



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Case/control-onderzoek naar de vermindering van de methaan- en ammoniakemissie uit melkveemest door toepassing van mestadditieven

MEET-ID RAPPORT 2021-002

Juni 2021

Gert-Jan Monteny (Monteny Milieu Advies / Meet-ID)

Erik van Well (CLM Onderzoek en Advies)

Bram Bos (Wageningen Livestock Research)

Daniel Puente Rodríguez (Wageningen Livestock Research)

VOORWOORD

Wageningen Livestock Research (WLR) heeft in het kader van het project Aanpassing Melkveestallen voor Minder Methaan (AM3) binnen de Klimaatvelop van het Ministerie van LNV, opdracht gegeven aan CLM Onderzoek en Advies (CLM), Monteny Milieu Advies (MMA) en Meet-ID BV (Meet-ID) voor het uitvoeren van een pottenproef voor case/control-onderzoek naar de emissie van methaan en ammoniak van mest van een melkrundveebedrijf behandeld met 3 mestadditieven. In dit rapport worden de methodologie en resultaten gepresenteerd.

Meet-ID is de opdrachtgevers en de additief-leveranciers erkentelijk voor het gestelde vertrouwen en de prettige samenwerking.

Voor deze opdracht gelden de Algemene Voorwaarden van Meet-ID, die zijn gepubliceerd op de website www.meetid.nl.

Samenvatting

In het project Aanpassing Melkveestallen voor Minder Methaan (AM3), binnen de Klimaatenvelop 2019 van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, worden combinaties van methaan reducerende maatregelen die (bijna) praktijkrijp zijn getest, om in bestaande melkveestallen met een traditionele roostervloer de methaanemissie uit mest te verminderen.

In deze specifieke studie richten we ons op additieven aan de mest, mede op verzoek vanuit de sector. Dit project is uitgevoerd in een samenwerking tussen CLM Onderzoek en Advies (CLM), Monteny Milieu Advies (MMA), Meet-ID en Wageningen Livestock Research (WLR), waarbij case/control-metingen in een zgn. pottenproef zijn uitgevoerd van 2 oktober t/m 10 november 2020 in het laboratorium van Meet-ID te Lemelerveld. De focus was op methaan; aanvullend is ook ammoniak gemeten.

De doelstellingen van deze studie waren:

- *Een proefopstelling en een methodologie ontwikkelen die een geaccepteerde standaard kan zetten voor het bemeten van additieven t.a.v. hun potentiële effect op methaan en ammoniak.*
- *Het meten van drie in de Nederlandse markt beschikbare additieven aan runderenmest op hun potentie om het ontstaan van methaan uit mest tegen te gaan.*

Na een intensief traject van voorbereiding, waarbij een inventarisatie van additieven (d.m.v. desk studie en gesprekken met experts) en de nodige gesprekken werden gevoerd met potentiële additief-leveranciers, werden 3 leveranciers bereid gevonden om medewerking te verlenen. In plexiglaspotten van ca. 25 liter elk werden van deze 3 additieven (2 met een microbiologisch werkingsprincipe als basis en 1 met een chemisch werkingsprincipe) twee doseringen in duplo toegediend aan 7 liter rundvee-drijfmest afkomstig van een melkveebedrijf. In 2 potten werd onbehandelde drijfmest gemeten als referentie (controle) en in 2 potten werd melkzuur toegepast dat vanwege een bekend mechanisme de methaan- en ammoniakemissie kan reduceren. De potten stonden in de ongeklimateerde, maar wel geïsoleerde ruimte van Meet-ID en werden bemeten op de concentratie van methaan en ammoniak in de lucht boven de mest. Voor de metingen werd een combinatie gebruikt van een zgn. 'meetpuntomschakelaar', waarmee elke 15 minuten een andere pot werd bemeten, en foto-akoestische analysers voor de concentratie van ammoniak en methaan.

Tijdens de data-analyse kwam naar voren dat de hoeveelheid lucht waarmee elke pot werd belucht in de periode dat niet gemeten werd, ondanks de oorspronkelijke verwachting, niet gelijk was. Dit was wel het geval voor de hoeveelheid lucht tijdens de meting aan elke pot. Echter, vanwege de verschillen in hoeveelheid beluchting en de mogelijke invloed hiervan op de vorming en emissie van beide gassen kunnen aan de metingen geen harde conclusies worden verbonden. Dit wordt nog versterkt door de aanzienlijke variatie (dag/nacht-patroon) van de concentraties.

Vanwege deze problemen en dus de onmogelijkheid om conclusies te kunnen trekken hebben we besloten om de resultaten te anonimiseren en ons op dit rapport op de methodologische kant van het onderzoek te concentreren. Van wat we hebben kunnen zien en inschatten leek geen van de

additieven perspectief te bieden om de methaanemissie te verminderen. Er zou mogelijk zelfs sprake kunnen zijn van een toename in de emissies. Voor ammoniak vermoeden we dat het additief met een chemisch werkingsprincipe een potentieel heeft voor emissiereductie; voor beide andere additieven is dat de vraag.

Op basis van de uitkomsten van dit onderzoek is de onderzoeksmethodiek sterk verbeterd. De continu-aanzuiging/beluchting van de potten is gelijkgetrokken door het plaatsen van kritische openingen op de aanzuigleidingen. De proefopstelling is in een geklimatiseerde ruimte geplaatst met een continue temperatuur van 15 graden Celsius. Andere geleerde lessen uit dit proces hebben te maken met het volume mest i.r.t. de headspace en met de samenstelling van de mest. De potten worden in de nieuwe testopstelling gevuld met minimaal 12 liter mest en er is meer aandacht voor voldoende mestbuffer met een homogene mestsamenstelling, zodat alle potten dezelfde aanvankelijke mestsamenstelling kennen.

Inhoud

Samenvatting.....	3
1. Inleiding	6
2. Materiaal en Methoden	8
2.1 Proefopstelling	8
2.2 Additieven	11
2.3 Behandelingen.....	11
2.4 Dataverwerking en - analyse	13
3. Resultaten.....	15
3.1 Concentraties CH ₄	15
3.2. Concentraties NH ₃	18
3.3 Mestsamenstelling	21
4. Discussie en perspectief	23
4.1 Methodisch.....	23
4.2 Uitkomsten	24
5. Conclusies.....	25
Literatuur.....	26
Bijlage A. Gebruikte analysers.....	27
Bijlage B. Volledige meetperiode met 1 referentie-pot.....	28

1. Inleiding

In het project Aanpassing Melkveestallen voor Minder Methaan (AM3), binnen de Klimaatenvelop 2019 van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV), worden combinaties van methaan reducerende maatregelen die (bijna) praktijkrijp zijn getest, om in bestaande melkveestallen met een traditionele roostervloer de methaanemissie uit mest te verminderen.

Oogmerk van het project is om een pakket aan mogelijke combinaties van maatregelen te hebben, met een goede inschatting van hun reductie-potentie voor methaan, zodat die op dat moment breed kunnen worden toegepast. Deze maatregelen worden beoordeeld niet alleen op hun technische potentie, maar ook op hun inpasbaarheid en aantrekkelijkheid in de melkveepraktijk. Er worden ook aanbevelingen gedaan voor beleid en praktijk over hoe implementatie en adoptie zijn te versnellen, zodat in 2030 al een wezenlijke omslag kan worden bereikt in de methaanemissie uit de mest in de melkveehouderij. Daarbij wordt ook gekeken naar de ammoniakemissie, dierenwelzijn en diergezondheid en andere relevante duurzaamheidsaspecten.

Samen met de andere projecten uit de Klimaatenvelop draagt dit project bij aan de mogelijkheden van de melkveehouderij om betekenisvol bij te dragen aan de nationale klimaatdoelstellingen voor 2030 en verder.

Het AM3 project wordt gefinancierd door het Ministerie van LNV en uitgevoerd door Wageningen Livestock Research (WLR) en Wageningen Economic Research, in samenwerking met LTO Nederland en Schuttelaar & Partners.

Binnen het AM3 project is een lijst van kansrijke technische maatregelen opgesteld en worden er inmiddels ook al metingen uitgevoerd. In deze specifieke studie richten we ons op additieven aan de mest, mede op verzoek vanuit de sector. Dit project is uitgevoerd in een samenwerking tussen CLM Onderzoek en Advies (CLM), Monteny Milieu Advies (MMA), Meet-ID en WLR.

Additieven

Momenteel wordt er in de Nederlandse veehouderij een aantal middelen aan mest toegevoegd om verschillende processen te verbeteren of te stoppen. Veel middelen worden gebruikt om de verpompbaarheid van de mest te verbeteren, of de geur te reduceren. Daarnaast worden er bij verschillende middelen ook claims gedaan over het effect op ammoniakemissie en methaanemissie, maar daarvan is vaak het werkingsprincipe onbekend of het daadwerkelijke effect nog niet aangetoond. Doel van dit onderzoek is om verder licht te laten schijnen op de effecten van additieven op de reductie van methaan.

Aanleiding hiervoor is het verzoek vanuit de praktijk om aandacht te besteden aan additieven. Strikt genomen valt dit onderwerp buiten de reikwijdte van het AM3 project, maar geredeneerd vanuit de achterliggende doelstelling van dit project valt goed te verdedigen dat hier ook aandacht aan wordt besteed.

Na een proces van inventarisatie van mestadditieven die in de Nederlandse melkveehouderij worden gebruikt, is een aantal leveranciers benaderd. Drie leveranciers waren bereid om deel te nemen deze studie.

In dit rapport wordt verslag gedaan van case/control-metingen naar de effecten van drie mestadditieven, die zijn uitgevoerd van 2 oktober t/m 10 november 2020 in het laboratorium van Meet-ID te Lemelerveld. De focus was op methaan; aanvullend is ook ammoniak gemeten.

De doelstellingen van deze studie waren:

- *Een proefopstelling en een methodologie ontwikkelen die een geaccepteerde standaard kan zetten voor het bemeten van additieven t.a.v. hun potentiële effect op methaan en ammoniak.*
- *Het meten van drie in de Nederlandse markt beschikbare additieven aan rundermest op hun potentie om het ontstaan van methaan uit mest tegen te gaan.*

Vanwege technische problemen kunnen we geen harde conclusies trekken ten aanzien van de tweede doelstelling. We concentreren ons in de rapportage daarom met name op het methodologisch vraagstuk.

