

# Emissiemetingen mestmengmachine

Emissiemetingen aan mestmengmachine na toevoegen van ongebluste kalk aan vaste kalvermest

Yvo Goselink en Luuk Gollenbeek

Wageningen Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research in opdracht van Keigroen VOF

Wageningen Livestock Research  
Wageningen, maart 2022

---

Openbaar

Rapport 1365



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---

---

Goselink Y., L.R. Gollenbeek 2022. *Emissiemetingen mestmengmachine; Emissiemetingen aan mestmengmachine na toevoegen van ongebluste kalk aan vaste kalvermest*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1365.

Samenvatting NL Ammoniak, lachgas, methaan en koolstofdioxide en geur emissies zijn gemeten bij de bewerking van kalverfeces door middel van toevoegen van ongebluste kalk en het mengen van deze kalk door de mest in een pilot installatie. De gemeten emissies aan ammoniak, lachgas, methaan en koolstofdioxide en geur waren relatief laag ten opzichte gemiddelde stalemissies. Het drogestof gehalte van het eindproduct lag lager dan van tevoren mogelijk geacht.

Summary UK Emissions of ammonia, nitrous oxide, methane and carbon dioxide and odor were measured during the processing of calf faeces by adding quicklime and mixing it into the faeces in a pilot installation. The measured emissions of ammonia, nitrous oxide, methane and carbon dioxide and odor were relatively low compared to average emissions from the barn. The dry matter content of the end product was lower than previously thought possible.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/567265> of op [www.wur.nl/livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research) (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2022.

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

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

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

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

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1365.

---

# Inhoud

<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1 Aanleiding en doel	7
1.2 Achtergrond	7
<b>2 Materiaal en methoden</b>	<b>9</b>
2.1 Beschrijving mest en mestmengmachine	9
2.2 Beschrijving techniek en werkingsprincipe	9
2.3 Meetstrategie	10
2.4 Meetmethoden	10
2.4.1 Achtergrondconcentraties	10
2.4.2 Concentraties uitgaande luchtstroom	11
2.4.3 Mestmenger en monsters	12
2.5 Dataverwerking en analyse	12
2.5.1 Berekening ventilatiedebiet	12
2.5.2 Berekening ammoniakemissie	12
2.5.3 Berekening broeikasgasemissies	13
2.5.4 Berekening geuremissie	13
<b>3 Resultaten en discussie</b>	<b>14</b>
3.1 Meting 1	14
3.2 Meting 2	16
3.3 Meting 3	18
3.4 Discussie	19
<b>4 Conclusie</b>	<b>21</b>
<b>Literatuur</b>	<b>22</b>
<b>Bijlage 1 IJklijn meetventilator</b>	<b>23</b>



---

# Woord vooraf

In dit rapport worden de resultaten beschreven van de emissies van geur en ammoniak van een mestmengmachine waarin vaste kalvermest wordt gemengd met ongebluste kalk. We willen de kalverhouder bedanken voor de constructieve samenwerking bij de uitvoering van de metingen.

De auteurs



---

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en doel

In opdracht van Keigroen vof heeft Wageningen Livestock Research emissie metingen verricht aan een beoogde mestverwerkingsstap van kalverhouderij Mts. Thelosen van Haren. De aanleiding voor het onderzoek is de wens van kalverhouder Thelosen om een nieuwe emissiearme stal te bouwen waarbij de feces fractie en de urine/gier fractie onder de roosters gescheiden worden door middel van een geperforeerde mestband. Deze feces fractie wil Thelosen verder opwerken door middel van het bijmengen van ongebluste kalk. Vanwege het innovatieve karakter van deze nieuwe stal en de gewenste mestverwerking is het verlenen van de benodigde vergunningen door het bevoegd gezag gecompliceerd omdat geen referentie stallen beschikbaar zijn. Gedurende enkele jaren zijn emissie metingen verricht aan het geperforeerde bandensysteem bij Thelosen. Van de mestverwerking met ongebluste kalk waren echter nog geen gegevens bekend.

Het doel van dit onderzoek was het vaststellen van de ammoniak-, broeikasgas- en geuremissies die optreden bij het mengen van de feces met de ongebluste kalk.

## 1.2 Achtergrond

Door het mengen van kalvermest met ongebluste kalk wordt het drogestofgehalte van het product hoger, waarbij naar verwachting een drogestof gehalte van circa 75% gehaald kan worden (inschatting gebaseerd op slibverwerking, Van Den Bulk en Vergnes, 2019 en kippenmestverwerking De La Lande Cremer 1971). De drogende werking kan verklaard worden door enerzijds de reactie van CaO (ongeblyste kalk) naar Ca(OH)<sub>2</sub> (gebluste kalk) en anderzijds door de warmte die bij deze exotherme reactie ontstaat. Naar verwachting kan een temperatuur van circa 80 °C behaald worden, deze warmte zorgt voor verdamping van vocht. Vanwege de verhoogde temperatuur en stijging van de pH is de verwachting dat ammoniakemissie ontstaat. Daarnaast komt geur vrij bij het mengen van mest. Het rulle product wat uit dit proces ontstaat kan van hogere waarde zijn dan het natte product.

Bij Mts. Thelosen staat momenteel een proefopstelling om de feces die van de afdelingen met geperforeerde mestband, tevens proefopstellingen, te mengen met ongebluste kalk. De mest en kalk worden handmatig in een menger gedaan waarna de machine de mest en ongebluste kalk mengt. Deze opstelling is een proefsysteem en als dit slaagt zal het op grotere schaal met luchtwater worden uitgevoerd. Tevens zal dan het proces geoptimaliseerd en geautomatiseerd worden.

Het mengen van ongebluste kalk bij (vloeiabare kippenmest) is een methode die al in 1971 beschreven werd door De La Lande Cremer. Het toevoegen van de ongebluste kalk geeft een droger en ruller product dat minder stinkt en makkelijk te verspreiden is over het land. Timmerman en Buissonjé (2015) hebben op basis van beschikbare literatuur verschillende voorbehandelingsmethoden om de methaan opbrengst in een vergister te verhogen geïnventariseerd. Bij een aantal gevonden studies werd de dikke fractie behandeld met basen, waaronder ongebluste kalk, om de organische stof beter te ontsluiten. In enkele studies leidde dit tot een verhoging van de methaan productie in de vergister, maar in andere studies werd de methaanopbrengst verlaagd of bleef gelijk. Een mogelijke verklaring hiervoor is de verhoogde pH en het risico op ophoping van zouten in de vergister wat ervoor zorgt dat de methanogene bacteriën minder goed functioneren in de vergister.

