCC Tier 1 approach. PBL Report 500080013, PBL, Bilthoven.

SenterNovem: Informatieblad stooktechnologie (via: http://www.senternovem.nl/mmfiles/ee09%20-%20Stooktechnologie_tcm24-272946.pdf)

Strik D.P.B.T.B., Domnanovich A.M., Holubar P. (2006): A pH-based control of ammonia in biogas during anaerobic digestion of artificial pig manure and maize silage, Process Biochemistry, vol. 41, pp. 1235–1238 .

Wellinger, A. Linberg (2000): Biogas Upgrading and Utilization - IEA Bioenergy Task 24, International Energy Association, Paris, France.

BIJLAGE 1: VORMING AFGASSEN IN MESTOPSLAGEN

B1.1 METHAANVORMING IN MESTOPSLAGEN

ONTSTAAN

Methaan wordt gevormd vanuit organisch materiaal mest door bacteriologische activiteit onder anaerobe omstandigheden. Hierbij ontstaat methaan uit organisch materiaal, zoals hemicellulose ($C_6H_{12}O_5$)_x en cellulose ($C_6H_{12}O_6$)_x, via de overall (en versimpelde) reactie:



Zoals alle biologische processen is ook methaanvorming uit mest temperatuurafhankelijk. De methaanvorming piekt bij temperaturen tussen de 35 en 40 °C en neemt daaronder af. Daarnaast kan de methaanvorming worden geremd door aanwezigheid van te hoge concentraties aan inhibitoren. Ammoniak (NH_4^+) is voor mest een relevante inhibitor en remt methaanvorming vanaf concentraties hoger dan 2500 mg l⁻¹ (bijvoorbeeld Hashimoto, 1986).

KWANTIFICERING VAN METHAANVORMING

In het kader van internationale afspraken over broeikasgasemissies en doelstellingen voor emissiereductie, dienen landen jaarlijks hun broeikasgasemissies te kwantificeren. De manier waarop de Nederlandse schattingen wordt gemaakt, is beschreven door Van der Hoek en van Schijndel (2006). Methaanemissies uit mestopslagen worden ingeschat, op basis van:

$$\text{methaanemissie} = \text{aantal dieren} * \text{mestproductie per dier} * \text{emissiefactor}$$

De emissiefactor (EF in kg methaan per m³ mest) wordt per diersoort berekend als:

$$EF = OM * B_0 * MCF * 0.662$$

OM is hierin het gehalte aan droge organische stof (kg per kg mest); B₀ hierin is de uiteindelijke methaanvorming per kg organische droge stof (jn m³ per kg); MCF is de methaancorrectiefactor en geeft aan welk deel van het potentieel in werkelijkheid vrijkomt (dimensieloos); 0,662 is het soortelijk gewicht van methaan (kg m⁻³). De MCF hangt af van het soort dier, de soort mestopslag, de duur van de opslag maar ook van het seizoen waarin de mest is opgeslagen. Van der Hoek en van Schijndel geven een schatting van de jaargemiddelde MCF.

Tabel B1.1 geeft de parameters weer, waarmee van der Hoek en van Schijndel (2006) de jaargemiddelde methaanvorming in mestopslagen kwantificeren.

TABEL B1.1: PARAMETERS VOOR BEREKENING VAN JAARGEMIDDELTE METHAANEMISSIONS UIT MESTOPSLAGEN (VAN DER HOEK EN VAN SCHIJNDEL, 2006).

	mestproductie (ton/dier/jaar) ¹	VS (kg/ton)	B ₀ (m ³ CH ₄ kg ⁻¹ VS)	MCF
Melkkoeien	19,5	64	0,25	0,17
Vleesvarkens	1,2	60	0,34	0,34
Fokzeugen	5,1	35	0,34	0,34

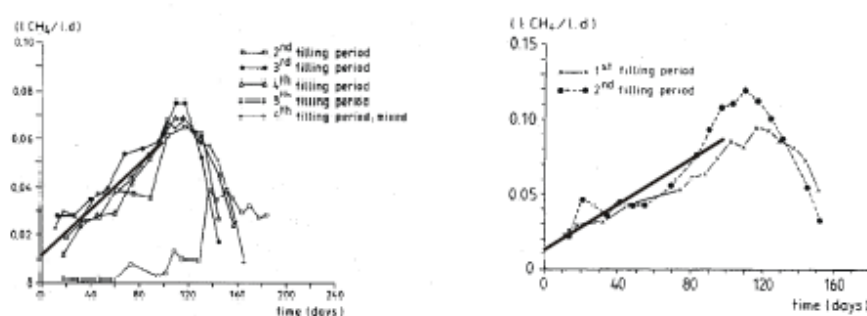
¹⁾Inclusief spoelwater

DYNAMISCH GEDRAG

De methaanemissies uit Van der Hoek en van Schijndel (2006) zijn jaargemiddelde emissies. In werkelijkheid zijn de methaanemissies uit een mestopslag gedurende het jaar niet constant, vooral om twee redenen:

- Allereerst varieert de hoeveelheid mest in de opslag ligt. Het aanbod van mest hangt af van de bezetting van de stallen en die is niet altijd constant. Daarnaast vindt zo nu en dan afvoer van mest plaats, vooral tijdens de mestperioden in het voorjaar en najaar;
- De omstandigheden van de mest in opslag variëren met het seizoen. Vooral de temperatuurvariatie is daarbij van belang. De temperatuur van de mest bepaalt de snelheid waarmee de methaanvorming plaatsvindt. Een stijging van de temperatuur van 10 °C kan biologische processen met een factor 2 tot 4 sneller laten verlopen.

Universiteit Wageningen heeft gewerkt aan een dynamisch model voor emissies uit mestopslagen. Dit model, REM (Reductie Emissies uit Mest), is beschreven door de Mol en Hilhorst (2003). De methaanvorming per m³ mest is niet constant, maar neemt toe in de tijd, omdat bacteriepopulatie zich tijdens de opslag ontwikkelt. De lineaire toename van de methaanvorming in de tijd is hierbij gebaseerd op experimenten van Zeeman et al. (1991).



FIGUUR B1.1: METHAANVORMINGSSNELHEID IN EXPERIMENTEN MET RUNDERMEST (LINKS) EN VARKENSMEST (RECHTS) BIJ 15 °C (ZEEMAN, 1991)

Binnen REM wordt de temperatuurafhankelijk van het proces slechts summier beschreven. Onderscheid wordt gemaakt tussen het zomerseizoen (juni t/m september) en de rest van het jaar, waarbij de methaanvorming in het zomerseizoen twee keer zo snel verloopt als die in de rest van het jaar.

De resultaten van Zeeman et al. (1991) lijken echter ook te kunnen worden verklaard door de simpele aanname dat methaanvorming een eerste-orde proces is, waarbij de methaanvorming afhangt van de hoeveelheid biodegradeerbaar materiaal dat actueel aanwezig is (Zeeman, 2004), of om in termen van het model van Van der Hoek en van Schijdel (2006) te blijven:

$$\text{Methaanvorming} = k * OM * B$$

waarin $OM*B$ het actuele methaanpotentieel van de mest beschrijft. Dus het oorspronkelijk aanwezige methaanpotentieel in de mest (B_0), maar dan gecorrigeerd voor dat deel dat al is weggereageerd.

Op basis van deze eerste-orde reactie is een computermodel gemaakt dat het methaanpotentieel en actuele methaanvorming beschrijft van een mestopslag. Door in dit model de aannamen van Van Der Hoek en van Schijdel (2006) te verwerken, zijn de waarden van k worden berekend, waarbij de jaargemiddelde MCF gelijk is aan de waarden in Tabel B1.1. De aannamen in Van Der Hoek en van Schijdel zijn:

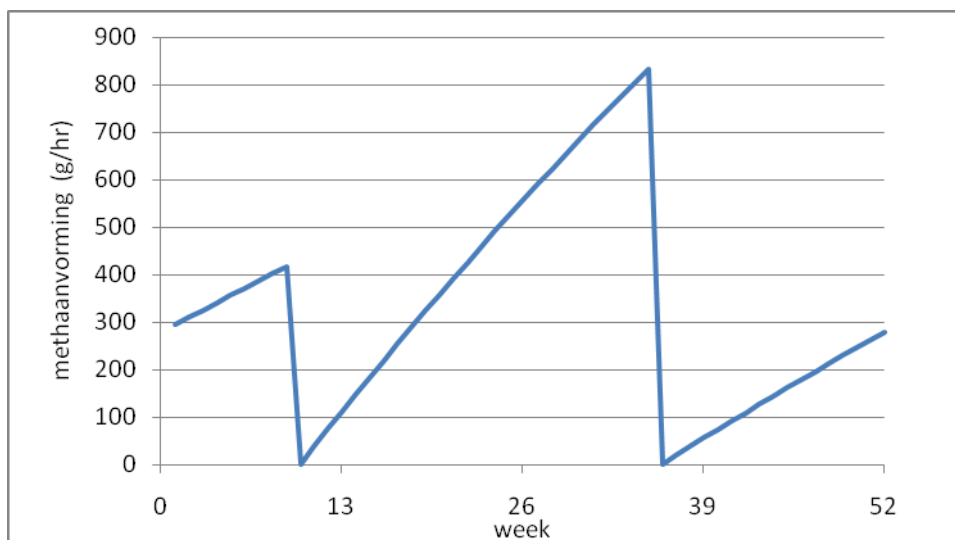
- De mestopslag wordt begin maart en begin september geheel gelegeerd;
- Mest geproduceerd in de periode september-december, wordt eerst opgeslagen in de stal. Begin januari is de binnenopslag vol en wordt een deel van de mest naar een buitenopslag gepompt. Mest, geproduceerd in de periode januari-februari wordt gewoon weer binnen opgeslagen. Het verschil tussen binnen en buitenopslag is relevant omdat de opslag binnen bij iets hogere temperatuur plaatsvindt;
- In de zomermaanden loopt 50% van het rundvee buiten. De mest die hier geproduceerd wordt komt niet in opslag. De overige mest wordt binnen opgeslagen. Varkens blijven de gehele zomer binnen. 10% van de mest in de zomer geproduceerd wordt meteen uitgereden.
- De methaanvorming uit mest is in de winter de helft van de methaanvorming in de zomer.

Bij deze aannamen komen de k -waarden uit Tabel B1.2 overeen met de jaargemiddelde MCF's uit Tabel B1.1.