2. Materiaal en Methoden

2.1 Proefopstelling

De meetopstelling bestaat uit plexiglas/perspex-potten met dezelfde afmetingen, waarin rundveedrijfmest (hierna kortweg: mest) wordt gebracht die wordt behandeld met het additief ('case') en waarbij vergeleken wordt met onbehandelde mest (negatieve controle). Als positieve controle is daarnaast mest met een toevoeging van melkzuur bemeten. Voor deze positieve controle geldt dat bekend is dat melkzuur slechts een tijdelijke werking heeft, maar dat vooral in het begin van de metingen kan worden aangetoond dat de meetopstelling werkt. Het principe van een dergelijke meetopstelling met een geventileerde 'headspace' is beschreven in Groenestein *et al.* (2006). Die meetopstelling was bedoeld voor het verkennen van de emissiebronnen in een zeugenstal; de verversingsgraad van de 'headspace' was 14 – 21 keer per uur.

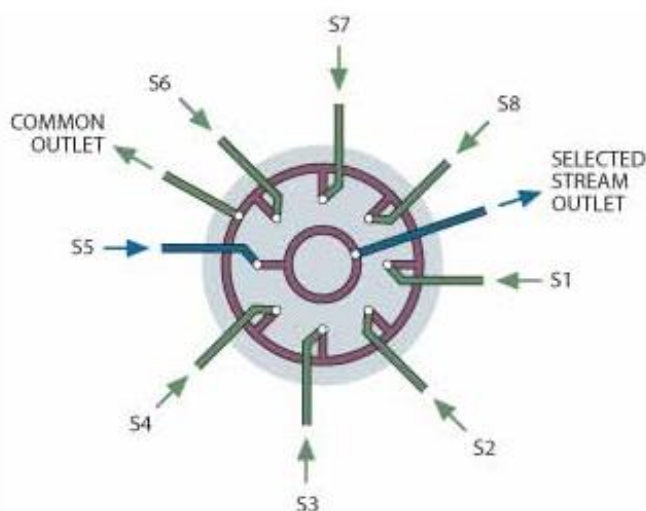
Voor het onderhavige onderzoek werden 16 potten gebruikt, elk met de volgende afmetingen:

- Diameter (binnenwerks): 23,5 cm
- Hoogte (binnenwerks): 58,5 cm

Elke pot heeft derhalve een volume van 25,4 liter. Om ventilatie tijdens praktijkomstandigheden na te bootsen en voldoende lucht aan te kunnen zuigen is op elke pot een ventilatiedeksel met een draai-sluiting en een rubberen afdichting geplaatst. Elk deksel was voorzien van 15 perforaties (3 mm) en een centrale doorvoer (1/4-duims), vergelijkbaar met de methode gebruikt door Groenestein *et al.* (2006), waarop de teflon-slang voor bemonstering van de lucht in de pot werd aangesloten. Alle teflon-slangen waren van exact gelijke lengte. In elk van de potten werd een gelijke hoeveelheid goed gemengde mest gebracht. Dit wordt verder uitgewerkt in paragraaf 2.2. De opstelling werd geplaatst en de test uitgevoerd bij Meet-ID (zie figuur 1,). De faciliteit van Meet-ID is een niet-geklimatiseerde maar wel geïsoleerde ruimte. Dit betekent dat het (enige) invloed ondervindt van de buitencondities (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid).

Voor de aansturing van de luchtbemonstering uit de potten werd een 15-kanaals 'multipoint-sampler' gebruikt. Aan de achterzijde van dit apparaat werden de teflon-slangen aangesloten van 15 potten; de 16^e pot, met de duplo van de negatieve referentie, werd direct aangesloten op een 2^e monitor, via een aparte pomp van 6 liter per minuut.

In de multipoint-sampler zijn 15 leidingen aangesloten op een kraan die zorgt voor schakeling tussen de kanalen (zie Figuur 1 voor het principe van een dergelijke kraan (bron: LSE)). Hierbij worden alle niet in gebruik zijnde kanalen met elkaar verbonden tot de zgn. 'common outlet'. Deze 'common outlet' wordt via een bulkhead-aansluiting op de achterkant van het apparaat naar buiten gevoerd en aangesloten op een externe pomp (6 liter per minuut). Het uitgangspunt was dat dit zou zorgen voor een restrictie van de flow. Aangezien de aangesloten teflon-slangen van gelijke lengte waren, werd aangenomen dat de flow door de niet-bemonsterde (niet gemeten; 'flush flow') leiding gelijk zou zijn. Dit bleek achteraf, naar aanleiding van de data-analyse niet het geval te zijn geweest (zie Tabel 1).



Figuur 1: Voorbeeld common path kraan (8 posities)

De 'selected stream outlet' is het kanaal waar daadwerkelijk aan gemeten wordt. In de multipoint sampler is een interne pomp aanwezig voor het aanzuigen van de lucht door het geselecteerde kanaal. Voordat de lucht in de pomp terecht komt wordt deze afgetapt en naar buiten gebracht, in een buffervaatje (ca. 1 liter). Hierop worden de analysers aangesloten (zie hierna). De flow door de geselecteerde leiding ('sample flow') was ca. 1,2 liter per minuut (zie Tabel 1). Dit betekent dat de overige 14 kanalen, via de 'common outlet' en de externe pomp, naar verwachting gelijkmatig werden afgezogen.

Tabel 1. Overzicht kanalen (excl. de 16^e pot, die op een aparte analyser was aangesloten), 'flush flow' per kanaal en 'sample flow' per kanaal in milliliter per minuut.

Kanaal	Flush flow (externe 6 liter pomp)	Sample flow (interne MCS pomp)
1	290	1222
2	196	1187
3	108	1198
4	81	1190
5	65	1185
6	59	1186
7	56	1186
8	52	1178
9	54	1181
10	61	1185
11	63	1181
12	80	1182
13	114	1185
14	185	1186
15	234	1188

Het verschil in 'flush flows' betekent dat de 'headspaces' van de potten tijdens het onderzoek, anders dan aanvankelijk werd aangenomen op basis van de specificaties van de common path kraan, niet gelijkmatig zijn geventileerd. Door het verschil in de 'flush flows' worden voor iedere pot verschillende hoeveelheden gassen afgevoerd, hetgeen de vorming van (nieuwe) gassen kan beïnvloeden. Bovendien zijn de nog aanwezige gassen tijdens het meten niet met elkaar te vergelijken. De 'sample flows' waren wel gelijk.

De multipoint-sampler schakelde elke 15 minuten, zodat elke pot gedurende 15 minuten werd gemeten met het aangegeven debiet van $\pm 1,2$ liter per minuut (Tabel 1); de totale meetcyclus was derhalve $15 \times 0,25 = 3,75$ uur. Tijdens de meting werd de desbetreffende 'headspace' $(43,5/58,5) \times 25,37 / 1,2 = \text{ca. eenmaal per kwartier}$ ververs.

Per meetcyclus van 15 minuten worden 15 metingen gedaan (tussen-meet-tijd van 90 seconden). Hiervan zijn de laatste 13 metingen genomen voor het berekenen van een 15-minuten-gemiddelde.

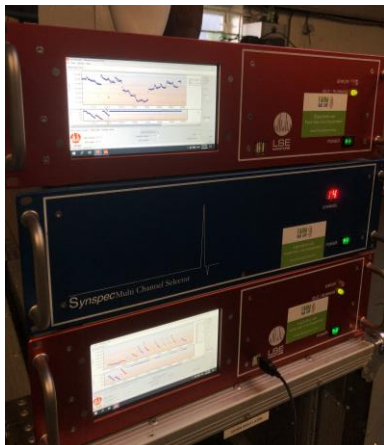
In het onderzoek is gebruik gemaakt van meetapparatuur van Farm Gas Live (Figuur 2 en Bijlage A). De NH_3 -monitor (fabrikant: LSE Groningen) maakt gebruik van foto-akoestiek en heeft twee meetingangen. Op een van de meetingangen werd via een Teflon-slang de multipoint-sampler aangesloten. De andere meetingang werd in dit onderzoek niet gebruikt. Met behulp van een interne pomp werd elke minuut een monster uit het buffervaatje genomen van 30-60 ml dat in de meetkamer van het instrument werd geanalyseerd. Met deze monitor werd de NH_3 -concentratie gemeten (LSE/Synspec Groningen NH_3 -1700 foto-akoestisch).

De CH_4 -monitor (fabrikant: LSE Groningen) is vergelijkbaar met de NH_3 -monitor, maar met een lichtbron met een specifieke golflengte voor methaan. Met deze monitor werd de CH_4 -concentraties gemeten (LSE/Synspec Groningen, CH_4 -3350).

De metingen begonnen direct nadat de additieven waren toegediend en de deksels waren aangebracht. Gedurende het onderzoek werd de NH_3 -concentratie in de ruimte van Meet-ID niet gemeten. Aangezien het hier een case/control-onderzoek betreft, is een eventueel effect daarvan op de uitkomsten gelijk geweest voor elke behandeling. De uitgevoerde metingen betreffen de concentratie van NH_3 en CH_4 uit elk van de potten.

Bij aanvang van de metingen op 2 oktober heeft geen pH-bepaling plaatsgevonden. Dat is wel gebeurd op 9 oktober voor en na het toevoegen van melkzuur. Hierbij zijn uitsluitend de desbetreffende potten gemeten. De resultaten staan in Tabel 3. Bij de afsluiting van de metingen op 10 november werd de pH van de toplaag van alle potten gemeten met een Mettler-Toledo (type FG2). Voorafgaand aan alle metingen is deze gekalibreerd op pH 9,2 en pH 7,0. De resultaten van de metingen uitgevoerd op 10 oktober staan in Tabel 2.

Vooraanzicht meetopstelling met de ammoniakmonitor (boven), de multipoint-sampler (midden) en de methaanmonitor (onder)



Opstelling pottenproef van Meet-ID



Figuur 2. Meetopstelling.