In het verleden werd dit proces (toevoegen ongebluste kalk maar ook gebluste kalk) gebruikt bij een aantal rioolwaterzuiveringsinstallaties voor het verwerken van het zuiveringslib. Waarna het mengsel in het verleden in de landbouw werd afgezet als een calcium rijke bemestingsproduct. Omdat de afzet lastiger werd vanwege wet- en regelgeving en alternatieven voorhanden kwamen daalde deze behandeling van rwzi slib

---

vanaf de jaren '90 sterk. Echter het proces staat recentelijk weer in de belangstelling vanwege het tekort aan slibverwerkingscapaciteit (Van Den Bulk en Vergnes, 2019).



## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Beschrijving mest en mestmengmachine

De mest gebruikt in de mestmengmachine komt van blankvleeskalveren gehouden in proefstallen. Onder de vloer is een geperforeerde mestband aanwezig waardoor feces en urine bij de bron worden gescheiden. De mestband wordt meerdere malen per dag afgedraaid en de verzamelde feces wordt in een mestmengmachine verder opgewaardeerd met ongebluste kalk.

De mestmengmachine is een RVS bak van circa 1 m<sup>3</sup> met hierin een lintmenger. Aan een kant van de bak is een motor gemonteerd die de lintmenger in beweging brengt. Aan de andere kant zit een schuif waardoor het product met behulp van de lintmenger naar buiten kan worden gewerkt. De mestmengmachine is te zien in figuur 1.



**Figuur 1** Links: mestmengmachine; Rechts: draaiende mestmengmachine (proefinstallatie).

### 2.2 Beschrijving techniek en werkingsprincipe

In deze mestmengmachine wordt circa 900 kg feces van maximaal een week oud gebracht. Vervolgens wordt de menger aangezet en nadat deze homogeen gemengd is (10 minuten), wordt circa 100 kilo ongebluste kalk (gewichtverhouding 1:10) toegevoegd. Hierna wordt de mest en kalk samen verder gemengd om een homogeen product te krijgen.

Door het mengen van deze kalverfeces met ongebluste kalk wordt het drogestofgehalte van het product hoger, naar verwachting kan een drogestofgehalte van circa 75% gehaald worden, met toevoeging van ongebluste kalk aan slib in de gewichtsverhouding van grofweg 1:1 werden drogestofgehalten van meer dan 95 % behaald (Van Den Bulk en Vergnes, 2019) en bij kippenmestverwerking werd 75 % drogestof gehaald met toevoeging van ongebluste kalk aan vloeibare kippenmest met een gewichtsverhouding van circa 1:5 (ongeblyste kalk: kippenmest) (De La Lande Cremer 1971). Omdat bij deze mestverwerking een lagere verhouding wordt (1:10) aangehouden zal ook het drogestof gehalte lager liggen dan deze 75%.

Er zijn twee processen waardoor het drogestofgehalte hoger wordt: enerzijds de reactie  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{warmte}$ , waarbij water vastgelegd wordt in  $\text{Ca(OH)}_2$  en anderzijds door de warmte die bij deze

---

exotherme reactie ontstaat. Deze warmte zorgt voor verdamping, naar verwachting kan maximaal een temperatuur van circa 80 °C gehaald. Daarnaast voeg je met de ongebluste kalk drogestof toe. Het homogene eindproduct is te zien in figuur 2.

Naast het verhogen van het drogestofgehalte is het mogelijk dat door de verhoogde pH en verhoogde temperatuur organische verbindingen afbreken. In welke mate dit optreedt is onbekend, en het zal afhangen van de behaalde temperatuur en pH, maar ook van de samenstelling van de ingaande feces, en de hoeveelheid toegevoegde ongebluste kalk.



**Figuur 2** Eindproduct na mengen van ongebluste kalk bij blankvleeskalverfeces (gewichtsverhouding 1:10).

## 2.3 Meetstrategie

Om de ammoniak- en geuremissie die vrijkomt uit de mestmengmachine te kunnen kwantificeren zijn drie metingen uitgevoerd. Over de mestmengmachine is een tent geplaatst met aan een kant een luchtinlaat en aan de andere kant een ventilator waardoor er een duidelijke ingaande en uitgaande luchtstroom is. Deze ventilator is voorzien van een meetventilator waarmee het ventilatiedebiet bepaald kan worden. Aan de luchtinlaatkant zijn de temperatuur, luchtvochtigheid en achtergrondconcentraties van CO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub> gemeten. In de buis van de uitgaande luchtstroom zijn de concentraties geur, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub> gemeten. Behalve geur zijn alle concentraties continu gemeten om in beeld te krijgen hoeveel van welk gas op welk moment vrijkomt.

## 2.4 Meetmethoden

### 2.4.1 Achtergrondconcentraties

#### **Ammoniak**

De achtergrondconcentratie ammoniak is gemeten met een elektrochemische Draeger sensor (Polytron 8000).

## CO<sub>2</sub>

De achtergrondconcentratie CO<sub>2</sub> is gemeten met een Vaisala CO<sub>2</sub>-sensor (Vaisala; Vantaa, Finland; CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP252).

## Temperatuur en luchtvochtigheid

Temperatuur (°C) en relatieve luchtvochtigheid (%) werden continu gemeten met een temperatuur- en vochtsensor (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS), met een nauwkeurigheid van respectievelijk  $\pm 0,1$  °C en  $\pm 0,8\%$ .

Al bovenstaande sensoren zijn aangesloten op een datalogger (Campbell Scientific CR10), deze legt elke 5 min een datapunt vast.

## 2.4.2 Concentraties uitgaande luchtstroom

### CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub>

De concentraties CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub> zijn gemeten met de GASERA ONE (Gasera; Turku, Finland; GASERA ONE GHG photoacoustic gas analyzer), deze foto-akoestische gas monitor geeft elke 2 minuten een meetpunt voor de eerder genoemde gassen (zie figuur 3). Voor het bepalen van het debiet is een meetventilator gebruikt, de ijklijn van deze meetventilator is weergegeven in bijlage 1.



**Figuur 3** Links: Gasera; Rechts: Ventilator met meetventilator.

## Geur

De geurmetingen zijn in duplo uitgevoerd volgens de longmethode (voor geur en broeikasgassen). Bij de toepassing van de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002) wordt een 40 L Nalophan monsterzak in een gesloten vat geplaatst (zie figuur 4). Door lucht via een teflon slang uit het vat te zuigen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS), ontstaat in het vat onderdruk en wordt de te bemonsteren lucht aangezogen in de zak.

Bij de bepaling van de geurconcentratie wordt gedurende circa twee uur lucht aangezogen met een flow van ca. 0,4 L/min. De te bemonsteren lucht wordt door een stoffilter (type #1130, diameter: 50 mm, 1-2  $\mu\text{m}$ , Savillex® Corp., Minnetonka, VS) geleid voordat het in een geurvrije zak wordt verzameld. De geuranalyses zijn binnen 30 uur na monsternamen uitgevoerd volgens de Europese norm EN 13725 (CEN, 2003). Het geurlaboratorium is onder nummer 2016LO-080 geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses conform NEN-EN 13725.