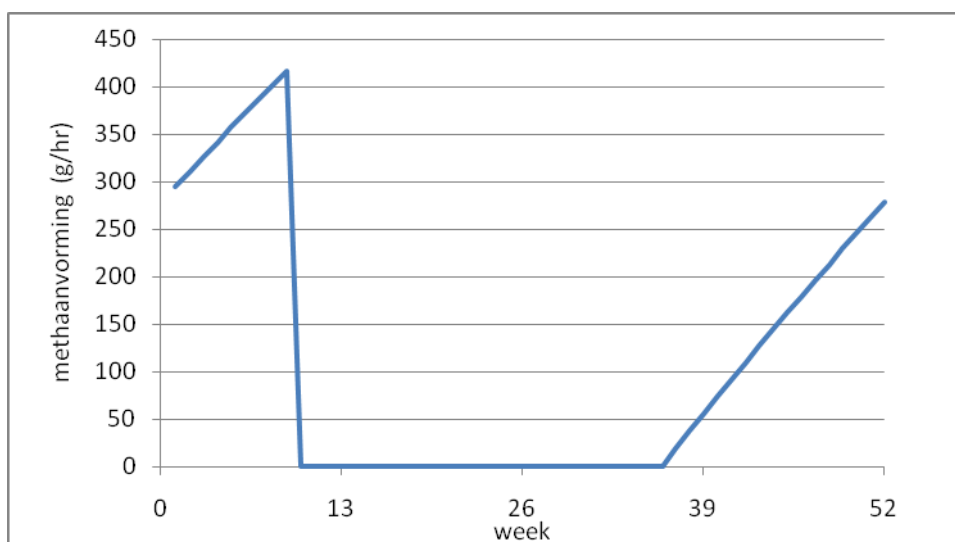
TABEL B1.2: WAARDEN VOOR k (1/DAG)

	k- winter	k-zomer
Rundvee	0,0014	0,0028
Varkens	0,0031	0,0061

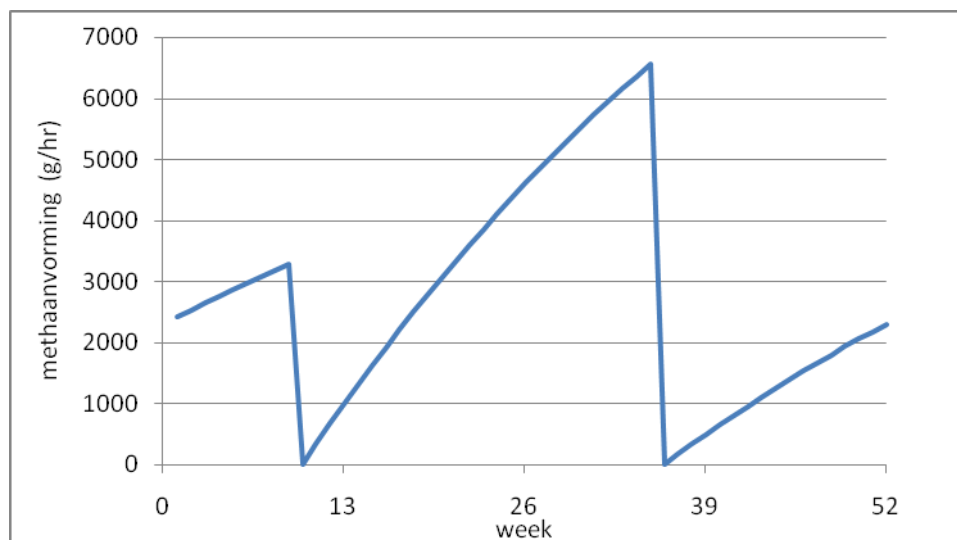
Hiermee zijn de k -waarden vastgelegd en kan het computermodel de methaanemissies uit mestopslag berekenen van iedere stal worden berekend. De invoerparameters van het model zijn: het soort dieren en het aantal dieren; het deel van de aanwezige dieren die in de zomer- en wintermaanden op stal staan; het deel van de mest dat in opslag gaat en de momenten dat een mestopslag geheel of gedeeltelijk wordt gelegeerd. Een aantal voorbeelden wordt gegeven in de figuren hieronder.



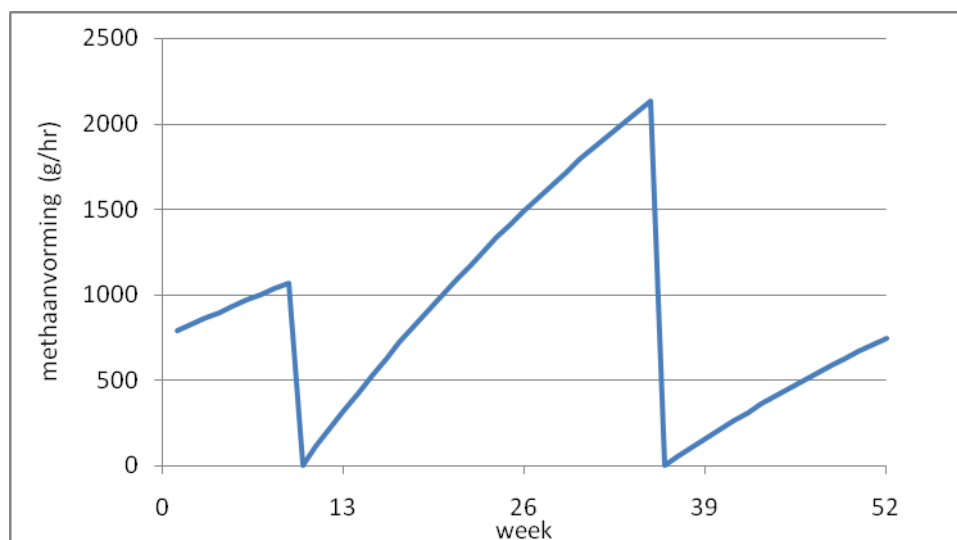
FIGUUR B1.1: METHAANVORMING UIT MESTOPSLAG BIJ EEN STAL VOOR 80 MELKKOEIEN, WAARBIJ DE BEESTEN IN DE ZOMER OP STAL BLIJVEN EN WAARBIJ DE MEST IN DE MAAND MAART EN SEPTEMBER VOLLEDIG WORDT AFGEVOERD.



FIGUUR B1.2: METHAANVORMING UIT MESTOPSLAG BIJ EEN STAL VOOR 80 MELKKOEIEN, WAARBIJ DE BEESTEN IN DE ZOMER IN DE WEI STAAN EN WAARBIJ DE MEST IN DE MAAND MAART EN SEPTEMBER VOLLEDIG WORDT AFGEVOERD.



FIGUUR B1.3: METHAANVORMING UIT MESTOPSLAG BIJ EEN STAL VOOR 4200 VLEESVARKENS, WAARBIJ DE MEST IN DE MAAND MAART EN SEPTEMBER VOLLEDIG WORDT AFGEVOERD.



FIGUUR B1.4: METHAANVORMING UIT MESTOPSLAG BIJ EEN STAL VOOR 550 FOKZEUGEN, WAARBIJ DE MEST IN DE MAAND MAART EN SEPTEMBER VOLLEDIG WORDT AFGEVOERD.

B3.2 AMMONIAKVORMING EN EMISSIES

ONTSTAAN

Ammoniak wordt gevormd uit dierlijke mest vanuit de ureum (bij kippen vooral ureumzuur) in de urine van de dieren. Dit is een microbiologisch proces onder invloed van het enzym urease (Oenema et al., 2000). De snelheid waarmee de gevormde ammoniak vervolgens vervluchtigt hangt af van de ammoniakconcentratie in de mest, het uitwisselend oppervlak en de uitwisseling tussen mest en atmosfeer (afhankelijk van luchtsnelheid, ruwheid oppervlak en temperatuur).

METHODIEK

In Van der Hoek (2002) worden negen diercategorieën onderscheiden. Bij rundvee wordt daarbij onderscheid gemaakt naar de regio (noordwest of zuidoost) en naar stal- of weideperiode. De regio heeft invloed op de N-excretie en op de weideperiode. Verder wordt er onderscheid gemaakt naar stalsysteem (bijv. loop- of grupstal bij melkvee) en opslag binnen of buiten de stal. Per stalsysteem geldt een emissiefactor. Bij opslag wordt onderscheid gemaakt naar open of overdekt (97% bij rundvee) en er zijn separate emissiefactoren voor open en overdekt.

TABEL B1.3: EMISSIEFACTOREN VOOR VERSCHILLENDE DIERSOORTEN (VAN DER HOEK, 2002)

	excretie (kg N/dier/jr)	vervluchtigingsfactor afgedekt (%)
Melkkoeien	60-73	0,96
Stalvleesvee	45	0,96
Fokzeugen	31	1,66
Vleesvarkens	13	2,36

In deze haalbaarheidsstudie wordt verder aangenomen dat ammoniakemissie gelijk op loopt met de methaanvorming. De verhouding methaan vs. ammoniak is dus een constante. Deze aanname is wel een gerechtvaardigde omdat het strippen met de gevormde methaan waarschijnlijk een belangrijk mechanisme is, waarmee de ammoniak uiteindelijk vrijkomt.

TABEL B1.4: METHAAN EN AMMONIAKVORMING VOOR VERSCHILLENDE DIERSOORTEN (VAN DER HOEK, 2002)

	methaanvorming (kg/dier/jr)	NH ₃ -vorming (kg/dier/jr)	kg NH ₃ per kg CH ₄
Melkkoeien	29	0,78	0,027
Stalvleesvee		0,52	
Fokzeugen	14	0,62	0,044
Vleesvarkens	5,6	0,37	0,066

LACHGAS

Lachgas (N₂O) kan worden gevormd door nitrificatie en denitrificatie van N in de mest. De mate waarin dit gebeurt hangt af van het zuurstofgehalte in de mest en de C/N-verhouding van de mest. Er zijn niet of nauwelijks metingen beschikbaar op basis waarvan N₂O-emissies kunnen worden ingeschat (Groenestijn et al., 2008). Oenema et al. (2000) geven aan dat dunne mest vrijwel zuurstofloos is en een lage C/N verhouding heeft. Als gevolg daarvan is de N₂O-vorming laag en wordt naar schatting maximaal 0,1% omgezet naar N₂O. Bij vaste mest is de kans op indringing van zuurstof wat groter en zou 2% kunnen worden omgezet naar N₂O.

H₂S

Uit de mest komt ook H₂S en andere zwavelhoudende componenten als mercaptanen vrij. Deze dragen bij aan de geuroverlast van een mestopslag. Bovendien is H₂S

in hogere concentraties gevaarlijk voor de gezondheid. H₂S wordt dan ook vooral in verband gebracht met gezondheidsrisico's voor mensen die onderhoud of andere werkzaamheden plegen aan een mestopslag (bijvoorbeeld Chénard et al., 2003). H₂S-emissies uit mestopslagen worden niet gekwantificeerd, ondanks dat H₂S-emissies bijdragen aan de verzuring. Typische concentraties van H₂S in biogas gevormd door mestvergisting zijn veelal ver beneden de 1 vol%, bij methaanconcentraties van 50 à 60 vol%. Het afgas van een mestopslag zal hier sterk op lijken en op basis daarvan kan een schatting van het H₂S-gehalte worden gemaakt van maximaal 2% kan zijn van de methaanemissies (op volumebasis), oftewel maximaal 4% op gewichtsbasis (maximaal 0,025 g H₂S per g CH₄).