2.2 Additieven

Na een inventarisatie van mestadditieven die in de Nederlandse melkveehouderij worden gebruikt zijn er een aantal leveranciers benaderd. Drie leveranciers waren bereid om deel te nemen aan deze studie.

De keuze voor middelen is gebaseerd op claims van leveranciers over het ammoniak- en/of methaanreducerend effect van de bewuste middelen. Een van de drie middelen betrof een chemisch additief; beide andere middelen betroffen een microbiologisch additief.

Vanwege de ondervonden methodologische issues en de onmogelijkheid om de resultaten te kunnen rapporteren noemen we deze mestadditieven hier: Additief A, Additief B en Additief C.

In aanvulling op deze drie stoffen werden ook twee potten gevuld met daaraan melkzuur toegevoegd vanwege de bekende werking op methaan en ammoniak (zie § 2.3).

2.3 Behandelingen

Op vrijdag 2 oktober 2020 werd ca. 150 liter mest opgehaald van een melkveebedrijf in Lemelerveld; van dit bedrijf betreft Meet-ID de mest voor al haar onderzoek en metingen. Op die dag werd de mest in een speciekuip gemixt tot een homogeen geheel. Daarvan werden 2 monsters genomen voor analyse op de samenstelling (zie Tabel 2). Vanuit de speciekuip werden porties van 7 kg mest afgewogen en voorzichtig in elke pot gebracht (foto's 1 en 2). Dit leidde tot een mesthoogte van ca. 15 cm. De resterende ($58,5 - 15 =$) 43,5 cm van elke pot was de headspace, welke werd bemonsterd.



Foto's 1 en 2. Pot met weeginrichting en gevulde pot juist voor aanvang van de metingen.

In totaal waren 16 gelijke potten beschikbaar: 4 per additief en vervolgens 2 voor de onbehandelde mest (negatieve controle) en 2 voor het toevoegen van melkzuur (positieve controle). De werking van melkzuur op ammoniak wordt verklaard vanuit de algemeen bekende invloed van de zuurgraad (pH) op het evenwicht in vloeistoffen tussen gasvormig ammoniak (NH_3) en opgelost ammonium (NH_4^+), waarbij aanzuren zorgt voor een verschuiving richting de opgeloste vorm. Aanzuren heeft daarnaast een reductie van de vorming van methaan tot gevolg, vanwege de inhibitie (stilleggen van microbiële activiteit bij pH-waarden van 6 en lager (Bussink et al, 2011 en 2012). Resultaten van werking van melkzuur wordt De hoge kosten van melkzuur vormen een beperking voor het gebruik ervan in de praktijk.

Aandachtspunten vormen nog de homogeniteit. Bij het bepalen van de mestsamenstelling (zie ook §3.3) bleek deze mogelijk niet helemaal homogeen te zijn geweest. Dit is mogelijk te verklaren uit het feit dat de volledige mestvoorraad is verdeeld over de potten. Weliswaar is er vooraf gemixt, maar tijdens het vullen van de pot kan de mest al enigszins zijn uitgezakt, waardoor de laatste pot mogelijk is gevuld met mest met een wat hoger organischestofgehalte. Om dit te voorkomen dient voldoende mest aanwezig te zijn om de potten te vullen en dient deze gemixt te worden totdat de laatste pot gevuld is.

In Tabel 2 staan de behandelingen per pot. Nadat alle behandelingen waren uitgevoerd, werden de deksels geplaatst waarna de metingen begonnen. Op 10 november 2020 werden de metingen gestopt en werd per pot een mestmonster genomen. Tevens werd de pH gemeten van de toplaag van de mest in elke pot. De resultaten staan in Tabel 2 De resultaten van de mestsamenstelling zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 2. Additief, dosering en pH per pot gemeten op 10 november 2020

Pot (en meetkanaal)	Additief	Dosering	pH (-) gemeten op 10 november
1	Additief A	Enkel (duplo)	7,95
2	Controle	n.v.t.	7,92
3	Melkzuur	Enkel	7,71
4	Melkzuur	Enkel (duplo)	7,70
5	Additief B	Enkel	7,80
6	Additief B	Enkel (duplo)	7,77
7	Additief B	Dubbel	7,90
8	Additief B	Dubbel (duplo)	7,89
9	Additief C	Dubbel	8,07
10	Additief C	Dubbel (duplo)	8,10
11	Additief C	Enkel	8,09
12	Additief C	Enkel (duplo)	8,09
13	Additief A	Dubbel	8,11
14	Additief A	Dubbel (duplo)	8,05
15	Additief A	Enkel	8,00
16	Controle	n.v.t. (duplo)	7.95

Voor elk van de toepaste middelen is de door de leverancier geadviseerde dosering van het middel toegevoegd in twee potten. In twee andere potten werd het dubbele van de adviesdosering toegevoegd voor een extra test. Daarbij is het goed om op te merken dat alle toevoegingen door de leveranciers zelf zijn toegevoegd tijdens een startbijeenkomst, waarbij zowel alle leveranciers als een onderzoekers aanwezig waren.

Melkzuur

Door omstandigheden (vertraagde levering) werd melkzuur op vrijdag 9 oktober toegevoegd (rond 15.00 uur). Hiertoe werden de deksels van beide potten geopend, werd de pH van de toplaag gemeten (zie Paragraaf 2.4) en werd 135 ml melkzuur (80%) toegediend aan de inhoud van beide potten en geroerd. Tijdens het roeren werd de pH van de toplaag gemeten. De hoeveelheid toegevoegd melkzuur is zo gekozen dat de pH in de potten stabiel op een waarde van rond 4,0 (respectievelijk 3,9 en 4,1) uitkwam. Dit om te voldoen aan de voorwaarden voor de werking van melkzuur, waarvoor in de literatuur pH-waarden van 4,0 - 4,5 worden genoemd (Bussink et al, 2011). In tabel 3 zijn de waardes opgenomen. Daarna ontstond een aanzienlijke hoeveelheid schuim, die uiteindelijk reikte tot 2/3 van de hoogte van de potten.

Tabel 3. pH per pot voor en na toevoegen melkzuur op 9 oktober 2020.

Pot (en meetkanaal)	Behandeling/Additief	Dosering	pH (-) gemeten:	
			Voor toevoegen	Na toevoegen
3	Melkzuur	Enkel	7,90	3,89
4	Melkzuur	Enkel	8,25	4,07

2.4 Dataverwerking en - analyse

Na afloop van de metingen bleek dat naast de verschillen in 'flush flow' in de periodes tussen de metingen, de metingen aan de 16^e pot (duplo van de negatieve controle) een extra grote afwijking te

zien gaven. Dit had te maken met het feit dat deze meting was aangesloten op een andere pomp en andere analyser. Hiermee zouden de resultaten los van de grotere 'flush flow' ook niet te vergelijken zijn met de andere metingen omdat deze pot op andere meetapparatuur is aangesloten. Dit zou betekenen dat de behandelingen vergeleken kunnen worden met slechts 1 negatieve referentie (controlemeting). Aangezien tijdens de 1^e week nog geen melkzuur aan 2 potten was toegediend, is er gedurende die periode sprake van 3 negatieve referenties. Bij de data-presentatie is derhalve alleen de analyse van de 1^e week in de hoofdttekst van de rapportage opgenomen. De waarden van de opvolgende weken 2-5 zijn vermeld in Bijlage B.

Aangezien de flow pas bij een nadere analyse is gemeten, maar tijdens de metingen niet is geregistreerd, is bij de dataverwerking uitsluitend van de gemiddeld gemeten concentraties gedurende de 15 minuten uitgegaan. Van de 15 beschikbare metingen per meetperiode per pot zijn daarbij de eerste 2 metingen niet gebruikt, vanwege de kanaal-switch en de mogelijke invloed daarvan op de relevantie van de eerste 2 metingen per pot. De overige 13 metingen zijn gemiddeld en alle gemiddelden per 24 uur verwerkt tot een daggemiddelde concentratie. Deze waarden, zonder correctie voor de achtergrondconcentratie, zijn gebruikt voor de vergelijking van de behandelingen.