**Figuur 4** Meetopstelling voor het nemen van een luchtmonster middels de longmethode, voor bepaling van concentraties van geur.

### 2.4.3 Mestmenger en monsters

#### Temperatuur in mestmengmachine

Ter indicatie is de temperatuur (°C) van de mestmengmachine gemeten met een infrarood handmeter (merk onbekend) met een nauwkeurigheid van  $\pm 1,5$  °C. Tijdens meting 2 en 3 is tevens de temperatuur indicatief met een thermokoppel gemeten (merk en nauwkeurigheid onbekend).

#### Feces monsters

De feces is bemonsterd voorafgaande aan de behandeling en na afloop van het mengen met de ongebluste kalk. De feces monsters zijn geanalyseerd op drogestof, ruw as, organische stof, stikstof totaal, stikstof ammonium, fosfaat en kalium (pakket 4, Eurofins). Vanwege de behandeling met ongebluste kalk was de toegepaste NIR-analyse niet mogelijk voor kalium en stikstof. Daarom zijn van de betreffende monsters natchemische heranalyses gedaan.

Tevens werden de ingaande hoeveelheden (feces en kalk) voorafgaand aan het mengen door middel van weging bepaald.

## 2.5 Dataverwerking en analyse

### 2.5.1 Berekening ventilatiedebiet

Voor het berekenen van het ventilatiedebiet zijn de gemeten pulsen omgerekend in een debiet door middel van een reeds bekende ijklijn van de meetventilator (zie bijlage 1).

### 2.5.2 Berekening ammoniakemissie

Per meting werden de emissies ( $E$ ; g  $\text{NH}_3$ /ton kalverfeces) van ammoniak bepaald met behulp van het ventilatiedebiet over de meetperiode ( $V$  [ $\text{m}^3$ /uur]) en de bijbehorende concentratie in de uitgaande lucht ( $C_{\text{uit}}$  [ $\text{g NH}_3/\text{m}^3$ ]) en in de ingaande (achtergrond-)lucht ( $C_{\text{in}}$  [ $\text{g NH}_3/\text{m}^3$ ]). De emissies werden uitgedrukt in grammen ammoniak per ton kalverfeces ( $K$  ton kalverfeces). Deze berekening is weergegeven in onderstaande formule:

$$E = \frac{V \times (C_{\text{uit}} - C_{\text{in}}) \times t}{K}$$

waarbij:

- $E$  = emissie ammoniak in g  $\text{NH}_3$  per ton vaste kalvermest
- $V$  = ventilatiedebiet in  $\text{m}^3$ /uur
- $C_{\text{uit}}$  = concentratie in uitgaande luchtstroom in g  $\text{NH}_3/\text{m}^3$
- $C_{\text{in}}$  = concentratie in ingaande luchtstroom in g  $\text{NH}_3/\text{m}^3$
- $t$  = procestijd mestmengmachine (tevens meetduur)
- $K$  = aantal ton kalverfeces

---

### 2.5.3 Berekening broeikasgasemissies

Voor de gemeten broeikasgassen CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, en CH<sub>4</sub> zijn de emissies op vergelijkbare wijze als voor ammoniak bepaald. Voor CH<sub>4</sub> werd daarbij uitgegaan van achtergrondconcentratie van 1,7 ppm (dit is een conservatieve aanname aangezien het wereldwijde gemiddelde al hoger is namelijk 1,9 ppm, NOA 2021<sup>1</sup>).

### 2.5.4 Berekening geuremissie

Per meting werden de emissies (E; OU<sub>E</sub>/s per ton kalverfeces) van geur bepaald op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele meetperiode (V [m<sup>3</sup>/uur per dier aanwezig]) en de gemiddelde concentratie in de uitgaande lucht (C<sub>uit</sub> [OU<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>]). De emissies worden uitgedrukt per ton vaste kalverfeces.

$$E = \frac{V \times C_{uit} \times t}{K}$$

waarbij:

- E = emissie ammoniak in OU<sub>E</sub>/ per ton vaste kalvermest
- V = ventilatiedebiet in m<sup>3</sup>/uur
- C<sub>uit</sub> = concentratie in uitgaande luchtstroom in OU<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>
- t = procestijd mestmengmachine
- K = aantal ton vaste kalverfeces

De emissie van geur is per meting uitgerekend in OU<sub>E</sub>/ ton vaste kalvermest en uitgedrukt als natuurlijke logaritme, zonder achtergrondconcentratie in mindering te brengen. Daarnaast is uitgaande van circa 1,25 (Gollenbeek et al., 2021) ton kalverfeces per dierplaats per jaar. Hiermee is gerekend hoeveel deze mestbehandeling bijdraagt aan geur emissie per dierplaats uitgedrukt in OU<sub>E</sub>/s/dierplaats.

---

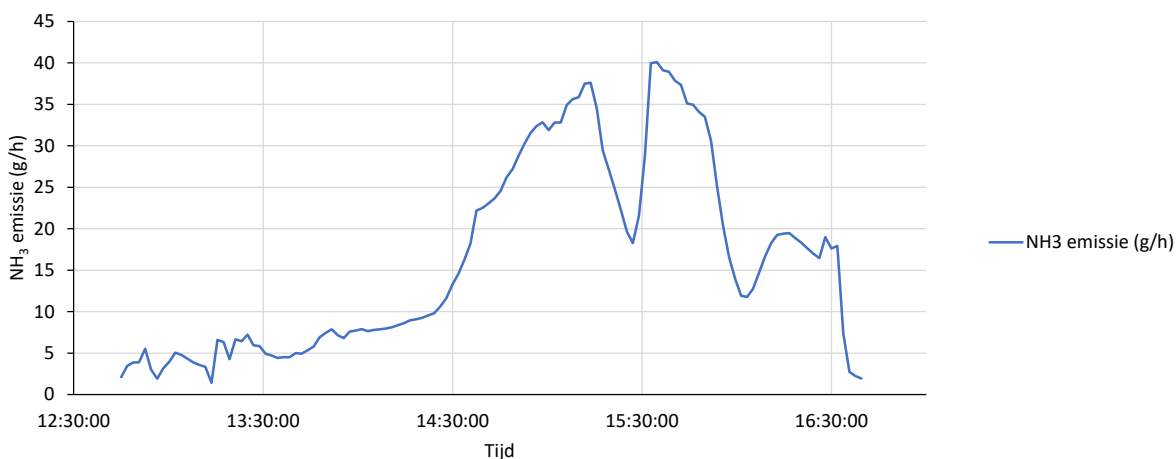
<sup>1</sup> <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/sterke-toename-van-methaan-in-2021>.