REFERENTIES BIJ BIJLAGE 1

- Chénard L, Lemay SP, Laguë C. (2003): Hydrogen sulfide assessment in shallow-pit swine housing and outside manure storage. *J. Agric. Saf. Health.*, Vol 9(4):pp. 285-302.
- Groenestein C.M. van Bruggen C. Hoeksma P. Jongbloed A.W. Velthof G.L. (2008): Nadere beschouwing van stalbalansen en gasvormige stikstofverliezen uit de intensieve veehouderij rapport 60, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Universiteit Wageningen.
- Hashimoto A.G. (1986): Ammonia inhibition of methanogenesis from cattle wastes, *Agricultural Wastes*, Vol. 17(4), pp. 241-261.
- Hoek K.W. van der (2002): Uitgangspunten voor de mest- en ammoniakberekeningen 1999 tot en met 2001, zoals gebruikt in de milieubalans 2001 en 2002, inclusief dataset landbouwemissies 1980-2001, RIVM rapport 773004013/2002, RIVM, Bilthoven.
- Hoek K.W. van der, Schijndel M.W. van (2006): Methane and nitrous oxide emissions from animal manure management, 1990 – 2003, Background document on the calculation method for the Dutch National Inventory Report, RIVM report 680125002/2006, RIVM, Bilthoven.
- Mol R.M de., Hilhorst M.A. (2003): Methaan-, lachgas- en ammoniakemissies bij productie, opslag en transport van mest, IMAG-rapport 2003-03, IMAG, Wageningen.
- Oenema, O., Velthof G.L., Verdoes N., Groot Koerkamp P.W.G., Monteny G.J., Bannink A., van der Meer H.G., van der Hoek K.W. (2000): Forfaitaire waarden voor gasvormige stikstofverliezen uit stallen en mestopslagen. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, Alterra-rapport 107, gewijzigde druk, ISSN 1566-7197.
- Pellerin R.A., Walker L.P. (1987): biogas cogeneration operating experience with a dairy farm plug flow digester, *transactions of the ASAE* 3(2), pp. 303-313, quoted in:

McKinsey-Zicari S., removal of hydrogen sulphide from biogas using cow-manure compost, Thesis Cornell University, New York, USA.

Zeeman G. (1991): Mesophilic and psychrophilic digestion of liquid manure. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, 3 mei 1991.

Zeeman G. (1994): Methane production/emission in storages for animal manure, Fertilizer Research, Vol. 37, pp. 207-211.

BIJLAGE 2. DEFINITIE REFERENTIE MESTOPSLAGEN

Zoals beschreven in de inleiding is het merendeel van de methaanemissies uit mestopslagen afkomstig van melkvee, vleesvarkens en fokzeugen. Voor deze drie diercategorieën worden daarom referentieopslagen gedefinieerd. Het ontwerp en de evaluatie van methaanemissiereductie in deze haalbaarheidsstudie is gebaseerd op mestopslagen, behorend bij de modelstallen, als beschreven in KWIN-V (2009)¹:

Voor melkvee wordt uitgegaan van grupstal met 80 melkkoeien. De mestproductie van deze stal is ongeveer 1600 m³ per jaar. Indien wordt uitgegaan van een mestopslagcapaciteit van 8 maand, is hier een mestopslag van ongeveer 1100 m³ nodig.

Een tweede variant hiervan is een soortgelijke stal, waarbij het melkvee in de zomermaanden in de wei verblijft.

Voor vleesvarkens wordt uitgegaan een stal voor vleesvarkens met een omvang van 4200 varkensvleesplaatsen. De mestproductie van deze stal is ongeveer 5000 m³ per jaar. Indien wordt uitgegaan van een mestopslagcapaciteit van 8 maand, is hier een mestopslag van ongeveer 3500 m³ nodig.

Voor fokzeugen wordt uitgegaan een stal voor vleesvarkens met een maximale capaciteit van 600 plaatsen en gemiddeld 550 aanwezige zeugen. De mestproductie van deze stal is ongeveer 2800 m³ per jaar. Indien wordt uitgegaan van een mestopslagcapaciteit van 8 maand, is hier een mestopslag van ongeveer 1900 m³ nodig.

Berekeningen van de methaanvorming voor deze modelstallen staan in bijlage 1 in de figuren B1.1 tot en met B1.4.

¹ KWIN-V (2009), Kwantitatieve informatie veehouderij, 2009-2010, Livestock research, Universiteit Wageningen.

BIJLAGE 3 ENERGIEVERBRUIK VAN STALLEN.

De mogelijkheden om ventilatielucht uit mestopslagen te reinigen, door ze te gebruiken als verbrandingslucht in de lokale energievoorziening, hangt af van het lokaal energieverbruik. Stallen voor melkvee, vleeskalveren, fokzeugen als vleesvarkens hebben hun eigen specifiek energieverbruik.

B3.1 JAARGEMIDDELD ENERGIEVERBRUIK STALLEN

- *Melkvee*

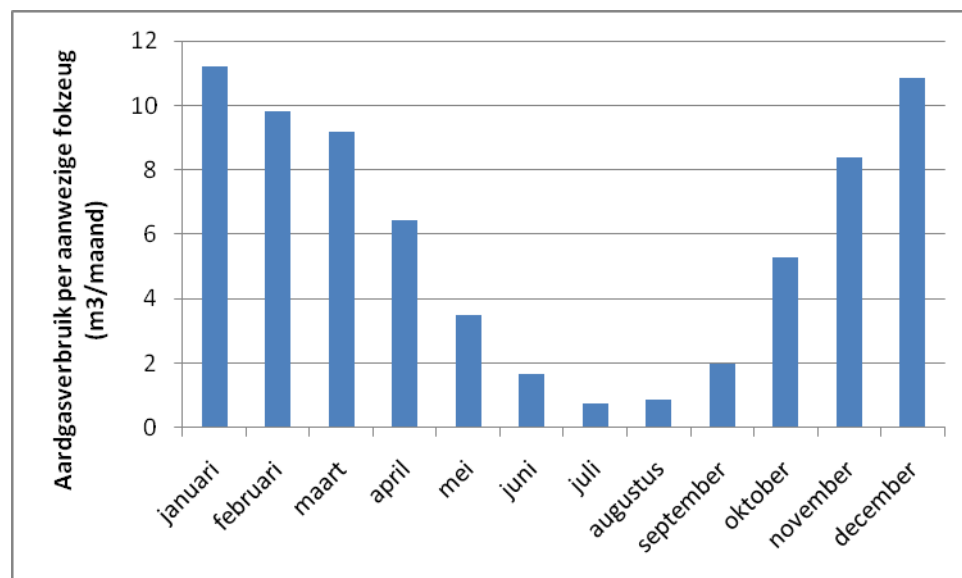
Energieverbruik in stallen voor melkvee komt voor een belangrijk deel door warmwaterbereiding voor de reiniging van de apparatuur voor het melken. Per melkstel is per dag al snel 400-500 l water nodig van 80 °C en een stal van 80 melkkoeien heeft 14-16 melkstellen. Warmwaterbereiding gaat vooral met boilers. Zo'n 40% van de stallen hebben een elektrische boiler; 60% verbrandt aardgas (Wemmenhove, 2010). Het energieverbruik per aanwezig dier is wel dalend, bijvoorbeeld als gevolg van warmteterugwinning, zoals combinatie melkkoeling en warmwaterbereiding. Volgens Ellen (2008) is het aardgasverbruik van een stal met een gasboiler zo'n 40 m³ aardgas per jaar per gemiddeld aanwezig dier.

In tegenstelling tot aardgasverbruik dat gerelateerd is aan ruimteverwarming, is het aardgasverbruik gedurende het jaar vrij constant. Wel is er een dagcyclus; de boiler heeft twee keer een dag een piek in het aardgasverbruik, 's ochtends en 's avonds na het melken.

- *Fokzeugen*

Het energieverbruik van zeugenstallen wordt voor een belangrijk deel bepaald door verwarming van de ruimte voor gespeende biggen. Dit gebeurt veelal met CV-ketels. Volgens Ellen (2008) is het gasverbruik bijna 70 m³ per jaar per gemiddeld aanwezig dier, maar ook hier zijn trends om het gasverbruik te reduceren, zoals inzet van duurzame energiebronnen (trend is de toepassing van houtkachels) of benutting van restwarmte elders.

Gasverbruik voor ruimteverwarming is sterk seizoenafhankelijk. Voor verwarming van woningen wordt ervan uitgegaan dat het gasverbruik per maand evenredig is aan het aantal graaddagen per maand. Het aantal graaddagen op een dag is het gat tussen de gemiddelde temperatuur op een dag en een referentietemperatuur (alleen als de gemiddelde temperatuur lager is dan deze referentie). Voor het aantal graaddagen per maand worden de aantallen graaddagen voor de afzonderlijke dagen van die maand gesommeerd. SenterNovem (2007) geven het aantal graaddagen per maand voor de periode 1997-2006. Over deze periode zijn de gemiddelden genomen en aan de hand van dit gemiddelde is het jaarlijks energieverbruik per fokzeug over de verschillende maanden verdeeld (Figuur B3.1).



FIGUUR B3.1: AARDGASVERBRUIK PER MAAND PER GEMIDDELD AANWEZIGE FOKZEUG.