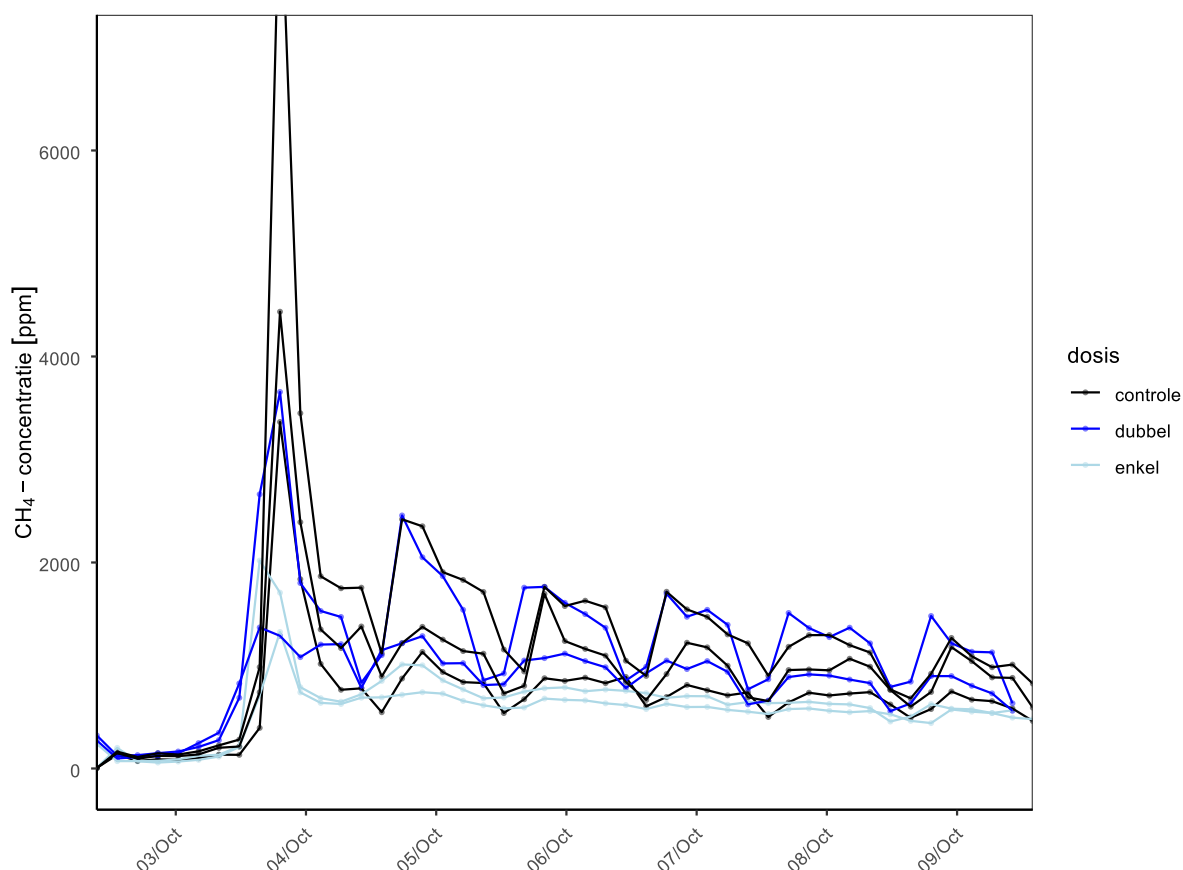
3. Resultaten

3.1 Concentraties CH₄

Door een vertraagde levering werd melkzuur op 10 oktober, een week na het starten van de metingen, toegediend. Daaraan voorafgaand waren derhalve 4 onbehandelde potten aanwezig, waarvan er 3 (1 referentie en 2 potten die voor melkzuur waren bestemd) op hetzelfde meetsysteem waren aangesloten. Dit betekent dat vanaf 2 tot en met 10 oktober 2020 sprake is van 3 referentie-potten.

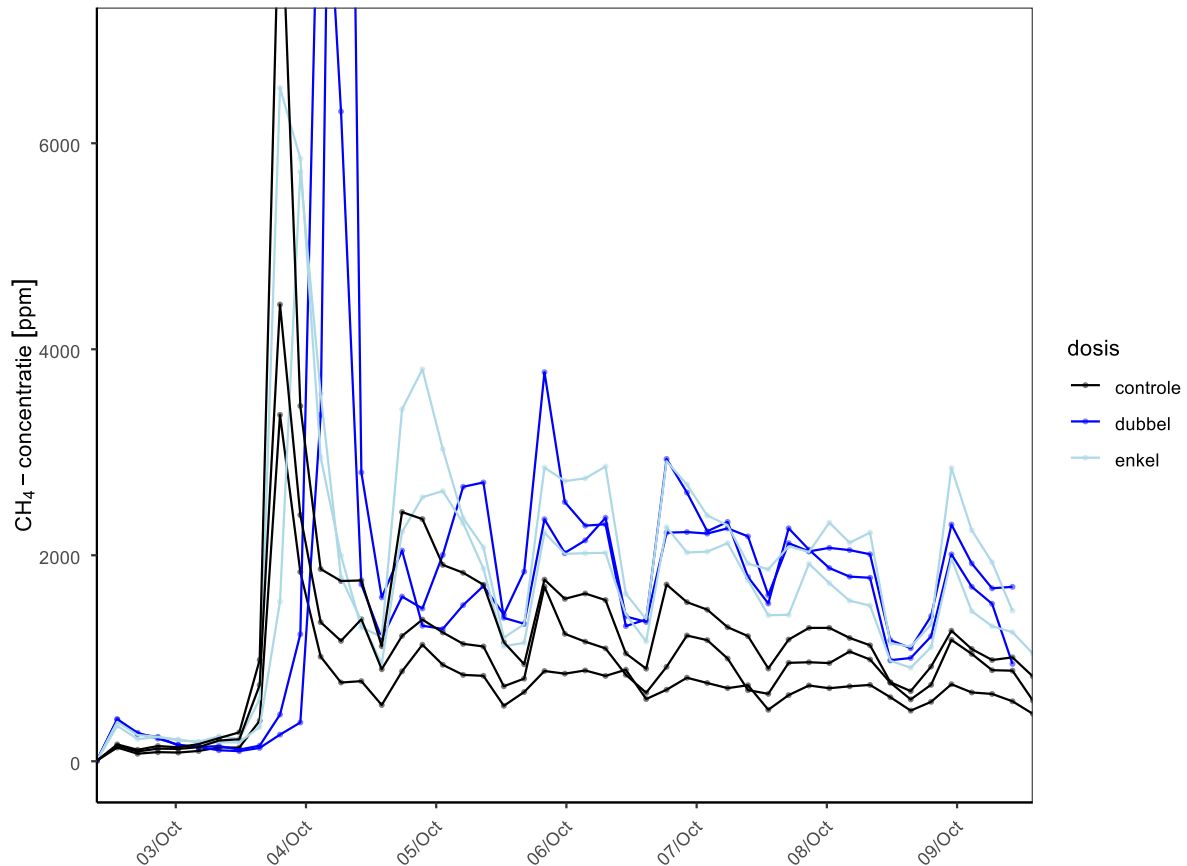
Bij verschillende 'flush flows' is er sprake van onvergelykbare omstandigheden waardoor de waargenomen effecten binnen de verschillende potten niet kunnen worden vergeleken. Meer of minder lucht beïnvloedt mogelijk de vorming en emissie van methaan. Dit moet in het achterhoofd worden gehouden tijdens het lezen van de hieronder gemelde resultaten.

In figuur 3 worden de CH₄-concentraties van de potten 2, 3 en 4 (controles) en de beide duplo's van Additief A (potten 1+15 en 13+14) gedurende de 1^e week weergegeven.



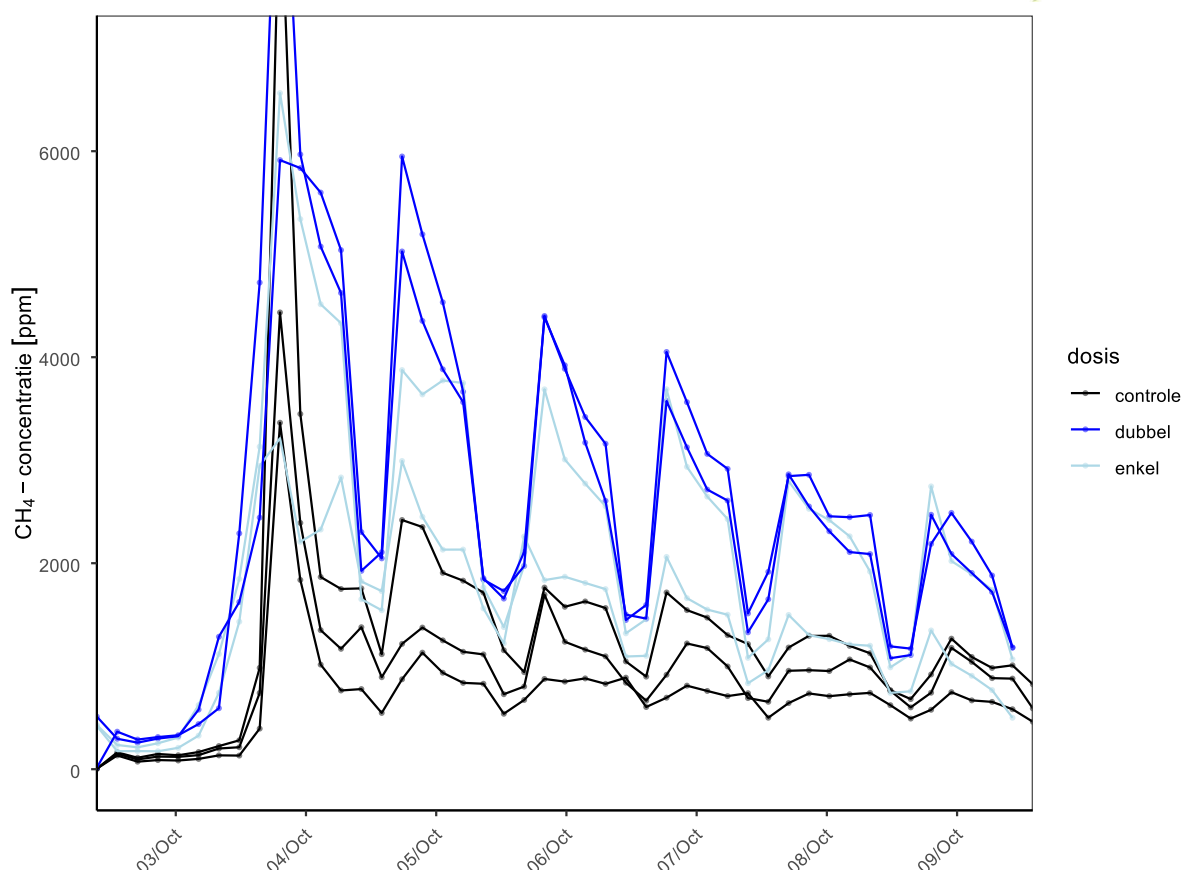
Figuur 3. CH₄-concentratie van de 3 controles (zwart) en de duplo's van de beide concentraties (lichtblauw = enkele dosis; donkerblauw = dubbele dosis) van Additief A. Data zijn gemeten bij verschillende 'flush flows' en daarmee niet representatief.

In figuur 4 worden de CH₄-concentraties van de potten 2, 3 en 4 (controles) en de beide duplo's van Additief B (potten 5+6 en 7+8) gedurende de 1^e week weergegeven.



Figuur 4. CH₄-concentratie van de 3 controles (zwart) en de duplo's van de beide concentraties (lichtblauw = enkele dosis; donkerblauw = dubbele dosis) van Additief B. Data zijn gemeten bij verschillende 'flush flows' en daarmee niet representatief.

Figuur 5 toont de CH₄-concentraties van de potten 2, 3 en 4 (controles) en de duplo's van de beide behandelingen met Additief C (potten 11+12 en 9+10) gedurende de 1^e week weergegeven.