# 3 Resultaten en discussie

## 3.1 Meting 1

### Ammoniak

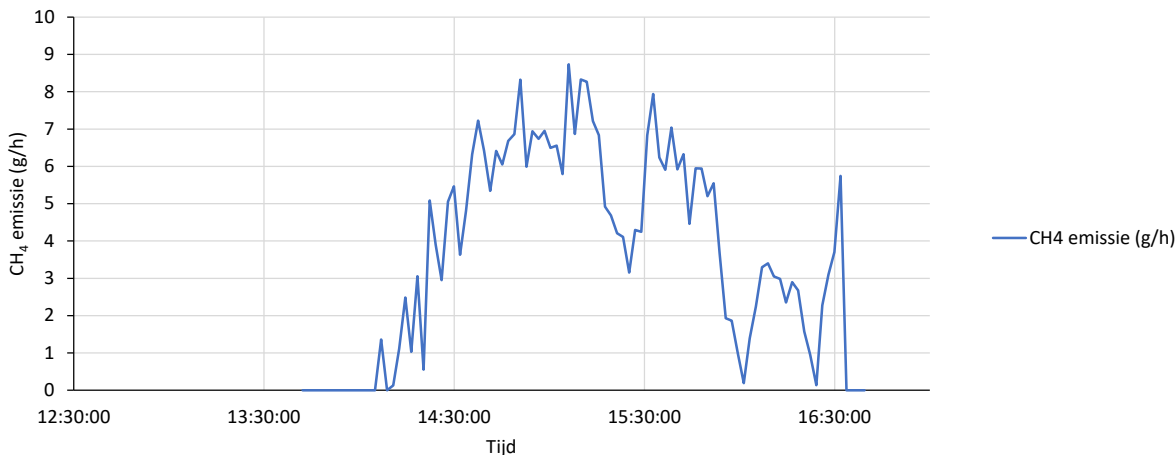
Meting 1 is uitgevoerd op 17 november 2021, van 13.00 tot 16.26 uur. Tijdens deze meting was de gemiddelde buitentemperatuur 9,9 °C bij een RV van 86%. De mestmengmachine is gestart om 12:50 en gestopt om 15:50, waarna de deksel van de mestmengmachine is geopend. Tussen 15:10 en 15:20 heeft de mestmengmachine tijdelijk stil gestaan (zie dip in figuur 5). Rond 16:00 is de tent geopend en zijn de emissiewaardes gedaald. In de mestmengmachine is 800 kg vaste kalvermest gedaan met 100 kg ongebluste kalk. Na een uur is hier nog 50 kg ongebluste kalk bijgemengd. Met de infrarood thermometer is een temperatuur van 60 °C gemeten. De vrijgekomen emissie tijdens deze meting bedraagt 75,2 g NH<sub>3</sub> per ton kalverfeces. Tijdens de meting was het debiet gemiddeld genomen circa 1.560 m<sup>3</sup>/uur.



**Figuur 5** Ammoniakemissie tijdens meting 1 van de mestmengmachine.

### Broeikasgassen

Naast ammoniak zijn ook de broeikasgassen CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub> gemeten. De concentraties CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O bleven stabiel en op een laag niveau tijdens het gehele proces. Tijdens het proces kwam daarentegen wel een kleine hoeveelheid methaan vrij (zie figuur 6). Het vrijkomen van methaan lijkt hetzelfde verloop te hebben als dat van ammoniak. De vrijgekomen emissie tijdens deze meting bedraagt 15,8 g CH<sub>4</sub> per ton kalverfeces.



**Figuur 6** Methaanemissie tijdens meting 1 van de mestmengmachine.

## Mestmonsters

Tijdens meting 1 zijn mestmonsters genomen van de kalverfeces voordat deze in de mestmengmachine werd ingebracht, direct na het stoppen van de mestmengmachine en zes dagen na het stoppen van de mestmengmachine. De resultaten hiervan zijn hieronder weergegeven in tabel 1.

**Tabel 1**     *Analyseresultaten kalverfeces batch 1.*

	<b>DS</b> <b>(g/kg)</b>	<b>Ruw as</b> <b>(g ras/kg)</b>	<b>OS</b> <b>(g os/kg)</b>	<b>N-totaal</b> <b>(g N/kg)</b>	<b>N-ammoniak</b> <b>(g N/kg)</b>	<b>N organisch</b> <b>(g N/kg)</b>	<b>P totaal</b> <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg</b>	<b>K</b> <b>(K<sub>2</sub>O g/kg)</b>
Batch 1 vers	206	31	175	7,5	1,7	5,8	3,9	3,9
Batch 1 eind	349	271	78	6,8	3,5	3,3	3,8	3,5
Batch 1 dag 6	390	290	100	6,4	0,1*	6,4	3,9	2,8

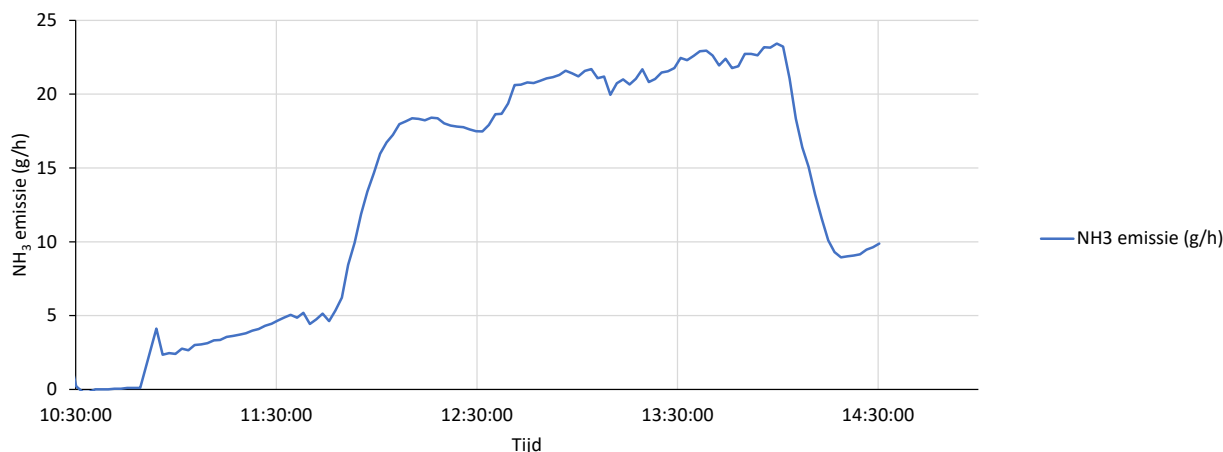
## Geur

Het gemiddelde van de 2 geuranalyses is 9696 OUE/m<sup>3</sup>. Ervan uitgaande dat de gemeten geuremissie gedurende circa 2 uur representatief is voor het gehele proces van 4 uur geeft 1,1 OUE/s/ton kalverfeces. Per dierplaats is dit circa 1,4 OUE/s.