- *Vleesvarkens*

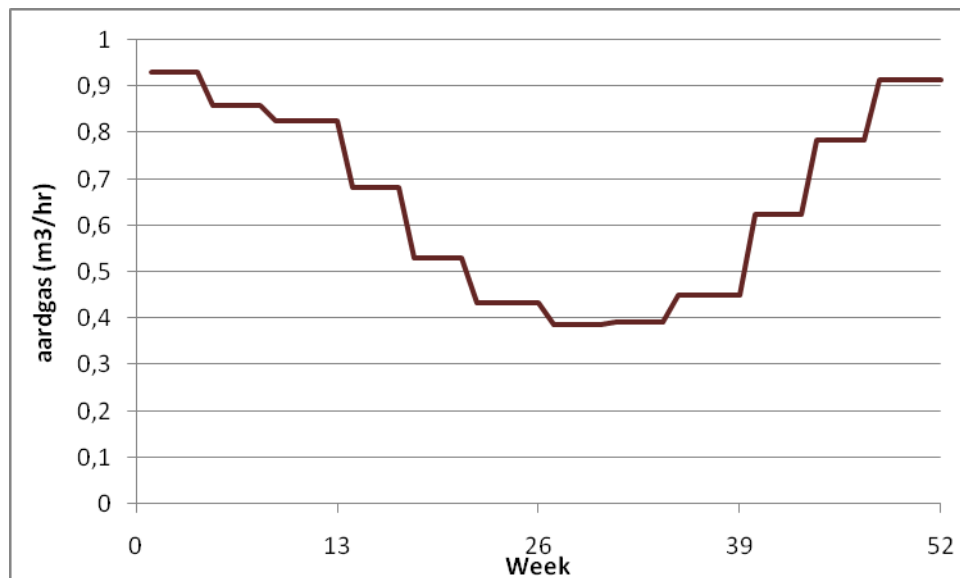
Energieverbruik bij vleesvarkens betreft vooral vloerverwarming bij de ruimtes voor jonge dieren via een ketel op middelhoge temperatuur (45-50 °C). Gemiddeld verbruik is 5,6 m³ per jaar per gemiddeld aanwezig dier (Ellen, 2008). Ook hier is de trend om steeds meer warmte te hergebruiken, bijvoorbeeld door de lucht voor de ruimtes voor jonge dieren te betrekken vanuit de ruimtes voor de oudere dieren.

- *Gasverbruik woonhuis*

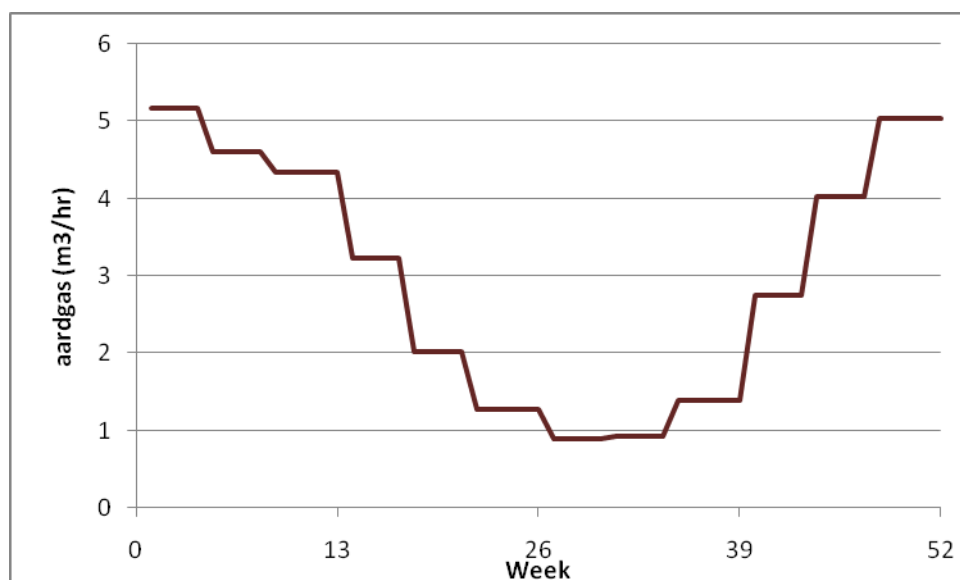
Behalve de stal, is ook het bij de boerderij behorend woonhuis een mogelijke consument van verbrandingslucht. Een vrijstaand woonhuis heeft een aardgasverbruik van ongeveer 2500 m³ per jaar, waarvan het grootste deel temperatuur-gerelateerd (SenterNovem, 2007).

B3.2 SCHATTING ENERGIEVERBRUIK DOOR HET JAAR HEEN

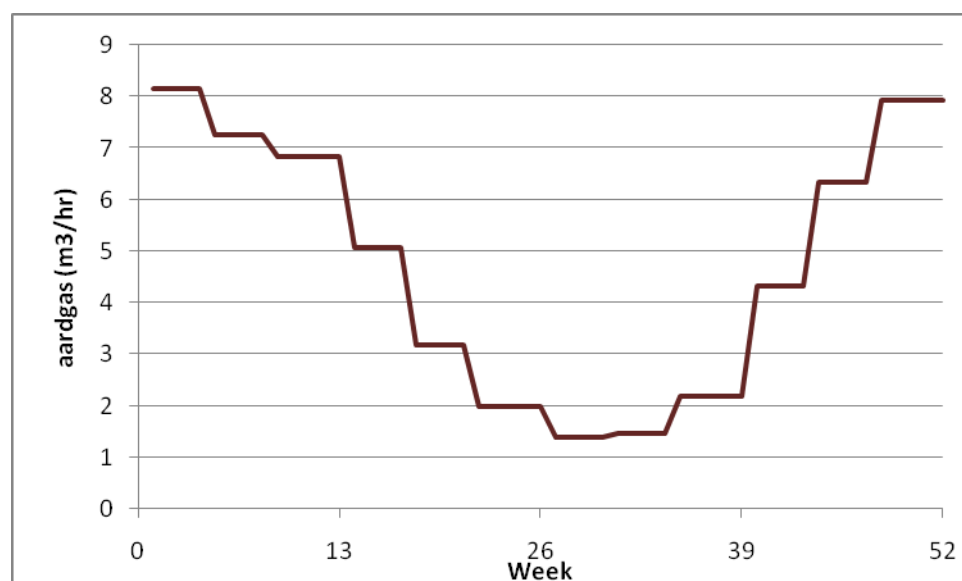
Het geschatte aardgasverbruik voor stallen van melkkoeien, vleesvarkens en fokzeugen door het jaar heen staat weergegeven in onderstaande figuren. Het aardgasverbruik is inclusief verbruik van een bij de stallen behorend woonhuis.



FIGUUR B3.2: AARDGASVERBRUIK (M³/HR) VAN EEN STAL MET 80 MELKKOEIEN.



FIGUUR B3.3: AARDGASVERBRUIK (M³/HR) VAN EEN STAL MET 4200 VLEESVARKENS.



FIGUUR B3.4: AARDGASVERBRUIK (M³/HR) VAN EEN STAL MET 550 FOKZEUGEN.

REFERENTIES BIJ BIJLAGE 3

Ellen H.H., Kasper G.J. (2008): CO₂-neutrale stallen, ASG rapport nr. 127, Universiteit Wageningen.

Ellen H.H. (2010): persoonlijke mededeling, Universiteit Wageningen.

Sambeek W. van (2008): Volop kansen voor duurzame energie, Varkens, 5 nov. 2008, pp. 16-17.

SenterNovem (2007): Cijfers en tabellen 2007, AgentschapNL, Utrecht.

Wemmenhove H. (2010): persoonlijke mededeling, Universiteit Wageningen.

BIJLAGE 4: VOORBEHANDELING H₂S EN NH₃- VERWIJDERING

B4.1 INLEIDING – SAMENSTELLING VENTILATIELUCHT

Afgassen van mestopslagen bevatten een aantal componenten, die mogelijk storend zijn bij gebruik van ventilatielucht als verbrandingslucht. De belangrijkste componenten zijn H₂S en NH₃. Dit zijn beide corrosieve componenten, die bij verbranding worden omgezet naar eveneens schadelijk H₂SO₄, resp. NO_x (zie ook bijlage 6). NH₃ in het afgas draagt ook bij aan de NO_x-emissie van de verbrandingsinstallatie².

De verhouding in het afgas van een mestopslag tussen CH₄ enerzijds en NH₃ en H₂S anderzijds is berekend in bijlage 1. In de ventilatielucht wordt dit mengsel zodanig verdund, dat de CH₄-concentratie lager is dan 0,5 vol% (10% LEL). De te verwachten concentraties in de uiteindelijke ventilatielucht staan berekend in tabel B4.1.

TABEL B.4.1: CONCENTRATIES AAN NH₃ EN H₂S IN VENTILATIELUCHT

	Afgasconcentratie (vol% t.o.v. CH ₄)	Ventilatielucht	Ventilatielucht
CH ₄	-	0,5 vol%	3,6 g m ⁻³
NH ₃	2,5-6,2%	130-310 ppm	0,1-0,24 g m ⁻³
H ₂ S	<2%	< 100 ppm	0,15 g m ⁻³

In het hoofdrapport wordt een schatting gemaakt van de hoeveelheid lucht, die vrijkomt bij ventilatie van een mestopslag onder aanname van een methaanconcentratie van 0,5 vol% in de ventilatielucht (zie de figuren 1 tot en met 4). De hoeveelheid lucht is seizoensafhankelijk, en piekt in de zomer tot een debiet van 250-2000 m³ per uur, afhankelijk van de stalgrootte en het soort dier dat wordt gehouden. Bij een totale methaanvorming van een mestopslag van 2-20 ton aan methaan per jaar is de jaarlijkse vorming van NH₃ en H₂S 50-1300 kg, resp. 85-850 kg.

B4.2 VERWIJDERING VAN H₂S EN NH₃

Voor H₂S en NH₃-verwijdering zijn standaardtechnieken beschikbaar. Zowel NH₃ als H₂S kunnen worden verwijderd door chemische wassing met een geschikte oplossing of biologisch worden omgezet in een biotrickling-filter. H₂S kan daarnaast worden verwijderd door adsorptie aan een daarvoor geschikt materiaal. Ten slotte worden voor beide componenten in de literatuur wat meer 'low-cost' systemen voorgesteld, gebruik makend van reststoffen. Deze laatste technieken lijken vooral toepasbaar bij lage afgasdebiet.

² N.B. als NH₃-houdend afgas wordt verbrand, dan kan de NO_x-emissie van de verbrandingsinstallatie weliswaar toenemen. Overall is het effect van de maatregel op verzurende emissies positief, omdat de directe emissie van NH₃-houdend afgas naar de atmosfeer wordt tegengegaan. Zie ook bijlage 6.

GASWASSERS

In een gaswasser wordt de NH_3 , cq. de H_2S geadsorbeerd in waswater (InfoMil, 2010). Dit gebeurt meestal in een waskolom, met daarin een gestructureerde pakking. Het waswater wordt opgevangen in een separate tank en daar geconditioneerd, deels gespuid en aangevuld met vers water.

NH_3 en H_2S -verwijdering kunnen niet worden gecombineerd, maar vragen een aparte wassersectie. NH_3 dient te worden verwijderd met zuur, terwijl efficiënte H_2S -verwijdering vraagt om een alkalisch-oxidatieve wasvloeistof³. In beide gevallen wordt een spuistroom gekregen, welke dient te worden verwijderd als chemisch afval.

BIOTRICKLING

In een biotricklingsysteem worden componenten biologisch omgezet. Dat gebeurt in een kolom op een inerte drager, bijvoorbeeld kunststof Pall- of Raschig-ringen, zoals ook frequent toegepast in de chemische technologie. Over de kolom wordt water gespreoid met daarin een nutriëntenoplossing. Reactieproducten worden met het waswater afgevoerd.