Figuur 5. CH₄-concentratie van de 3 controles (zwart) en de duplo's van de beide concentraties (lichtblauw = enkele dosis; donkerblauw = dubbele dosis) van Additief C. Data zijn gemeten bij verschillende 'flush flows' en daarmee niet representatief.

In alle potten blijkt de CH₄-ontwikkeling na ca. 1 dag op gang te komen. Waarschijnlijk was door het transport en de behandeling (mixen) van de mest vanaf het melkveebedrijf naar Meet-ID alle in de oorspronkelijke mest aanwezige CH₄ vervluchtigd en duurt het ca. 1 dag voordat de methanogenese en emissie van methaan weer op gang kwamen.

Alle behandelingen vertonen een patroon dat samenhangt met de variatie in buitentemperatuur (dag/nachtpatroon). Ondanks dat de meetopstelling was geplaatst in een geïsoleerde ruimte, blijkt dit onvoldoende te zijn geweest om schommelingen in de buitentemperatuur op te vangen. Derhalve zullen de ruimtetemperatuur en daarmee de temperatuur van de mest in de potten, eventueel met enige vertraging en demping als gevolg van warmtedoorgang door de isolatie, ook een dag- en nachtpatroon hebben gevolgd (niet gemeten). Duidelijk is dat de CH₄-ontwikkeling en daarmee de CH₄-concentratie die hiermee samenhangt worden beïnvloed door het temperatuursverloop, maar dat geen uitspraak kan worden gedaan of deze beïnvloeding voor de additieven en/of de doseringen gelijk is geweest.

De gemeten CH₄-concentraties van de additieven geven een variabel beeld, van vergelijkbaar met (additief A) tot aanzienlijk hoger (additief B en C) dan de controles. Door de verstrengeling met verschillen in 'flush flow' gedurende de periode tussen de metingen (zie Tabel 1) is een absolute

uitspraak over een eventuele – positieve of negatieve – CH₄-emissiereductie niet te geven. De ‘flush flow’ gedurende de periode tussen de metingen lag bij de behandelingen B en C aanzienlijk lager dan bij de controles (zie Tabel 1), terwijl deze bij de behandelingen met middel A juist hoger lag dan bij de controles.

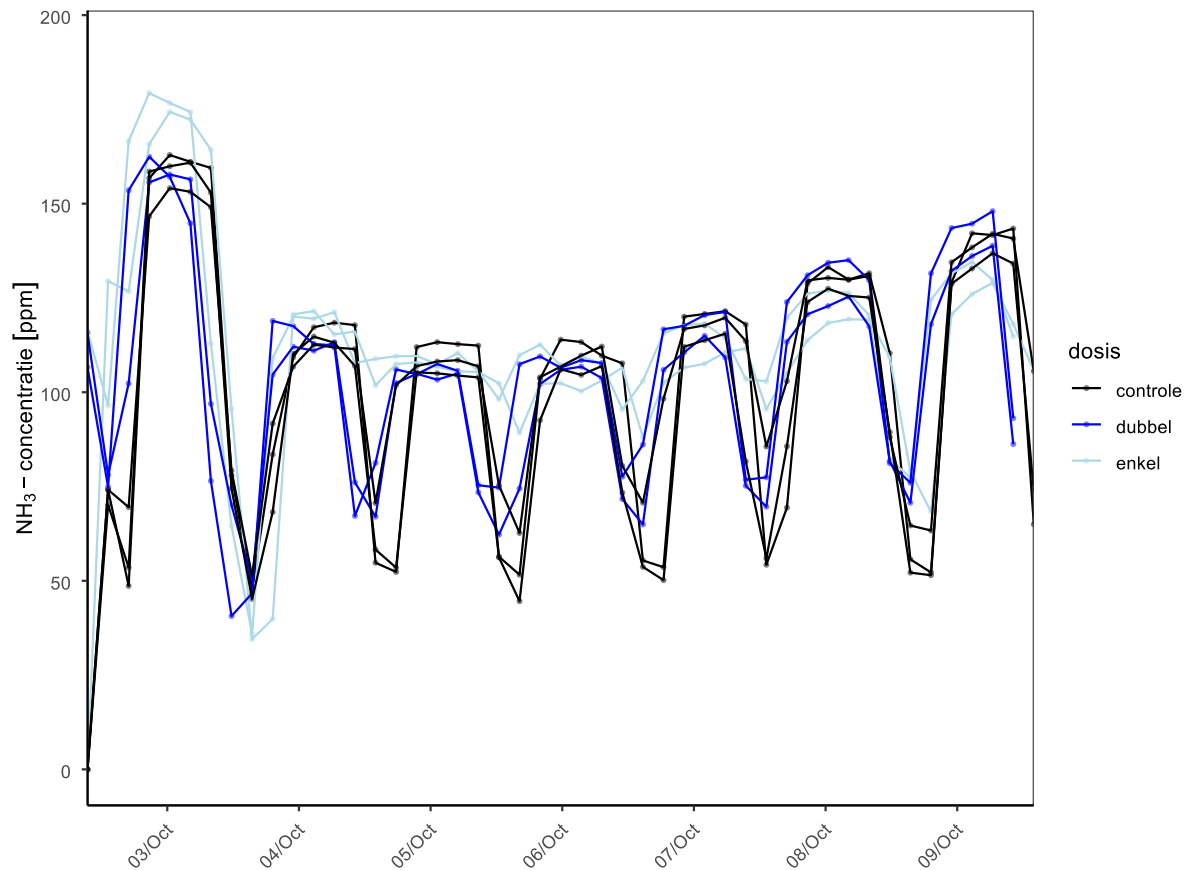
In Paragraaf 4.1 worden nadere voorstellen gedaan voor methodische aanpassingen van de pottenproef, om een proefopzet te realiseren met minder verstrengeling met onbedoelde variatiebronnen (vooral dag/nacht-ritme van temperatuur en verschillen in ‘flush flow’).

3.2. Concentraties NH₃

Het is ongewenst als maatregelen die bedoeld zijn om de methaanemissie te beperken vervolgens leiden tot een verhoging van de ammoniakemissie. Binnen het AM3 project worden daarom ook ammoniakemissies gemeten.

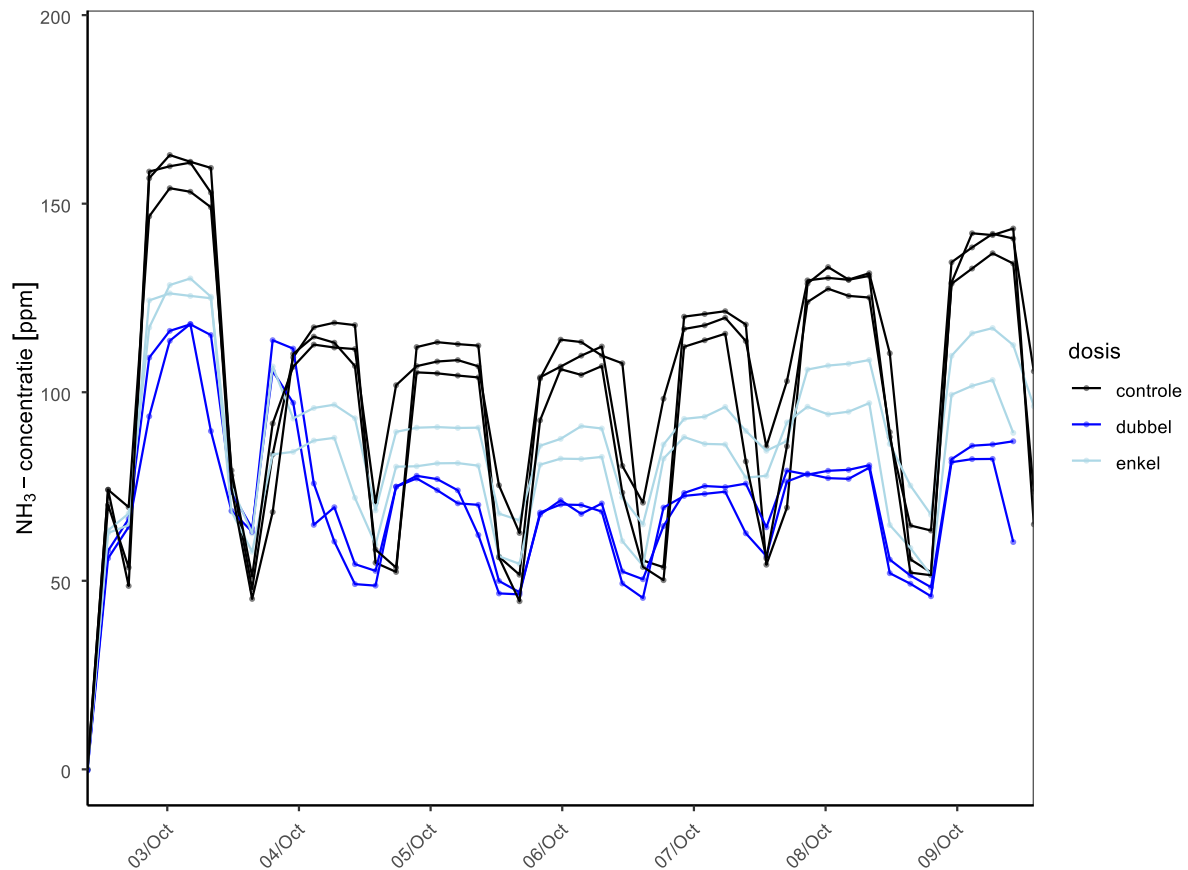
Anders dan bij CH₄, zijn voor NH₃ nagenoeg direct na het opstarten van de metingen effecten en patronen zichtbaar. Net zoals voor CH₄ geldt voor de NH₃-concentraties dat deze mogelijk of waarschijnlijk beïnvloed zijn door de verschillen in ‘flush flow’. Bij een hoge ‘flush flow’ gedurende de periode tussen de metingen kunnen in principe lagere concentraties worden verwacht bij de metingen, aangezien de headspace sneller wordt ververs met schone buitenlucht. Eventuele schijnbare effecten in de figuren moeten tegen die achtergrond worden gezien.