## 3.2 Meting 2

### Ammoniak

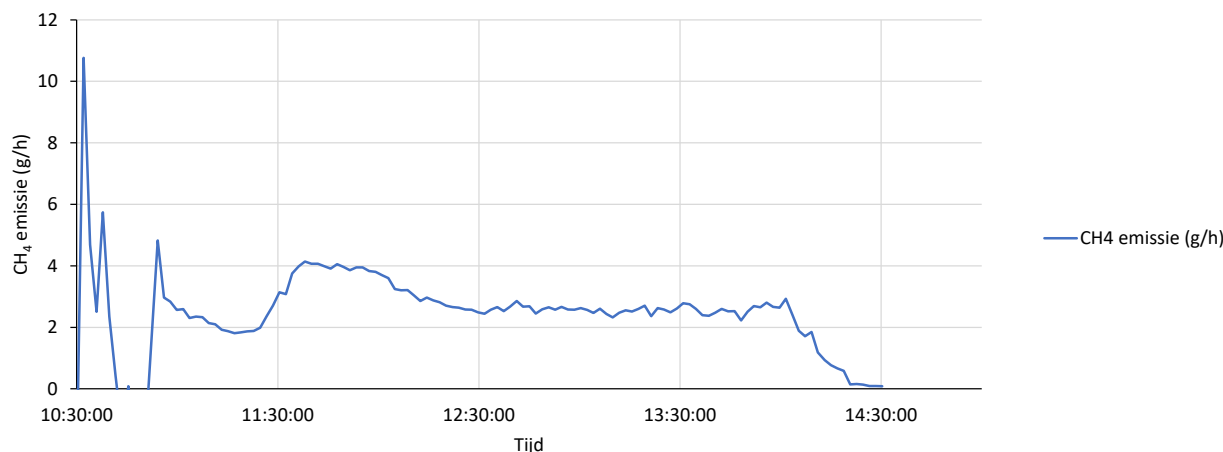
Meting 2 is uitgevoerd op 23 november 2021, van 10.54 tot 14.18 uur. Tijdens deze meting was de gemiddelde buitentemperatuur 7,6 °C bij een RV van 76%. De mestmengmachine is gestart om 10:30 en gestopt om 14:05. Tot 11:30 heeft de mestmengmachine echter nauwelijks gedraaid vanwege een te zware lading. Nadat de mestmengmachine is gestopt daalde de emissie sterk (zie figuur 7). In de mestmengmachine is 950 kg vaste kalvermest gedaan met 82 kg ongebluste kalk. De temperatuur van de mest was om 10:30 uur 12 °C en liep rustig op tot 36 °C om 14:00 uur. Tijdens deze meting heeft de deksel open gestaan, met als doel om verdamping van water en de ammoniakemissie te maximaliseren. De vrijgekomen emissie tijdens deze meting bedraagt 53,6 g NH<sub>3</sub> per ton vaste kalvermest. Tijdens de meting was het debiet gemiddeld genomen circa 1.580 m<sup>3</sup>/uur.



**Figuur 7** Ammoniakemissie tijdens meting 2 van de mestmengmachine.

### Broeikasgassen

Ook tijdens meting 2 bleven de concentraties CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O stabiel en op een laag niveau tijdens het gehele proces. Tijdens het proces kwam daarentegen wel een kleine hoeveelheid methaan vrij (zie figuur 8). Het vrijkomen van methaan lijkt hetzelfde verloop te hebben als dat van ammoniak. De vrijgekomen emissie tijdens deze meting bedraagt 9,2 g CH<sub>4</sub> per ton vaste kalvermest.



**Figuur 8** Methaanemissie tijdens meting 2 van de mestmengmachine.



---

## Mestmonsters

Tijdens meting 2 zijn mestmonsters genomen van de vaste kalvermest voordat deze in de mestmengmachine werd ingebracht en direct na het stoppen van de mestmengmachine. De resultaten hiervan zijn hieronder weergegeven in tabel 2.

**Tabel 2**     *Analyseresultaten kalverfeces batch 2.*

	<b>DS</b> <b>(g/kg)</b>	<b>Ruw as</b> <b>(g ras/kg)</b>	<b>OS</b> <b>(g os/kg)</b>	<b>N-totaal</b> <b>(g N/kg)</b>	<b>N-ammoniak</b> <b>(g N/kg)</b>	<b>N organisch</b> <b>(g N/kg)</b>	<b>P totaal</b> <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg</b>	<b>K</b> <b>(K<sub>2</sub>O g/kg)</b>
Batch 2 start	202	25	177	7,4	1,6	5,8	3,6	3,1
Batch 2 eind	333	206	127	6,7	0,1	6,6	3,7	3,0

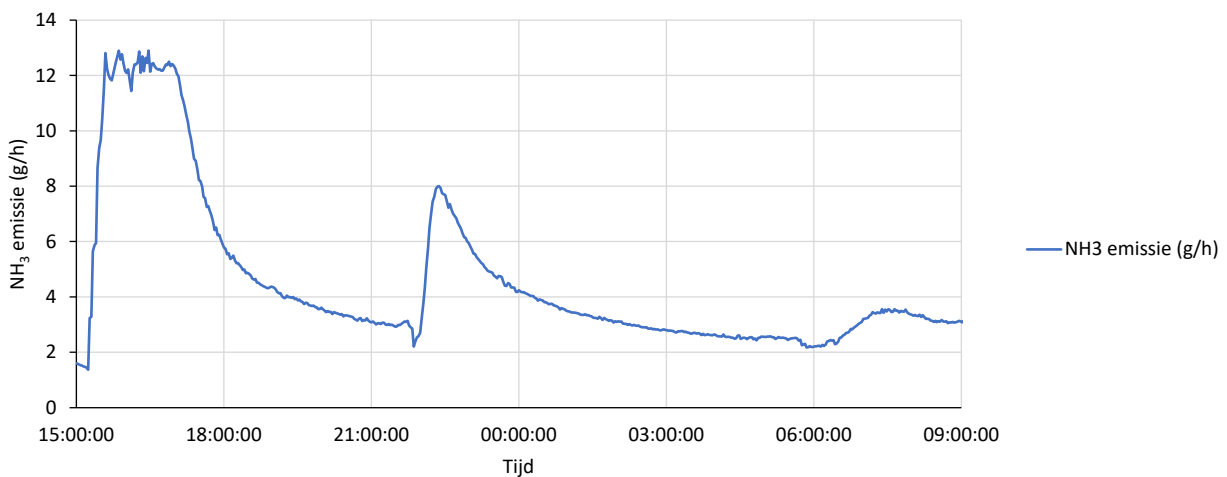
## Geur

Het gemiddelde van de 2 geuranalyses is 3933 OUE/m<sup>3</sup>. Ervan uitgaande dat de gemeten geuremissie gedurende circa 2 uur representatief is voor het gehele proces van 4 uur geeft 0,3 OUE/s/ton kalverfeces. Per dierplaats is dit circa 0,4 OUE/s.