In een biotricklingsysteem wordt H_2S omgezet naar H_2SO_4 .⁴ NH_3 wordt genitrificeerd naar NO_3^- en vervolgens gedenitrificeerd naar N_2 (op voorwaarde dat het systeem goed is ontworpen en bedreven). Hierbij is het mogelijk om H_2S en NH_3 simultaan te behandelen en dit wordt soms voorgesteld voor reiniging van afgassen in de waterzuivering (bijvoorbeeld Chung, 2005; Jiang, 2009). Nadeel van biotrickling is de hoge consumptie van waswater (2,5 m³ water per kg H_2S) en de productie van een even grote hoeveelheid H_2SO_4 -houdend afvalwater met een pH van ongeveer 2. Deze hoeveelheid kan oplopen tot ongeveer 1500 m³ per jaar.

ADSORPTIE

H_2S kan worden geadsorbeerd op een geschikt materiaal als actieve kool of ijzer(III)oxide (Fe_2O_3 , beter bekend als roest). Meestal wordt hierbij gedacht aan ad-

³ Voor H_2S -wassing kunnen nog drie varianten worden onderscheiden. Wassing met NaOH is relatief goedkoop, maar weinig effectief (maximaal 60-70% rendement). Wassing met NaOCl is effectief maar duur. Meestal wordt een combinatie van het alkalische NaOH en oxidatieve NaOCl toegepast. Dit kan in één wassersectie met een mengsel van NaOH en NaOCl, of in twee afzonderlijke secties: eerst met NaOH, dan met NaOCl. De keus tussen beide is een keus tussen relatief lagere investeringen en hogere operationele kosten of hogere investeringen en lagere operationele kosten. In theorie, als slechts een beperkt verwijderingsrendement nodig is (~60%), is ook een volledig alkalische wasser mogelijk, welke lagere investeringen paart met lagere operationele kosten.

⁴ Voor zuurstofarme gasstromen bestaat een variant waarbij H_2S wordt omgezet naar elementair S. Hierbij verzuurt de kolom niet en kan per kg S met veel minder sproeiwater worden volstaan. Dit leidt tot een veel simpeler systeem. Voor behandeling van verbrandingslucht is dit echter niet toepasbaar.

sorptie aan een vaste stof. De reactiviteit van ijzer(III)oxide is beperkt en wordt bepaald door het specifiek oppervlak van het materiaal. In USA zijn allerlei bedrijven die daarom ijzer(III)oxide aanbieden in een vorm met een hoog specifiek oppervlak. Ook adsorptie in een ijzer(III)oxide-slurry is een optie. Alleen als een dergelijke adsorptie in vloeistof wordt uitgevoerd als een bellenkolom, dan gaat dit vrijwel direct gepaard met een hoge drukval. Om deze reden wordt voor adsorptie in de vloeistof-fase vrijwel altijd de voorkeur gegeven aan wassing op een kolom.

Systemen voor actiefkool zijn commercieel verkrijgbaar, net als systemen op basis van ijzer(III)oxide.

Systemen voor adsorptie hebben als voordeel dat ze compact zijn en erg geschikt voor kleine afgasstromen. Nadeel is dat het adsorberend materiaal van tijd tot tijd verzadigd raakt en dan moet worden vervangen. In de regel gaat adsorptie gebruik met een hoog verbruik aan adsorbentia, die op hun beurt weer moeten worden afgevoerd als chemisch afval.

SYSTEMEN OP BASIS VAN AFVALSTOFFEN

Door de hoge kosten voor NH_3 en H_2S -verwijdering is er de nodige aandacht voor goedkope alternatieven, vooral voor kleinschaliger toepassingen. Tot echte doorbraken heeft dit nog niet geleid. Wassing, biotrickling of adsorptie zijn nog steeds stand der techniek.

Biofiltratie is een mogelijk alternatief voor zowel NH_3 als H_2S . Bij biofiltratie treden in principe dezelfde processen op als bij biotrickling. Alleen wordt bij biofiltratie aanzienlijk minder gesproeid dan bij biotrickling (in de regel wordt een biofilter alleen besproeid om uitdroging van het afvalpakket te voorkomen). De reactieproducten (H_2SO_4 en HNO_3) blijven op de kolom en zorgen uiteindelijk voor een daling van de pH. Bij NH_3 -omzetting kan bovendien NO_2^- (nitriet) ontstaan, welke bacteriologische activiteit belemmert. Gevolg hiervan is dat de activiteit van het biofilter drastisch afneemt. Een oplossing om deze verzuring af te remmen is het gebruik van een substraat met een hoog bufferend vermogen. Maar ook in dit geval blijft er sprake van een oplossing met een beperkte standtijd van naar schatting 50 tot 100 dagen. Door echter afvalstoffen als substraat te nemen probeert men de kosten binnen de perken te houden.

- Er is vrij veel aandacht voor omzetting van ammoniak op een biofilter. Kim et al (2000) beschrijven een biofilter op basis van veen, waarin per m^3 1 kg NH_3 per dag kon worden omgezet. Na 50 dagen begon de effectiviteit van het filter wel te dalen. Hong et al. (2002) beschrijven NH_3 -omzetting op in een aantal biofilters met verschillend substraat, waarbij gedurende 20 dagen een hoge omzetting werd gerealiseerd, waarna de effectiviteit afnam. Ook Hartikainen et al. (1996), Sorial et al. (2001) en Smet et al. (2000) beschrijven biofiltratie van NH_3 , welke na relatief korte tijd inactief werden als gevolg van ophoping van reactieproducten;
- Ook H_2S kan in een biofilter worden omgezet. McKinsey Zicari (2003) beschrijft bijvoorbeeld H_2S -verwijdering op gecomposteerde mest. In totaal kon per m^3 zo'n 100 kg H_2S worden verwijderd, voordat de effectiviteit van het systeem

drastisch afnam. Bij een verblijftijd in het bed van 1,5 minuut en een bedhoogte van 30 cm, was de drukval beperkt tot 50 Pa.

Adsorptie van H₂S aan afvalroest is in principe ook mogelijk en in het verleden is dit toegepast voor voorbehandeling van biogas bij een stortgasproject in Borssele (Oonk et al., 1993). Alleen heeft gewoon roest een veel te laag reactief oppervlak en is dus veel minder reactief als industrieel gemaakte ijzer(III)oxide. De betrouwbaarheid van dat systeem bleek in Borssele te gering. In Borssele is men indertijd overgegaan op toepassing van een alkalische wassing voor H₂S-verwijdering (Jansen, 2010). Momenteel is het H₂S-gehalte in het gas zover gedaald dat het gas benut kan worden zonder H₂S-verwijdering.

B4.3 KOSTEN VOOR VERWIJDERING

Voor NH₃ en H₂S zijn separate wassersecties noodzakelijk. Investeringskosten voor een industriële alkalisch-oxidatieve gaswasser bedragen € 10.000-35.000 per 1000 m³ per uur (Infomil, 2010). Een zure gaswasser is mogelijk iets goedkoper met prijzen van € 7.500-25.000 per 1000 m³. De voorbehandeling van ventilatielucht vindt plaats op een schaal van 250-2000 m³ per uur en dat bevindt zich aan de onderkant van de range van wat gangbaar is. Totale investeringskosten zullen minimaal in de orde-grootte van 20.000 tot 40.000 Euro zijn. Chemicalie-kosten voor ammoniakverwijdering zijn € 0,50 per kg ammoniak; voor H₂S-verwijdering is wat duurder en kost in de orde-grootte van 2-4 euro per kg, afhankelijk van de gewenste reinigingsgraad⁵.

De investeringskosten voor een biotricklingfilter liggen in de regel wat hoger dan voor chemische wassing, in zijn minimaal de orde-grootte van € 25.000 tot 50.000 voor de hier besproken capaciteiten. Er zijn echter geen chemicaliën nodig, waardoor de operationele kosten wat lager uitvallen. Wanneer echter vers water moet worden ingekocht voor biotrickling en tevens lozingsrechten moeten worden betaald voor de afvoer, dan zijn de operationele kosten al snel € 2,5 per kg H₂S. Als men de biotrickler zo kan bedrijven dat NH₃ daadwerkelijk wordt genitrificeerd en gedenitrificeerd, dan zullen de extra kosten voor NH₃-verwijdering beperkt zijn. N.B. Biotricklingfilters zijn vooral aantrekkelijk voor wat grootschaliger toepassingen, of bijvoorbeeld bij RWZI's waar afvalwater beschikbaar is en het zure water uit de biotrickling eenvoudig kan worden afgevoerd.

De investeringskosten voor adsorptie kunnen erg beperkt zijn. Voor actiefkool zijn kant- en klare modules te koop met lage investeringskosten en geschikt voor kleinschalige toepassing. Hierbij kan men denken aan bijvoorbeeld CAN-filters (2010) voor behandeling van afgassen van restaurantkeukens en cafetaria's. De adsorptiecapaciteit van een CAN-filter bedraagt 10-25 wt%. Bij kosten van actief-kool van ongeveer € 1 per kg, zijn de kosten voor H₂S-verwijdering € 4-10 per kg H₂S. Adsorbentia op

⁵ Het rendement is afhankelijk van de hoeveelheid natronloog die wordt toegepast. Natronloog bepaalt ook voor een belangrijk deel de kosten. In geval geen natronloog wordt toegepast is het rendement voor H₂S-verwijdering maximaal ongeveer 60-70%.

basis van Fe_2O_3 zijn mogelijk nog goedkoper en McKinsey Zicari (2003) noemt bedragen van \$6 per 25 kg, met een H_2S -verwijderingscapaciteit van 2,5 kg H_2S per kg ijzer(III)oxide (commercieel verkocht onder de naam 'iron sponge'). Iron sponge wordt echter beschreven als zeer brandgevaarlijk (van den Bosch 2008) en waarschijnlijk mede daardoor gaan dit soort systemen gepaard met relatief hoge investeringskosten, want Scott (2008) noemt de overall verwijderingskosten voor H_2S met ijzer(III)oxide €2,50-3,50 per kg H_2S . In Europa is verder geen applicatie gevonden voor 'iron sponge'.

Systemen op basis van afvalstoffen zijn mogelijk goedkoper in operationele kosten. De verblijftijd van het afgas in deze installaties is in de regel lang (een halve tot anderhalve minuut), waardoor de systemen groot zullen uitvallen (een biofilter voor 1000 m^3 per uur meet dan al snel 16 m^3) en de bijkomende investeringskosten hoog zullen zijn. De standtijd van een geschikt biofiltermateriaal is naar schatting 50-100 dagen, waardoor jaarlijks 3 tot 7 keer de gehele inhoud van het filter dient te worden vervangen. De maatregel is dus erg arbeidsintensief.