In figuur 6 worden de NH₃-concentraties van de potten 2, 3 en 4 (controles) en additief A (potten 1+15 en 13+14) gedurende de 1^e week weergegeven. Daaruit blijkt dat de NH₃-concentratie voor dit additief zowel in het verloop (dag/nacht-patroon) als in het niveau vergelijkbaar is met de controles. De ‘flush flow’ gedurende de periode tussen de metingen is bij deze behandelingen echter hoger dan voor de onbehandelde potten, er kunnen dus geen conclusies worden getrokken op basis van deze meting. Hooguit dat het er op basis van deze metingen en de genoemde achtergronden op lijkt dat er geen of een minimaal effect kan worden verwacht.



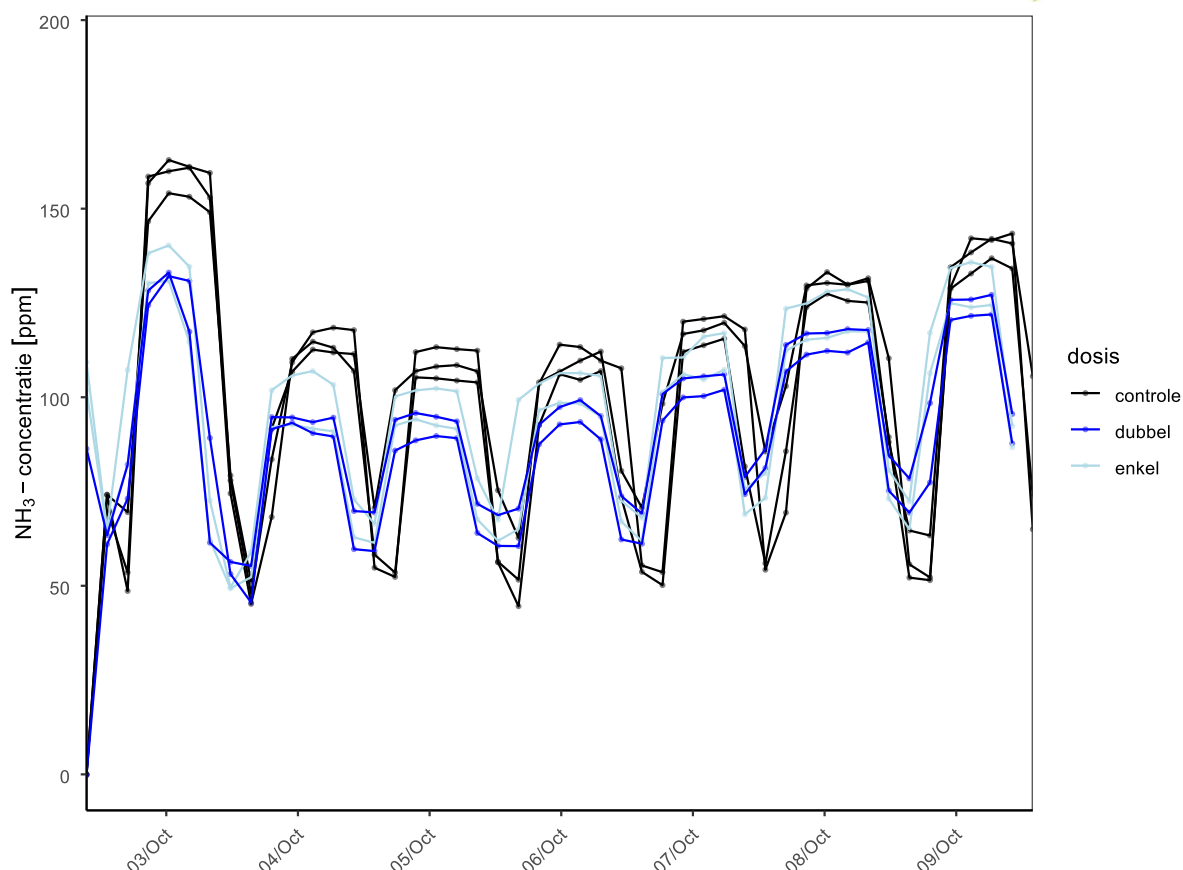
Figuur 6. NH₃-concentratie van de 3 controles (zwart) en de duplo's van de beide concentraties (lichtblauw = enkele dosis; donkerblauw = dubbele dosis) van Additief A. Data zijn gemeten bij verschillende 'flush flows' en daarmee niet representatief.

Figuur 7 toont de NH₃-concentraties van de potten 2, 3 en 4 (controles) en additief B (potten 5+6 en 7+8) gedurende de 1^e week. Dit additief lijkt, een verlagend effect te hebben op de NH₃-concentratie, waarbij de dubbele dosering meer reduceert dan de enkele dosering. Door de verschillende 'flush flows' kan op basis van deze metingen echter geen uitspraak gedaan worden over de omvang van de reductie en kan derhalve ook niet statistisch worden aangetoond dat het product emissies reduceert.



Figuur 7. NH₃-concentratie van de 3 controles (zwart) en de duplo's van de beide concentraties (lichtblauw = enkele dosis; donkerblauw = dubbele dosis) van Additief B. Data zijn gemeten bij verschillende 'flush flows' en daarmee niet representatief.

In figuur 8 wordt het verloop van de NH₃-concentratie van de potten 2, 3 en 4 (controles) en de duplo's van de beide behandelingen met Additief C (potten 11+12 en 9+10) gedurende de 1^e week weergegeven. Voor dit additief werden nauwelijks verschillen gevonden met de controles, hoewel dubbele dosering de NH₃-concentratie iets lijkt te verlagen. Ook hier geldt dat door de verschillende 'flush flows' kan op basis van deze metingen geen uitspraak kan worden gedaan over de omvang van de reductie en er derhalve ook geen statistisch verschil kan worden aangetoond tussen het product en de referentiemetingen.



Figuur 8. NH₃-concentratie van de 3 controles (zwart) en de duplo's van de beide concentraties (lichtblauw = enkele dosis; donkerblauw = dubbele dosis) van Additief C. Data zijn gemeten bij verschillende 'flush flows' en daarmee niet representatief.

3.3 Mestsamenstelling

De mestsamenstelling aan het begin en aan het einde van de proef per pot is weergegeven in tabel 4.

Met uitzondering van melkzuur en referentiepote 16 met een veel grotere 'flush flow' tussen de metingen, waren de gehalten aan ammoniumstikstof vergelijkbaar met de gehalten bij aanvang van de proef. Voor het overige was de mestsamenstelling van alle addities en doseringen niet of nauwelijks verschillend van de samenstelling van de uitgangsmest aan het einde van de proef. Additief B resulteerde in een hoger gehalte aan droge stof en as, vanwege het feit dat mineralen aan de mest worden toegevoegd.

Het gehalte aan ammoniumstikstof, en daarmee ook aan totaal-stikstof, van de 2^e referentie (pote 16) was aanzienlijk lager dan van de 1^e referentie (pote 2; beide onbehandelde mest). Dit werd veroorzaakt door aansluiting van deze pote op een aparte analyser met een aparte pomp, waardoor relatief meer lucht en dus meer NH₃ was afgevoerd dan van de 1^e referentie. Dit effect was bij aanvang van de proef niet voorzien en vanwege bovengenoemde afwijking reden geweest om in de data-analyse alleen de referentie mee te nemen in de serie potten die op dezelfde analysers waren aangesloten.

Tabel 4. Samenstelling (stikstof, fosfaat, drogestof en as) van de mest aan het begin ('uitgang') en aan het einde van de proef, inclusief de gebruikte analysevoorschriften ('WI')

Component	totaal-N WI 4.25-	ammonium-N WI 4.25-103	totaal-P WI 4.25-	ortho-P WI 4.25-	droge stof WI 4.25-	as WI 4.25-
Anaysevoorschrift	115	WI 4.25-103	116	116	111	112
Eenheid	g/kg	g/kg	g/kg	g/l	g/kg	g/kg
Voorafgaand aan de metingen (2 oktober 2020)						
Additief A pot 1	4,24	2,17	0,64	<0.005	69,8	15,3
Additief A pot 13	4,23	2,15	0,60	<0.005	69,7	15,1
Additief A pot 14	4,24	2,18	0,64	<0.005	71,4	15,4
Additief A pot 15	4,23	2,17	0,61	<0.005	69,0	14,7
Uitgangsmest	4,21	2,18	0,61	<0.005	69,0	14,7
Uitgangsmest (duplo)	4,20	2,14	0,61	<0.005	70,0	15,2
Na afloop van de metingen (10 november 2020)						
Referentie pot 2	4,17	2,12	0,63	<0.005	71,2	15,5
Referentie pot 16	3,88	1,86	0,64	<0.005	71,7	16,5
Melkzuur pot 3	4,24	2,07	0,65	<0.005	75,4	15,3
Melkzuur pot 4	4,32	2,08	0,67	<0.005	77,5	15,3
Additief A pot 1	4,11	2,02	0,65	<0.005	70,9	15,4
Additief A pot 13	4,25	2,07	0,67	<0.005	76,2	16,4
Additief A pot 14	4,17	2,12	0,62	<0.005	69,4	15,4
Additief A pot 15	4,21	2,12	0,66	<0.005	73,0	15,5
Additief B pot 5	4,33	2,16	0,69	<0.005	83,2	19,5
Additief B pot 6	4,18	2,17	0,63	<0.005	77,0	18,9
Additief B pot 7	4,20	2,13	0,64	<0.005	77,8	17,5
Additief B pot 8	4,24	2,16	0,65	<0.005	74,1	17,1
Additief C pot 9	4,21	2,12	0,63	<0.005	70,2	15,4
Additief C pot 10	4,02	2,14	0,58	<0.005	66,3	14,9
Additief C pot 11	4,18	2,11	0,62	<0.005	69,5	15,3
Additief C pot 12	4,13	2,16	0,63	<0.005	70,3	15,4

4. Discussie en perspectief

4.1 Methodisch

Zoals blijkt uit de beschrijving van materiaal en methode (Hoofdstuk 2) en de resultaten (Hoofdstuk 3) is er rond deze pottenproef een aantal leer- en verbeterpunten te benoemen.