### 3.3 Meting 3

#### Ammoniak

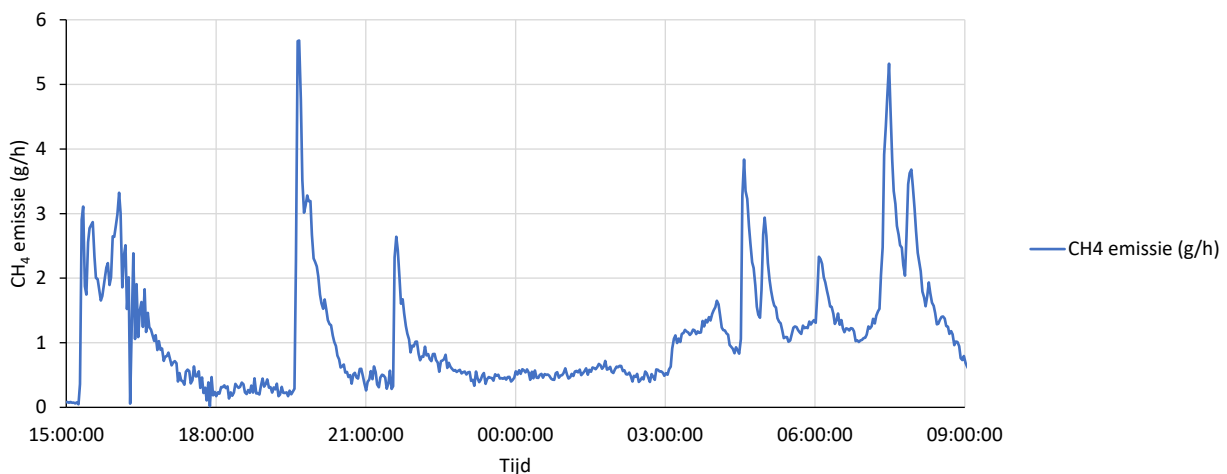
Meting 3 is uitgevoerd op 23 en 24 november 2021, van 15:10 tot 9:20 uur. Tijdens deze meting was de gemiddelde buitentemperatuur 7,7 °C bij een RV van 84%. De mestmengmachine is gestart om 15:10 en gestopt om 17:00. Bij het opstarten had de motor enkele korte opstartproblemen. Nadat de mestmengmachine is gestopt daalde de emissie sterk. Om 21:30 en 5:30 uur is de mestmengmachine nog een korte tijd aan geweest, hier zijn ook nog piekjes te zien in de emissiewaardes (zie figuur 9). In de mestmengmachine is 900 kg vaste kalvermest gedaan met 89,5 kg ongebluste kalk. De temperatuur van de mest steeg snel van 15:30 tot 16:00 van respectievelijk 7,5 °C tot 24,0 °C. De temperatuur piekte om 0:00 op 37 °C en daalde vervolgens tot 28 °C om 9:20 uur. Tijdens deze meting heeft de deksel open gestaan. De vrijgekomen emissie tijdens deze meting (dus gedurende circa 18 uur) bedraagt 91,8 g NH<sub>3</sub> per ton vaste kalvermest. Tijdens de meting was het debiet gemiddeld genomen circa 1.550 m<sup>3</sup>/uur.



**Figuur 9** Ammoniakemissie tijdens meting 3 van de mestmengmachine.

#### Broeikasgassen

Ook tijdens meting 3 bleven de concentraties CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O stabiel en op een laag niveau tijdens het gehele proces. Tijdens het proces kwam daarentegen wel een kleine hoeveelheid methaan vrij (zie figuur 10). Het vrijkomen van methaan lijkt op het begin hetzelfde verloop te hebben als dat van ammoniak. Na 18.00 uur zijn echter wat methaanpieken te zien in de grafiek. De vrijgekomen emissie tijdens deze meting bedraagt 22,3 g CH<sub>4</sub> per ton vaste kalvermest.



**Figuur 10** Methaanemissie tijdens meting 3 van de mestmengmachine.

## Mestmonsters

Tijdens meting 3 zijn mestmonsters genomen van de vaste kalvermest voordat deze in de mestmengmachine werd ingebracht en direct na het stoppen van de mestmengmachine. De resultaten hiervan zijn hieronder weergegeven.

**Tabel 3** Analyseresultaten kalverfeces batch 3.

	<b>DS</b> <b>(g/kg)</b>	<b>Ruw as</b> <b>(g ras/kg)</b>	<b>OS</b> <b>(g os/kg)</b>	<b>N-totaal</b> <b>(g N/kg)</b>	<b>N-ammoniak</b> <b>(g N/kg)</b>	<b>N organisch</b> <b>(g N/kg)</b>	<b>P totaal</b> <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg</b>	<b>K</b> <b>(K<sub>2</sub>O g/kg)</b>
Batch 3 start	214	32	182	7,4	1,7	5,7	3,7	3,9
Batch 3 eind	303	161	142	6,6	0,1	6,5	3,6	7,2

## Geur

Het gemiddelde van de 2 geuranalyses is 2853 OU<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>. Ervan uitgaande dat de gemeten geuremissie gedurende circa 2 uur representatief is voor het gehele proces van 18 uur geeft 0,2 OU<sub>E</sub>/ton kalverfeces. Per dierplaats is dit circa 0,3 OU<sub>E</sub>/s.