B4.4 CONCLUSIES

Er lijkt geen echt goedkope oplossing te bestaan voor NH_3 en H_2S -verwijdering. Ammoniak lijkt het best te kunnen worden verwijderd in een wasser; voor H_2S is mogelijk een systeem op basis van ijzer(III)oxide het meest kosteneffectief. De totale kosten voor verwijdering zullen al snel € 2,5-4 per kg NH_3 zijn en eenzelfde bedrag per kg H_2S . Voor een grotere mestopslag (bijvoorbeeld behorend bij een stal voor 4.200 mestvarkens) dient rekening te worden gehouden met totale kosten in de orde-grootte van minimaal 5.000-8.000 Euro per jaar.

REFERENTIES BIJ BIJLAGE 4

Bosch P.L.F. van den (2008): Biological sulfide oxidation by natron-alkaliphilic bacteria, Application in gas desulfurization. Proefschrift Universiteit Wageningen.

Can filters (2010): <http://www.canfilters.nl/>.

Chung Y.-C., Lin Y.-Y., Tseng C.-P. (2005): Removal of high concentration of NH_3 and coexistent H_2S by biological activated carbon (BAC) biotrickling filter, *Bioresour. technology*, 96, pp. 1812-1820.

Hartikainen, T., Ruuskanen, J., Vanhatalo, M., Martikainen, P.J. (1996): Removal of ammonia from air by a peat biofilter. *Environmental Technology* 17 (1), 45–53.

Hong J.H., Park K.J., Choi W.C. (2002): Using biofilters to reduce ammonia emissions, *Biocycle*, November 2002, pp. 43.

InfoMil (2010): Factsheets milieubeperkende technieken, via:

<http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/luchtemissie/factsheets/overzicht-factsheets/>

Jansen (2010): persoonlijke mededeling. Delta Milieu.

Jiang X., Yan R., Tay H.W. (2009b): Simultaneous autotrophic biodegradation of H₂S and NH₃ in a biotrickling filter, *Chemosphere*, vol. 75, pp. 1350-1355.

Kim, H.S., Kim, Y.J., Chung, J.S., Xie Q. (2002): Long-term operation of a biofilter for simultaneous removal of H₂S and NH₃. *J. Air Waste Manage.* Vol. 52, pp. 1389-1398.

McKinsey-Zicari S., removal of hydrogen sulphide from biogas using cow-manure compost, Thesis Cornell University, New York, USA.

Onk H., Scheepers M., Takke J.W. (1993): Overzicht stortgasprojecten in Nederland 1983-1991, Adviescentrum Stortgas, Apeldoorn (thans opgegaan in Vereniging Afvalverwerkers, Den Bosch).

Scott J. (2008): Energy Savings Opportunities for Indiana WWTF, presentation at Technologies for Biogas Conditioning, May 19 and May 21.

Smet, E., Van Langenhove, H., Maes, K. (2000): Abatement of high concentrated ammonia loaded waste gases in compost biofilters. *Water Air and Soil Pollution* 119 (1-4), 177-190.

Sorial, G.A., Smith, F.L., Suidan, M.T., Brenner, R.C. (2001): Removal of ammonia from contaminated air by trickle bed air biofilters. *Journal of the Air & Waste Management Association* 51 (5), 756-765.

BIJLAGE 5: NOODZAAK VAN ‘HEAD-SPACE’

B5.1. INLEIDING

Belangrijk gegeven bij toepassing van ventilatielucht als verbrandingslucht dat op de korte termijn gezien (tijdschaal van enkele minuten tot maximaal een dag) zowel de vrijgifte van methaan als het gebruik van verbrandingslucht discontinu verloopt.

- In de mestopslag komt de methaan uit de mestopslag bubbelen. Bij mestopslagen met een drijvend dak, mestbassins of mestzakken hoopt de methaan zich op onder de afdichting, waarbij eens in de zoveel tijd een bel richting ontluchtingspunt drijft en dan ineens vrij komt. Onder een mestopslag met een spandak verloopt de concentratieopbouw mogelijk wel wat gelijkmatiger.
- De verbrandingsinstallatie staat mogelijk niet altijd aan, maar zal van tijd tot tijd aanslaan. Boilers voor heetwatervoorziening in koeienstallen zullen bijvoorbeeld aanslaan, wanneer na het melken de voorraad aan heet water wordt aangesproken; ruimteverwarming springt , aangestuurd door een thermostaat, meestal wat frequenter aan.

De enige manier om een redelijke hoeveelheid methaan in verbrandingslucht te kunnen verwerken en tegelijkertijd er voor te zorgen dat de methaanconcentratie in de verbrandingslucht niet te veel schommelt en niet boven de 10% LEL uitkomt, is het aanbrenge van een bufferruimte, waarin methaan en lucht kunnen worden gemengd. Hieronder staan wat berekeningen aan zo'n bufferruimte weergegeven en afhankelijk van wat aannames is al snel een bufferruimte van enkele honderden m³ noodzakelijk. Voor mestbassins, mestzakken en mestsilo's met drijvende daken betekent dit een forse investering van naar schatting enkele tienduizenden Euro's (Dace, 2009), waardoor de maatregel vrijwel direct te duur wordt. Voor mestsilo's met spandak dit de bufferruimte in feite ingebouwd, doordat de 'head-space' tussen mest en spandak al snel enkele honderden m³ is. Om deze reden lijkt toepassing van ventilatielucht van een mestopslag vooral geschikt voor mestopslagen met spandak.

B5.2 BEREKENINGEN AAN METHAANCONCENTRATIES IN DE HEAD-SPACE

De head-space in de mestopslag zich langzaam vult met een steeds hoger wordende concentratie aan methaan.

$$\delta C = \phi_m / V * \delta t$$

Waarin:

C = methaanconcentratie (in g/m³)

V = volume headspace (in m³)

t = tijd (in uur)

ϕ_m = methaanflux uit de mest (in g/hr)

Op momenten dat de boiler wordt aangesproken wordt, wordt de head-space leeggetrokken. Onder aanname dat de head-space ideaal geroerd is, kan wordt de methaanconcentratie in de head-space nu beschreven door:

$$\delta C = \phi_m/V * \delta t - \phi_v C \delta t$$

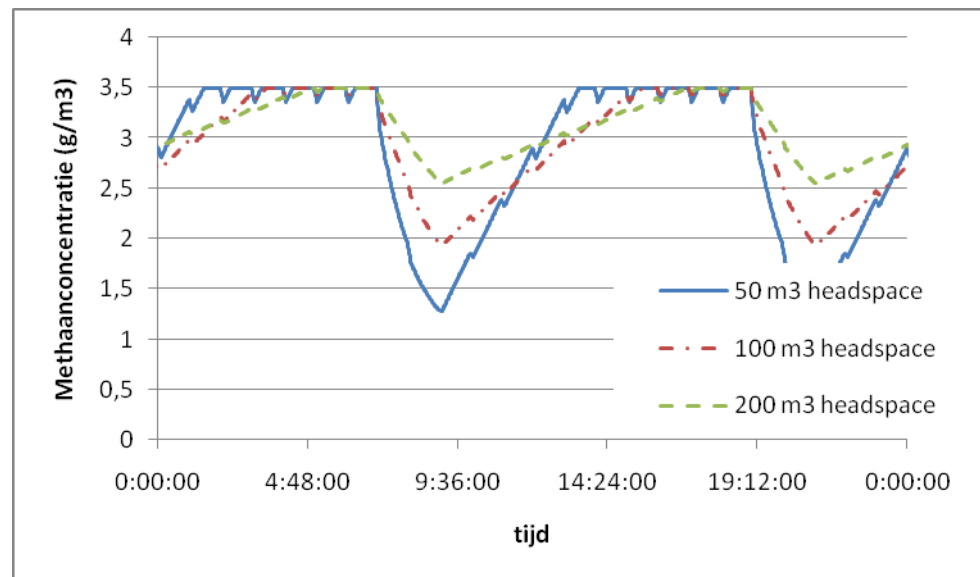
Waarin:

ϕ_v = de actuele debiet aan verbrandingslucht is (in m³/hr)

Het gevolg hiervan is dat de hoeveelheid methaan in het verbrandingsgas gemiddeld wat lager is dan 0,5 g per m³ (10% LEL) en dat dus ook het vernietigingsrendement van de maatregel afneemt.

B5.3 ENKELE RESULTATEN

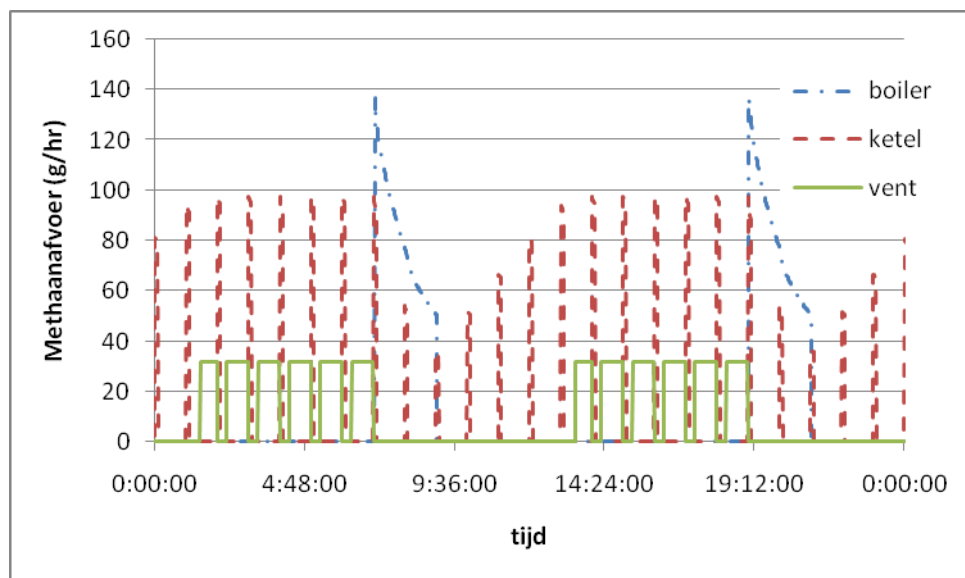
Hieronder staat als voorbeeld een kleine mestopslag bij een koeienstal, in combinatie met benutting van het afgas, 70% in een boiler en 30% in een ketel voor ruimteverwarming. Het voorbeeld heeft betrekking op een situatie met een erg beperkte methaanvorming van 32 g per uur (een kleine 800 g per dag). Een debiet van verbrandingslucht van gemiddeld 9 m³ per uur met 0,5 vol% methaan is dan voldoende om de vrijkomende methaan om te zetten⁶. De totale vraag aan verbrandingslucht is gemiddeld 9,3 m³ per uur. De boiler brandt na het na schoonmaken van de melkstellen steeds 2 uur. De ketel voor ruimteverwarming brandt 10% van de tijd. Met een head-space van 50, 100, resp. 200 m³ wordt dan het volgende patroon van methaanconcentratie in de tijd verkregen.