Vanwege de niet-geconditioneerde (wel geïsoleerde) ruimte bij Meet-ID vertoonden de metingen een dag-en-nacht patroon. Hoewel dit in de praktijk ook op zal treden, is het voor een beperking van de variatie (en ruis) aan te bevelen om de ruimte waarin de opstelling is geplaatst te conditioneren. Beperking van de variatie heeft een groter onderscheidingsvermogen tussen behandeling tot gevolg. Dit vraagt om klimatisering van de ruimte waarin de opstelling is geplaatst.

De flush flow bleek na controle achteraf (Tabel 1), op basis van de waargenomen variatie tussen de potten met eenzelfde behandeling, niet constant, ondanks de aanvankelijk aangegeven restrictie van de flush flow per kanaal. Dit heeft een onbekend effect gehad op de, uiteindelijk wel met een constante sample flow uitgevoerde, metingen. Dit vraagt om het plaatsen van kritische openingen op elk van de monsternamleidingen en luchtaanzuiging met een externe pomp, zodat een zo gelijk mogelijke flush flow per pot wordt gerealiseerd.

De hoeveelheid mest in combinatie met de flush flow dient bij voorkeur zodanig te zijn dat de omstandigheden waarvoor de proef wordt uitgevoerd (mest of stromest op een stalvloer, mestkelder, mestsilo) qua luchtverversing zo goed mogelijk worden benaderd. Groenestein *et al.* (2006) hanteerden een verversingsfrequentie van de 'headspace' van 14 – 21 keer per uur om de situatie in een strostal voor zeugen te simuleren. Voor onderzoek naar de emissie van onder een stalvloer opgeslagen mest zijn lagere verversingsfrequenties aannemelijk, met een onderscheid tussen open roostervloeren (relatief hogere verversing) en dichte vloeren (relatief lagere verversing). Voor mengmest die buiten wordt opgeslagen in een afgedekte mestsilo kunnen wellicht nog lagere verversingsfrequenties aan de orde zijn. Dit vergt nader onderzoek.

Bovenstaande leidt tot een aantal aanpassingen in de opstelling en procedures:

1. Voldoende mest aanvoeren en overbrengen in een voldoende grote bufferruimte met mixvoorziening, zodat voldoende mest van homogene kwaliteit in de potten kan worden geschept
2. Van daaruit tijdens het mixen monsters nemen en in de potten brengen, zodat de samenstelling van de mest in de potten zo gelijk mogelijk is
3. Klimatiseren van de ruimte waarin de meetopstelling staat zodat met name de temperatuur constant of regelbaar is
4. Continue aanzuiging van gelijke hoeveelheid lucht, zowel tijdens de metingen ('sample flow') en tussen de metingen in ('flush flow')
5. Vergroting van de pompcapaciteit voor de flush flow en gebruik van kritische openingen in elk van de leidingen
6. Controle van de flush flow voorafgaand aan en na afloop van de metingen bij wijze van calibratie

Verder kunnen de volgende algemene methodische aanbevelingen worden gedaan om de variatie en ruis tussen de potten te beperken:

7. Eerst alle potten enige tijd meten zonder toediening (beoordeling gelijkheid uitgangssituatie)
8. Behandelingen uitvoeren met voldoende duplo's (3 is beter dan 2, afhankelijk van het gewenst onderscheidend vermogen)
9. Monitoring van pH zowel voorafgaand als na afloop van de metingen en bij voorkeur ook tussendoor
10. Nader onderzoek naar de wenselijk looptijd van de metingen (mogelijk langer voor CH₄ dan voor NH₃)

Tenslotte zouden strikt genomen de gasconcentraties moeten worden gemeten in de ruimte waar de opstelling is geplaatst om als 'achtergrond' te worden afgetrokken van de gemeten concentraties.

Aanbevelingen 1 t/m 6 zijn reeds doorgevoerd en getest, waarbij is gebleken dat de in het onderhavige onderzoek geconstateerde tekortkomingen zijn opgelost.

De overige aanbevelingen zullen in toekomstig onderzoek eveneens worden geëvalueerd en zo nodig geïmplementeerd.

4.2 Uitkomsten

De uitgevoerde pottenproef is in principe kansrijk voor het verkennen van perspectieven voor de reductie van de emissie van CH₄ (en NH₃) door toepassing van mestadditieven. De 'baseline'-behandeling met melkzuur resulteerde in gemiddeld te verwachten, tot literatuur te herleiden effecten. Belangrijke voordelen van een dergelijke zgn. case/control-proef zijn directe vergelijking met een referentiemest en een relatief snel resultaat.

5. Conclusies

Het uitgevoerde onderzoek naar de mogelijke effecten van 3 additieven op de CH₄- en NH₃-emissie van melkvee-drijfmest is met name gebruikt om te komen tot methodische verbeteringen. Bij de gebruikte methode bleken uitspraken over de eventuele effecten op de emissie ten opzichte van onbehandelde melkvee-drijfmest ('case/control') niet mogelijk door een overheersende invloed van met name de variabele omgevingstemperatuur, verschillen tussen de hoeveelheden lucht die uit de 'headspace' van de potten werden afgezogen en verschillen tussen de afgezogen lucht tussen en tijdens de metingen (verschillen in 'flush-flow' en 'sample'flow').

Het is derhalve sterk aan te bevelen om de onderzoeksmethodiek aanzienlijk te verbeteren. Het betreft met name de volgende punten:

- a. zorg voor voldoende mest en een juiste flush flow, om een reële luchtverversing na te bootsen
- b. vooral voor methaan is een gelijk luchtvolume tijdens het meten en tijdens het beluchten van groot belang om behandelingen zuiver met elkaar te kunnen vergelijken
- c. voor een pottenproef op laboratoriumniveau is het belangrijk dat de ruimtetemperatuur constant wordt gehouden

In principe is een verkenning van de potentiële emissiereductie door additieven aan (melkvee-) drijfmest door uitvoering van een pottenproef kansrijk, onder de voorwaarde dat de genoemde aanbevelingen worden geïmplementeerd.

Op basis van de uitkomsten van dit onderzoek is de onderzoeksmethodiek sterk verbeterd. De continu-aanzuiging/beluchting van de potten is gelijkgetrokken door het plaatsen van kritische openingen op de aanzuigleidingen. De proefopstelling is in een geklimatiseerde ruimte geplaatst met een continue temperatuur van 15 graden Celsius. Andere geleerde lessen uit dit proces hebben te maken met het volume mest i.r.t. de headspace en met de samenstelling van de mest. De potten worden in de nieuwe testopstelling gevuld met minimaal 12 liter mest (ca. 50% van het volume van elke pot) en er is meer aandacht voor voldoende mestbuffer met een homogene mestsamenstelling, zodat alle potten dezelfde aanvankelijke mestsamenstelling kennen.

Literatuur

Berg, W. and G. Hörnig. 1997. Emission Reduction by Acidification of Slurry - Investigations and Assessment. International Symposium "Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities". Vinkeloord. The Netherlands. October 6–10, 1997. p. 459–466.

Berg, W., R. Brunsch, B. Eurich-Menden, H. Döhler, U. Dämmgen, B. Osterburg and A. Bergschmidt: Ammonia Emissions from German Animal Husbandry. 3rd International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations. Raleigh. NC. USA. 12–15 October 2003. p. 131–138.

Bussink, D.W., A.M.D. van Rotterdam-Los en W. Wenzl, 2012. Soil for life; biologisch aanzuren van mest kansrijk voor melkveebedrijven. NMI, Wageningen.

Bussink, D.W. en A.M.D. van Rotterdam-Los, 2011. Perspectieven om broeikasgas- en ammoniakemissies te reduceren door het aanzuren van mest. NMI, Wageningen.

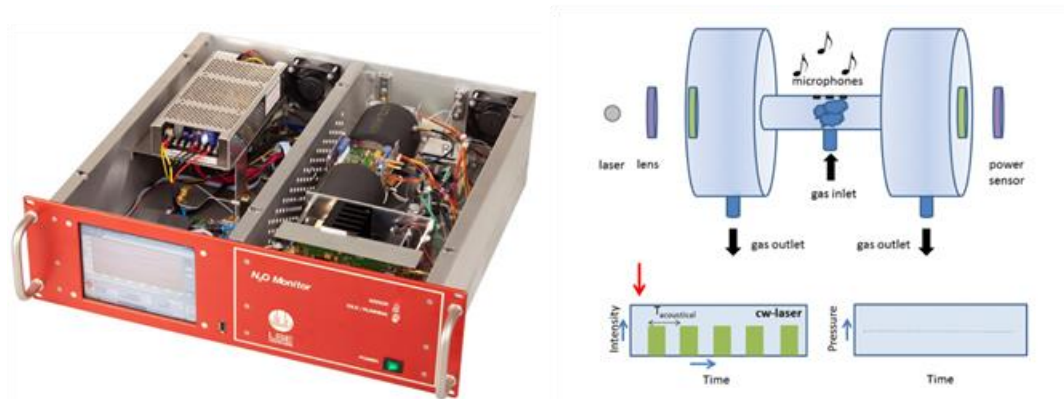
Miriam van Eekert, Jan Weijma, Els Schuman , 2013. Magnesium, struviet, ontwatering van slib en mest - Verkenning toepassing en effectiviteit diverse Mg-zouten Status: Eindrapport Datum: 16-09-2013 Aantal pagina's: 42

C.M. Groenestein, L.A. den Hartog and J.H.M. Metz, 2006. Potential Ammonia Emissions from Straw Bedding, Slurry Pit and Concrete Floors in a Group-housing System for Sows. Biosystems Engineering - Structures and Environment 95 (2), 235–243.

Well, E. van, J. Keuskamp, I. Spijkerman en G.J. Monteny, 2020. Keldermetingen methaan- en ammoniakconcentraties. Tussenrapportage. CLM, Culemborg.