## 3.4 Discussie

### Ammoniak

De gemiddelde ammoniakemissie komt uit op 73,5 g NH<sub>3</sub> per ton kalverfeces. De verschillen per meting zijn echter groot. De hoogste emissie is gemeten bij meting 3, dit komt mede door de langere meetperiode en het extra mengen van het product. De hoogste emissies per uur zijn echter gehaald tijdens meting 1. Tijdens deze meting is ook de temperatuur hoger geweest dan tijdens de andere metingen. Dit kan erop duiden dat de reactie met ongebluste kalk tijdens deze meting beter op gang is gekomen dan tijdens meting 2 en 3. Een verklaring voor het feit dat de reactie beter verliep kan zijn dat tijdens meting 1 de deksel op de mestmengmachine gesloten is geweest, hierdoor blijft meer warmte in de bak en valt condens terug in de mestmengmachine. Dit vocht kan weer reageren met overgebleven ongebluste kalk. Meting 3 is gedurende een langere tijd uitgevoerd. Tijdens deze meting is te zien dat na verloop van tijd minder ammoniak vrijkomt, maar dat het niet tot een stop komt binnen de maximale 18 uur die gemeten is. Vergelijken met de standaard emissie per dierplaats, 3,5 kg/dierplaats/jaar (RAV lijst) is de aangetoonde emissie tijdens mestverwerken nihil (1,25\*73,5 geeft 92 g/dierplaats per jaar). Hierbij is echter nog niet meegenomen dat de emissie van NH<sub>3</sub> niet stopt na afronden van het mixen. Tijdens opslag zal dus ook NH<sub>3</sub> vrijkomen. De ammoniakemissie afkomstig van deze mestverwerking is vergeleken met een reguliere stal. Echter deze mestverwerking zal onderdeel zijn van een emissiearm stalsysteem (scheiding feces en urine aan de bron door middel van een geperforeerde mestband. En deze emissie moet dan ook niet gezien worden als een extra emissie boven op de referentie van 3,5 kg/dierplaats/jaar.

### Broeikasgassen

De concentraties CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O bleven stabiel en op een laag niveau tijdens het gehele proces. Tijdens het proces kwam daarentegen wel een kleine hoeveelheid methaan vrij. Gemiddeld over de metingen kwam 15,7 g CH<sub>4</sub> per ton kalverfeces vrij. Net zoals voor ammoniak is de hoogste emissiewaarde gemeten tijdens meting 3 en zijn de hoogste concentraties gemeten tijdens meting 1. Meting 3 is gedurende een langere tijd uitgevoerd. Tijdens deze meting is te zien dat na verloop van tijd er meer methaan emitteert.

Van Dooren et al., 2021 stelde op basis van metingen in een tweetal stallen een gemiddelde stalemissie vast van circa 35 kg CH<sub>4</sub>/ dierplaats/ jaar. Verwacht wordt dat dit deels te wijten is aan emissies uit mest (circa 25 kg/dierplaats/jaar) en deels uit enterische emissie (circa 10 kg/dierplaats/jaar). De gemeten 15,7 g CH<sub>4</sub> geeft circa 20 g CH<sub>4</sub>/dierplaats/jaar. Dit is nihil ten opzichte van de emissies uit de stal. Uit de metingen blijkt dat de emissie van methaan na behandeling laag is, echter er is geen reden om aan te nemen dat methaan niet meer kan ontstaan, dit laat ook de laatste meting zien waarbij gedurende 1 nacht is gemeten.

### Mestmonsters

In tabel 4 zijn de gemiddelden van de drie mestmonsters weergegeven, hieruit blijkt dat het drogestofgehalte gemiddeld is gestegen van 207 naar 328 g/kg. Dit terwijl het aandeel ruw as stijgt van 29

naar 213 g/kg. Dit valt te verklaren door het toevoegen van de ongebluste kalk (een gemiddelde stijging van circa 125 g ruw as/kg kan worden verwacht).

Het drogestofgehalte van het eindproduct is lager dan verwacht. Dit kan komen door een overschatting van de werkzaamheid van het proces (geschat was 75 % ds), of mogelijk wordt het ds gehalte onderschat met de gehanteerde analysemethode. Door de extreem hoge temperatuur die wordt gebruikt in de analysemethode voor drogestof bepaling is het mogelijk dat de watermoleculen die vastgelegd zijn in het calcium mineraal alsnog mee verdampen.

Door middel van onderstaande grofstoffelijke berekening is bepaald of de gemeten gehalten aan ammoniakemissies te herleiden zijn aan de gemeten verliezen aan stikstof in de mestmonsters. Uitgaande van gemiddeld 833 kg startmateriaal, 107 kg kalk en 121 kg waterverlies geeft grofweg een verlies van 677 gram N (Ntotaal van 7,4 naar 6,7 gN/kg), dit is omgerekend (\*17/14) 822 gram NH<sub>3</sub>. Uit de emissie berekening blijkt een gemiddelde emissie van 73,5 gram NH<sub>3</sub>, dit is maar een fractie (circa 9%) van wat er uit de grove berekening gemiddeld volgens de mestanalyses verdwijnt. Onduidelijk is hoe de andere 89% te verklaren is, oorzaken kunnen zijn:

- De gemeten ammoniakemissie is zo beperkt ten opzichte van de gehalten in de mest en valt mogelijk weg binnen de onzekerheden en foutenmarges van de mest analyses.
- Met de gehanteerde meetmethode wordt mogelijk niet alle N totaal vastgesteld bij het bewerkte product. Mogelijk wordt een deel van de stikstof vastgelegd in minerale vorm die bij de destructie onvoldoende kapotgaan.
- Bij emissie metingen voor ammoniak zijn twee verliesposten denkbaar die kunnen zorgen voor het meten van lagere emissies dan die daadwerkelijk optreden, namelijk lekstromen of kleef.
  - Bij lekstromen gaat lucht met ammoniak niet via de ventilator maar via 'natuurlijke' ventilatie (een gat o.i.d. waar wind doorheen waait) uit het systeem. Deze lucht wordt dan niet bemonsterd. Gezien het hoge debiet waarmee geventileerd is, is het onwaarschijnlijk dat dergelijke lekstromen opgetreden zijn.
  - Met kleef bedoelen we ammoniak die aan wanden blijft kleven, mogelijk aan bemonsteringslangetjes of bijvoorbeeld de gebruikte partytent. Kleef leidt vooral door vertraging van de ammoniak concentraties. Verwacht wordt dat de ammoniakkleef in de slangetjes bij deze metingen weinig invloed hebben op de uitkomst, er wordt alleen uitgaande lucht bemeten (dus geen sterke wisselingen in concentraties) en er zijn relatief korte slangetjes gebruikt. Kleef kan ook optreden op de wanden van de partytent, ook in combinatie met condensvorming. Bij de langdurige meting van 18 uur zal een groot deel van deze ammoniak wel bemeten worden. Maar gezien het feit dat ammoniakemissies niet nul zijn na afloop van de metingen en deze restemissie verklaart kan worden door emissie uit de behandelde mest of door kleef, kan niet worden uitgesloten dat enige sprake is van kleef van ammoniak aan het tentdoek.