FIGUUR B5.1: VERLOOP VAN METHAANCONCENTRATIE IN VENTILATIELUCHT ALS FUNCTIE VAN DE GROOTTE VAN DE HEAD-SPACE

⁶ 9 m³/hr met 0,5 vol% methaan is 45 l methaangas. Met een dichtheid van 0,7 g per l is dit 32 g/hr methaan.

Het 'lot' van de methaan staat weergegeven in onderstaande figuur (heeft betrekking op de berekening met headspace van 100 m^3). Zodra de boiler of de ketel aanslaat, dan wordt meteen een grote hoeveelheid methaan afgevoerd. Echter de ketel zelf is niet in staat om alle methaan af te voeren. Zodra de concentraties te hoog oplopen, wordt een deel van de methaan gespuid.



FIGUUR B5.2: AFVOER VAN METHAAN VIA DE BOILER, DE KETEL OF DE VENT. DE GROENE DOORGETROKKEN LIJN IS DE HOEVEELHEID METHAAN DIE VIA DE VENT ONOMGEZET DE ATMOSFEER IN MOET WORDEN GEBLAZEN, OMDAT DE METHAANCONCENTRATIE IN DE HEADSPACE VAN DE OPSLAG BOVEN 10% LEL UIT DREIGT TE KOMEN

In tabel staan de gemiddelde hoeveelheden per uur weergegeven, weer als functie van de headspace. Ondanks dat de daggemiddelde energieverbruik volstaat om alle methaan om te zetten (zoals hierboven beschreven is 9 m^3 verbrandingslucht voldoende, terwijl de werkelijke hoeveelheid $9,3\text{ m}^3$ is), wordt toch een aanzienlijk deel van de methaan gevent. Maar hoe groter de headspace, hoe minder methaan dient te worden gevent.

TABEL B5.1: GEMIDDELD MANIER WAAROP DE METHAAN WORDT AFGEVOED (IN m^3/HR)

	50 m^3 headspace	100 m^3 headspace	200 m^3 headspace
Boiler	13	17	19
Ketel	8	8	9
Vent	11 (34%)	7 (22%)	4 (12%)
Totaal	32	32	32

BIJLAGE 6: NH₃ IN VERBRANDINGSPROCESSEN

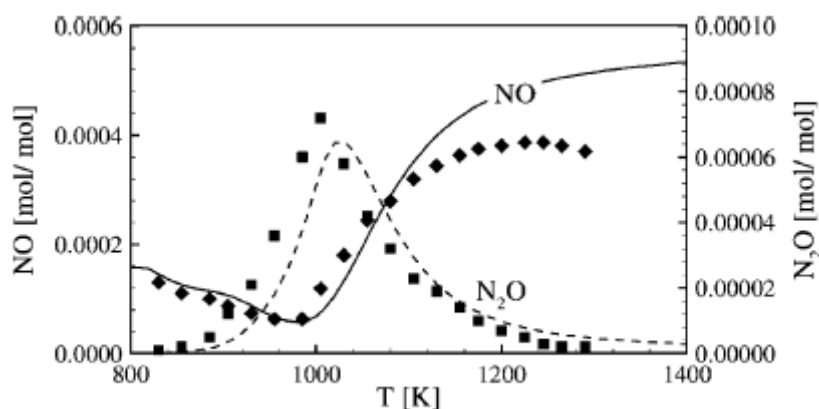
Ammoniak kan in een verbrandingssysteem op een aantal manieren reageren:

- Ammoniak wordt omgezet naar N₂. Dit zal met het merendeel van de ammoniak het geval zijn;
- Ammoniak kan worden omgezet naar N₂O, en daarmee leiden tot een verhoging van de N₂O-emissies
- Ammoniak kan worden omgezet naar NO_x, en daarmee leiden tot een verhoging van de NO_x-emissies
- Ammoniak kan met NO_x reageren tot N₂, en daarmee de NO_x-emissie uiteindelijk verlagen. In sommige stookinstallaties wordt ammoniak bewust ingespoten om op deze manier de NO_x-emissies te verlagen. Dit is bekend als selectieve niet katalytische reductie van NO_x (SNCR).

Deze bijlage geeft wat resultaten van een kort (niet uitputtend) literatuuronderzoek.

B6.1 SELECTIVITEIT NAAR N₂, N₂O EN NO_x

De reactie van NH₃ naar N₂, N₂O of NO_x hangt af van reactieomstandigheden, zoals deingangsconcentratie aan NH₃, het vochtgehalte, de methaanconcentratie en zuurstofovermaat. De temperatuur lijkt echter allesoverheersend. Koger et al (2005) illustreren dit in onderstaande figuur, welke de resultaten van een plug-flow verbrandingsinstallatie weergeeft. De ingaande ammoniak-concentratie is 0,003 mol per totaal aantal mol aanwezige lucht en de verbranding vindt plaats onder ‘arme’ omstandigheden (d.w.z. overmaat zuurstof).



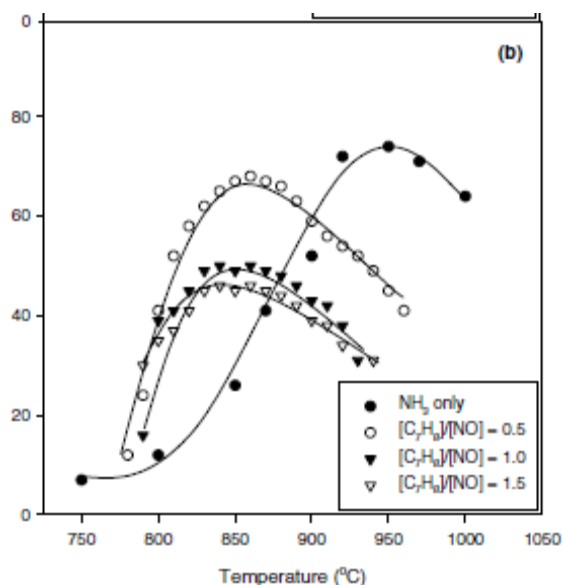
FIGUUR B6.1: VORMING VAN N₂O EN NO_x UIT NH₃ ALS FUNCTIE VAN DE TEMPERAATUUR (KOGER ET AL., 2005). PUNTEN ZIJN MEETWAARDEN; GETROKKEN LIJNEN ZIJN GEMODELLEERDE WAARDEN

Conclusie is dat bij lage temperatuur N₂O gevormd kan worden. De piek in de N₂O-vorming ligt rond 800 °C (1073 K) waarboven de N₂O vorming snel afneemt. Boven 950 °C is de N₂O-vorming verwaarloosbaar. Dit laatste heeft ook te maken met de instabiliteit van N₂O bij temperaturen boven 850 à 900 graden, waarbij N₂O al snel uiteenvalt in N₂ en O₂. Boven 800 °C neemt de NO_x-vorming toe, tot ongeveer 20%

van de initiële hoeveelheid NH_3 . Andere literatuurbronnen geven een vergelijkbaar beeld (Glarborg en Miller, 1994; Henshaw et al., 2005).

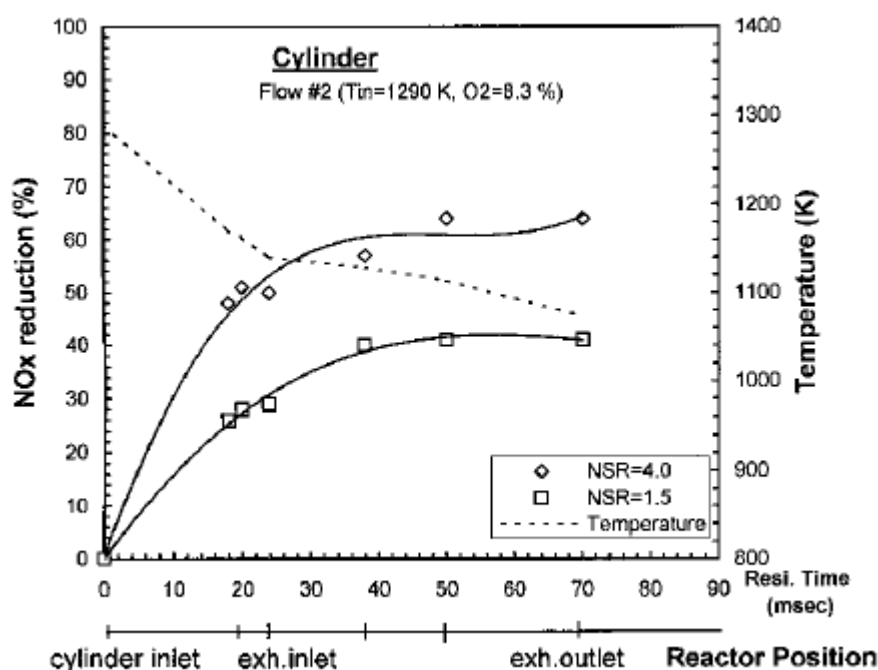
B6.2 SNCR

De SNCR-reactie van NH_3 met NO_x tot N_2 en H_2O vindt normaliter in een heel beperkt temperatuurvenster plaats, zo tussen 850-1100 °C (dit wordt geïllustreerd in het voorbeeld in figuur B6.2)



FIGUUR B6.3: SNCR-de NO_x REACTIE ALS FUNCTIE VAN DE TEMPERATUUR BIJ VERSCHILLENDE AFGASSAMENSTELLING (BAE ET AL., 2006)

Een efficiënte SNCR-de NO_x in een stookinstallatie vereist een zorgvuldig ontwerp, waarbij de plaatsen waar NH_3 wordt geïnjecteerd in zorgvuldig gekozen plaatsen in dit temperatuurvenster. Dat SNCR ook kan optreden in minder gecontroleerde omstandigheden als een cilinder van een dieselmotor bewijst Nam et al. (2000, zie figuren B6.3) in een experiment waarbij ureum in de cilinder werd ingespoten. Figuur B6.3 geeft het verloop van de temperatuur en de NO_x -reductie weer tijdens de expansie van de cilinder. De initiële temperatuur, kort na ontbranding van het gasmengsel in de cilinder is ongeveer 1000 °C, waarna tijdens expansieslag de temperatuur snel daalt. Vooral in het eerste deel van de expansieslag vindt reductie van NO_x plaats. In het tweede deel is de temperatuur te laag en is waarschijnlijk ook het merendeel van de NH_3 weggereageerd.



FIGUUR B6.3: SNCR-deNO_x IN EEN CILINDER VAN EEN DIESELMOTOR ALS FUNCTIE VAN DE EXPANSIE VAN DE CYLINDER. NSR STAAT VOOR DE VERHOUDING NH₃/NO_x (NAM ET AL., 2000)

B6.3 EFFECT VERBRANDING OP NO_x EN NH₃-EMISSIONS

- Ketels en boilers

Ketels en boilers hebben een vlamtemperatuur van 1200 à 1300°C of hoger, afhankelijk van ontwerp en toepassing (van Oijen, 2010; Installatietechnicus, 2010). In verbrandingsinstallaties als ketels en boilers zal een deel van de NH₃ (naar schatting maximaal 20%) worden omgezet naar NO_x (zie figuur B6.1 en de tekst daaromheen). Er is geen of slechts verwaarloosbare omzetting van NH₃ naar N₂O te verwachten, als gevolg van de hoge temperatuur in de brander. Verdere emissiereductie van NO_x door een selectieve niet-katalytische reductie is niet te verwachten. Daarvoor dient de ammoniakinjectie plaats te vinden op meer gecontroleerde manier, op een plaats in de vlam waar temperaturen heersen van 900-1100 °C.

- Gasmotoren

Bij toepassing in gasmotoren is de verbrandingstemperatuur wat lager dan in boilers en ketels het geval is, maar wel weer hoger dan bij de in B6.3 beschreven dieselmotor. De omzetting naar NO_x is daardoor waarschijnlijk wat minder dan de maximaal 20% voor boilers en ketels. Ook is er meer kans op het optreden van een SNCR-reactie. Het temperatuurtraject licht wat hoger dan het temperatuurtraject beschreven in B6.3, maar zal zich nog steeds grotendeels bevinden in het gebied waar SNCR kan optreden (850-1100 °C; 1123-1373K). De temperaturen blijven boven de 800°C, zeker in het begin van de expansieslag, waar het merendeel van de NH₃ zal reageren. Hierdoor zal de N₂O-vorming verwaarloosbaar zijn.

LITERATUUR BIJ BIJLAGE 6

Bae S.W., Roh S.A., Kim S.D. (2006): NO removal by reducing agents and additives in the selective non-catalytic reduction (SNCR) process, *Chemosphere*, vol. 65, pp. 170–175

P. Glarborg, J.A. Miller, Mechanism and Modeling of Hydrogen Cyanide Oxidation in a Flow Reactor, *combust. Flame*, vol 99, pp. 475–483.

Henshaw P.A., D'Andrea T., Mann K.R.C., Ting D.S. (2005): Premixed ammonia-methane-air combustion, *Combustion Science and Technology*, Vol. 177(11) , pp. 2151 - 2170

Installatietechnicus (2010): via
<http://www.installatietechnicus.nl/documentatie/stooktechniek.htm>

Koger S., Bockhorn H. (2005): NO_x formation from ammonia, hydrogen cyanide, pyrrole, and caprolactam under incinerator conditions, *Proceedings of the Combustion Institute*, vol. 30, pp. 1201–1209

Nam C.M., Gibbs B.M. (2000): Selective non-catalytic reduction of NO_x under diesel engine conditions, *Proceedings of the Combustion Institute*, vol. 28, pp. 1203–1209

Oijen J. van (2010): Design of a central heating boiler, Case supporting lecture 4G036, technische Universiteit Eindhoven.

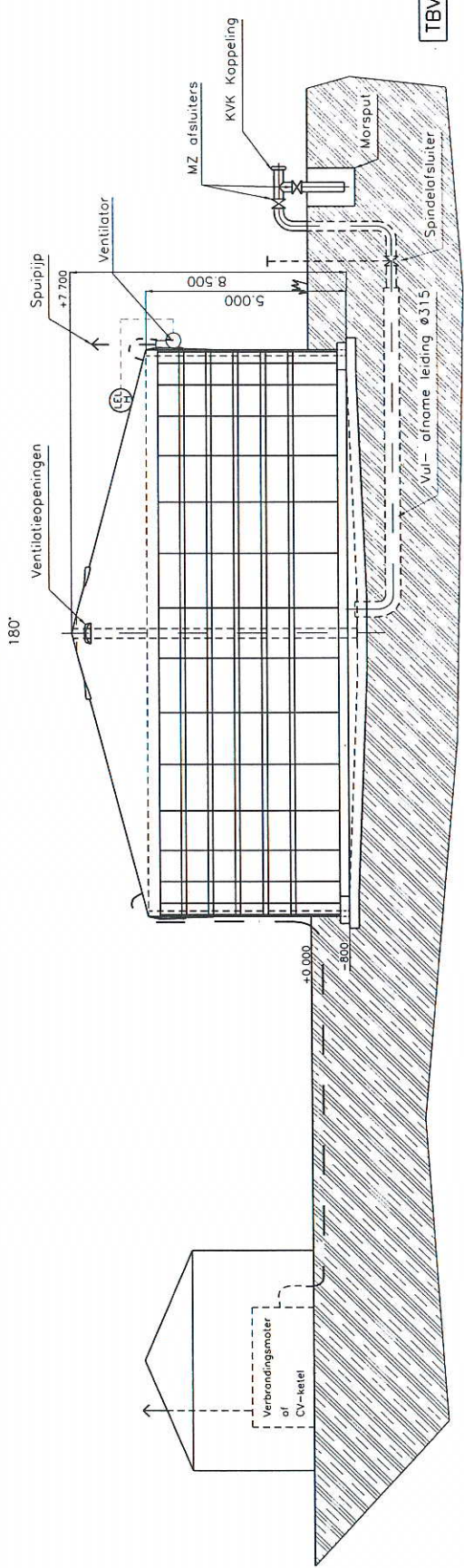
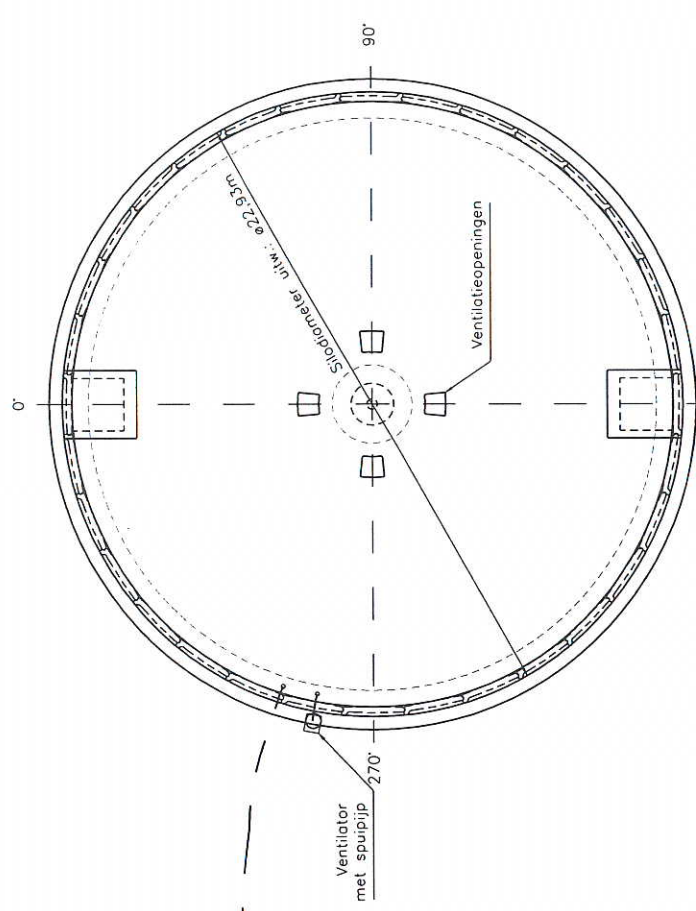
BIJLAGE 7: DETAILONTWERP MESTOPSLAG

Een mestsilo met spandak en met een opslagcapaciteit van 2000 m³ en een verbrandingsinstallatie dichtbij met een consumptie aan ventilatielucht van 600 m³ per uur. Dit is een ontwerp dat zou kunnen passen bij een stal van 3000 vleesvarkens.

ONTWERP GEDEGENS

ONTWERP VOLGENS	HBRM
TANK TYPE	APPELBEETON MET KOMO ATTEST
KOMO ATTEST NUMMER	K2449-08
AANTAL ELEMENTEN	88
ELEMENT TYPE	prefab beton 5 m hoog
MEDIUM	DIERLIJKE MEST
ONTWERP DRUK	mmH ₂ O
TEST DRUK	kg
WERK TEMPERAATUUR	°C
ONTWERP TEMPERAATUUR	-10/+40 °C
SONDELUK GEWICHT MIDDENM	0,50 kg/m ³
SONDELUK GEWICHT BUITEN	2,00 kg/m ³
LOCATIE	(niet op 20cm vrijboard)
BODEM TYPE	BETONVLOER
FUNDATIE DIEPT	15cm
DAK TYPE	SPANKAP
TANKWAND	BETON ELEMENTEN
DIAMETER TANK UITWENDIG	22,93 m
CYLINDRISCHE HOOGTE	5 m
TOTALE TANK HOOGTE	ca 8,50 m, 7,70m boven maaiveld
HOOGTE DAK	ca 3,50 m
DAKHOEK	17°
REACTIEKRACHT MIDDENKOLM	Max... 220 kN
FUNDATIE DIEPTE	0,8 m
GRONDWATER INVEAU	max. -1,300
VENTILATIECAPACITEIT	1800m ³ /h

MATERIAAL	
PLATEN	GEWIPEND BETON B15 miniklasse S6 of gelijkwaardig
VLOER	GEWIPEND BETON B25 miniklasse S8
HOEK SEALER	SIKAFLEX TS+
AFDICHTING VLOER WAND	SIKAFLEX TS+
FLENZEN UITWENDIG	PVC/GEALVANESEERD
FLENZEN INWENDIG	PVC/GEALVANESEERD
DAK	PVC/GEALVANESEERD
MIDDENKOLM DAK	AZOBEL of gelijkwaardig
TANK KLEUR UITWENDIG	BETON GRUIS
DAK KLEUR	GRUIS



TBV METHAANVERBRANDING

Scale	Projection	Name	Date	REMARK
		JAK	27-07-2010	
Dimensions in mm	Asp. 6	CTB		
MESTSILO 2051 m.3				
PAS MESTOPSLAGSYSTEMEN				
PROJECT No 5041B				
Drawing No 5041B-240-510				
Rev				

This design and drawing is property of PAS Mestopslagsystemen B.V. and may not be used for any other project without the written consent of PAS Mestopslagsystemen B.V.