**Tabel 4**     *Analyseresultaten kalverfeces batch 3.*

	<b>DS (g/kg)</b>	<b>Ruw as (g ras/kg)</b>	<b>OS (g os/kg)</b>	<b>N-totaal (g N/kg)</b>	<b>N-ammoniak (g N/kg)</b>	<b>N organisch (g N/kg)</b>	<b>P totaal P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg</b>	<b>K (K<sub>2</sub>O g/kg)</b>
Gemiddelde start	207	29	178	7,4	1,7	5,8	3,7	3,6
Gemiddelde eind	328	213	116	6,7	1,8	5,0	3,7	4,6

### Geur

Gemiddeld genomen is een bijdrage van 0,55 OUE/s per dierplaats te verwachten van de mestbewerking. Beurskens en Hol vonden in 2004 per aanwezig dier een gemiddelde geuremissie van 43,9 OUE/s. Heeres et al. 2017 rapporteerden per dierplaats een gemiddelde geuremissie van 40,9 OUE/s. De gemiddelde bijdrage van de mestbewerking omgerekend op jaarbasis valt dus mee. Omdat de mest behandeld wordt met een batch proces kan de tijdelijke bijdrage wel hoger zijn. Omdat geur gaat om beleving kunnen deze getallen niet zomaar met elkaar vergeleken worden. Echter ook de geuremissies uit de stal zijn niet constant, bijvoorbeeld bij afvoer en aanvoer van kalveren kunnen de geuremissies hoger zijn. Deze mestverwerking is onderdeel van een emissiearm stalsysteem. En deze geur emissie moet dan ook niet gezien worden als een extra emissie boven op een reguliere stal emissie. Mogelijk is de geur emissie van het emissiearme stalsysteem ook lager.

---

## 4 Conclusie

Op basis van de uitgevoerde metingen wordt geconcludeerd:

- Het mestverwerkingsproces met ongebluste kalk leidde tot wisselende resultaten (gemiddeld 328 g ds/kg).
- Gemiddeld is een emissie van 73,5 g NH<sub>3</sub> per ton kalverfeces gemeten tijdens de mestbewerking. Wel bleek ook na langer meten (18 uur) dat de emissies aan NH<sub>3</sub> niet gestopt zijn, de emissies nemen af naar circa 2-4 g NH<sub>3</sub>/uur. Met een nageschakelde luchtwasser wordt de ammoniakemissie vanuit de mestverwerking (90 % verwijderingsrendement) 7,4 g NH<sub>3</sub> per ton kalverfeces.
- Een deel van de afname van stikstof in het mestproduct is niet te verklaren met de gemeten emissies. De gemeten gemiddelde stikstof emissie is circa 9 % van de totale verminderde hoeveelheid stikstof in de mest na de mestbewerking. Mogelijke verklaringen kunnen zijn: onzekerheden en foutenmarge bij mestmonsters en mest analyses, en vastlegging van stikstof in mineralen die bestand zijn tegen destructie voor de analyse. Ook kan niet worden uitgesloten dat enige sprake is van kleef van ammoniak aan het tentdoek, waardoor de emissie mogelijk langer doorgaat, zie ook voorgaande punt.
- Emissies aan broeikasgassen methaan, lachgas en koolstofdioxide waren niet noemenswaardig.
- Gemiddeld genomen is een bijdrage van 0,55 OU<sub>E</sub>/s per dierplaats te verwachten. Dit is relatief laag ten opzichte van de te verwachten geur emissies uit de stal. Met nageschakelde luchtwasser (verwijderingsrendement van 30 %) wordt de geuremissie vanuit de Mestverwerking 0,3 OU<sub>E</sub>/s per dierplaats.

---

# Literatuur

Lande Cremer De La L.C.N., 1971 Het reukloos verwerken van drijfmest van kippen tot een strooi aar product met behulp van ongebluste kalk, IB-rapport-1971- blz 27.

Bulk Van Den J., A. Vergnes, STOWA, SLIBVERWERKING MET ONGEBLUSTE KALK MIDDELS HET MID MIX PROCES, ISBN 978.90.5773.871.5.

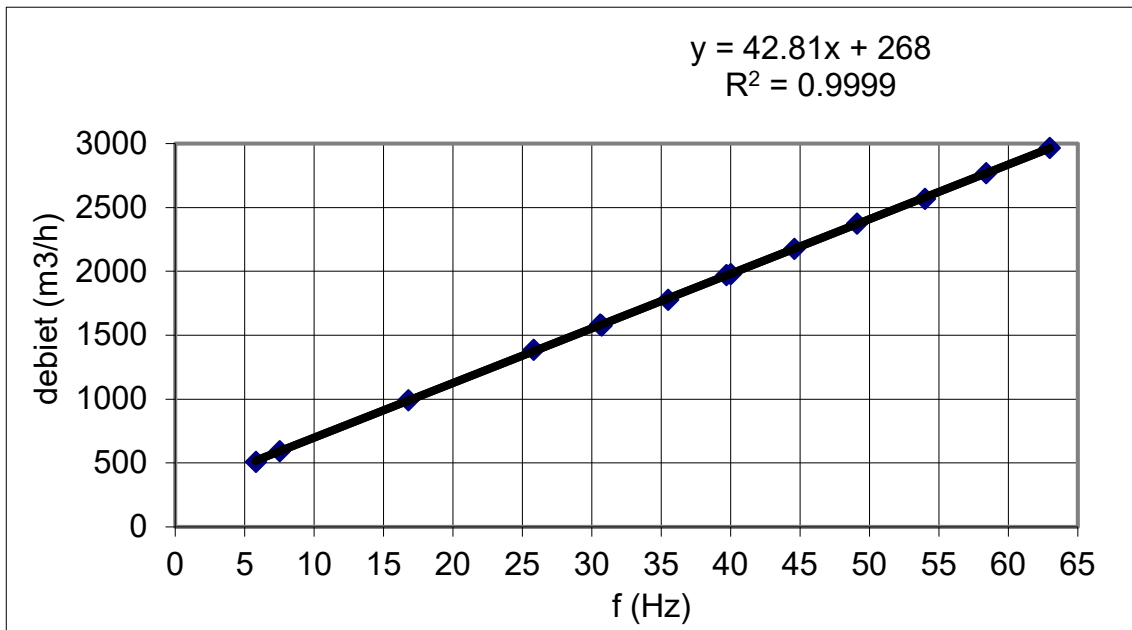
Jetta Heeres, Maaïke Wolthuis, Sjoerd Bokma, Dolf Smits, Norbert Stockhofe, Izak Vermeij en Kees van Reenen, 2017. *Alternatieve vloeren voor vleeskalveren*; Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 1056.

Gollenbeek L.R., J.P.B.F. van Gastel, F.A.M. Casu, N. Verdoes, 2021. *Emissies en kosten van verschillende scenario's voor de verwaarding van kalvermest; NL Next level mestverwaarden*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1340.

Timmerman, M., F.E. de Buissonjé, 2014. Methaanproductie van dikke mestfracties: met en zonder voorbehandeling. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 838.

A.G.C. Beurskens J.M.G. Hol, Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LXI, Augustus 2004, Rapport 220.

## Bijlage 1 IJklijn meetventilator



**Figuur B1.1** IJklijn behorend bij de gebruikte meetventilator.