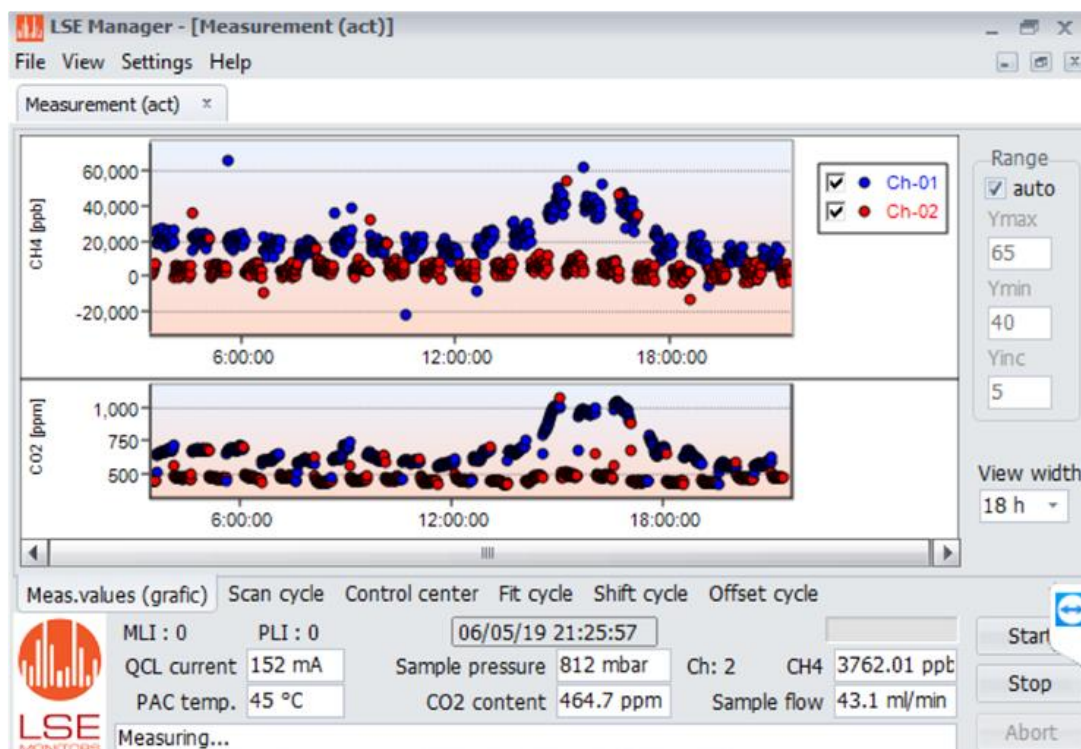
Bijlage A. Gebruikte analysers

De analysers maken gebruik van fotoakoestiek met behulp van een telecomlaser voor het meten afzonderlijk van ammoniak en methaan. Het laserlicht wordt omgezet in een geluidsgolf die wordt opgevangen door enkele microfoons. De golflengte van het laserlicht is specifiek voor het type gas dat daarbij gemeten wordt. Schematisch weergegeven ziet dit er als volgt uit:



Figuur A1. LSE analyser voor voor NH_3 - en CH_4 -concentratietingen.

In onderstaande figuur is de concentratiemeting te zien.

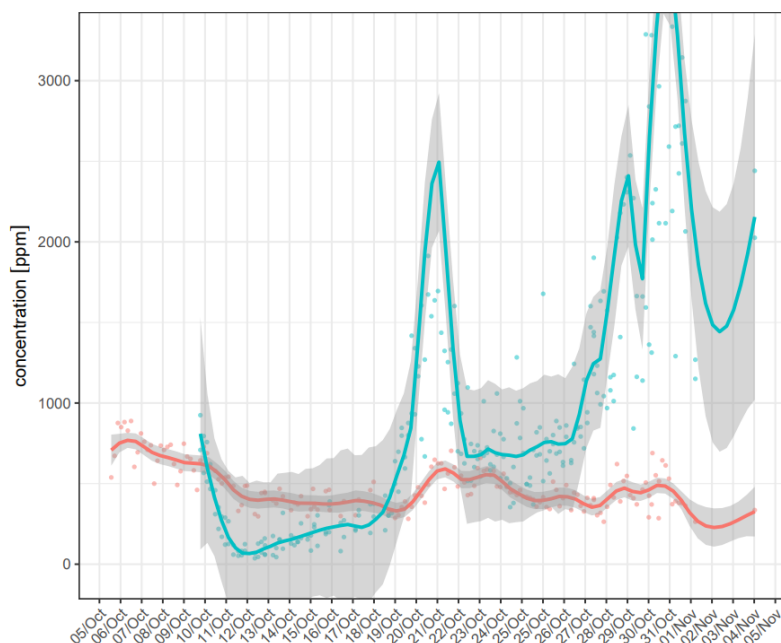


Figuur A1. Schermvoorbeeld van LSE-analyser voor concentraties (CO_2 -concentraties zijn in dit onderzoek niet gebruikt).

De gegevens kunnen op afstand worden ingezien met behulp van Teamviewer. Tevens kunnen op afstand de gegevens worden uitgelezen en gelogd.

Bijlage B. Volledige meetperiode met 1 referentie-pot

In figuur B.1 wordt het verloop getoond van de CH₄-concentratie van pot 2 (referentie) en het gemiddelde van de behandelingen met melkzuur (potten 3 en 4).



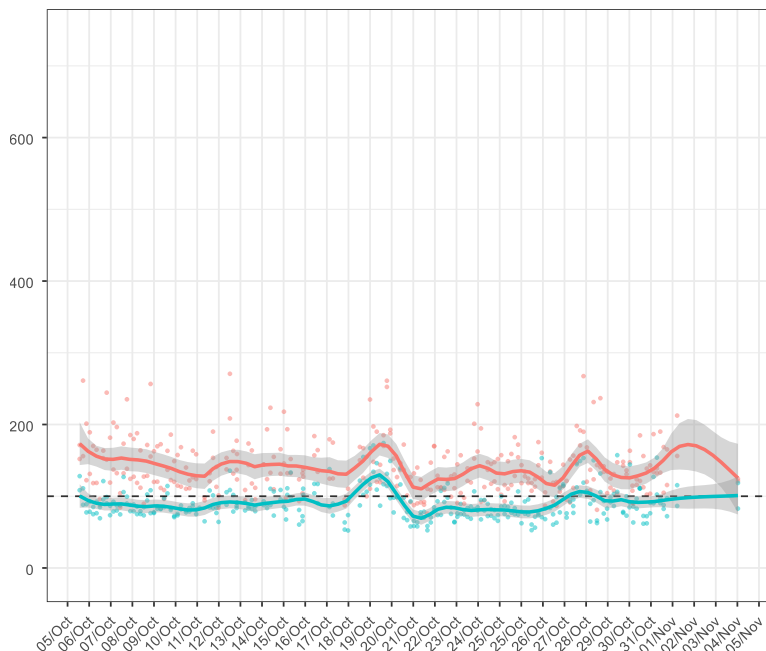
Figuur B.1. Verloop van de CH₄-concentratie (ppm) van de drijfmest/controle (rode lijn) en het gemiddelde van de behandelingen met melkzuur (groen-blaauwe lijn)

De CH₄-concentratie controle vertoont een afname in de tijd, door een negatieve C-balans vanwege de omzetting van C in de mest naar CH₄ en het daaropvolgende verlies door emissie. Door toevoeging van melkzuur werd de CH₄-concentratie, zoals verwacht op basis van de literatuur, aanvankelijk zeer sterk verlaagd. Dit effect treedt op ondanks het feit dat de 'flush flow' tussen de metingen in de controlepot ruim 2x zo hoog ligt als de 'flush flow' in de beide potten met melkzuur. Het effect van melkzuur neemt na verloop van tijd af. Hoe zich dan echter de concentraties ten opzichte van elkaar verhouden en wat dat zegt over de werking van melkzuur kunnen we op basis van deze metingen met afwijkende flows niet zeggen. Een lagere gemeten concentratie van de controlepot kan mogelijk ook toegeschreven worden aan de grotere 'flush flows'. De stijging in de potten met melkzuur is mogelijk te verklaren door een stijgende pH, zoals ook beschreven is in §2.3 en blijkt uit de pH-meting op 10 november, zoals weergegeven in Tabel 2.

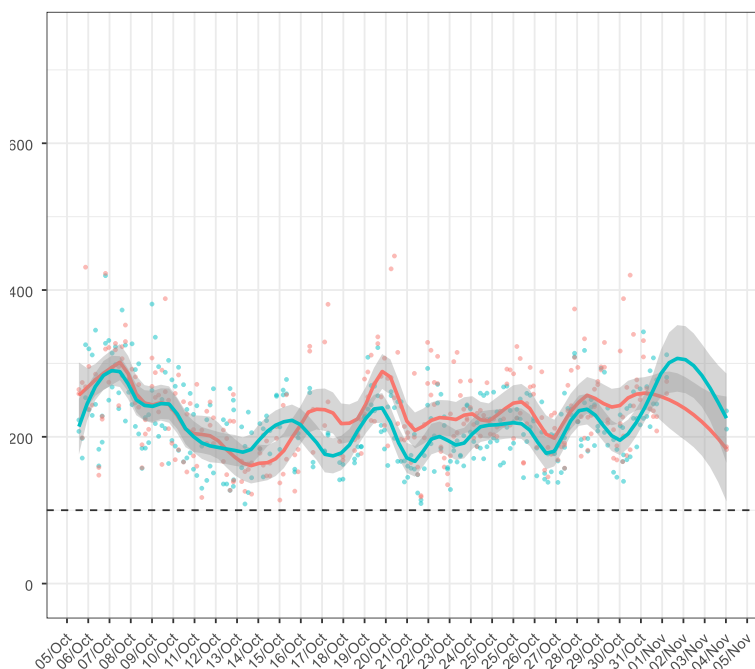
Figuren B.2 t/m B.4 tonen het gemiddelde verloop van de CH₄-concentratie van de potten met beide doseringen ('enkel' en 'dubbel') van de additieven A, B en C. De concentraties zijn daarbij weergegeven als percentage van de concentraties bij drijfmest, waarbij drijfmest op 100% is gesteld. Hierbij is geen correctie uitgevoerd voor de verschillen in 'flush flow' (zie Tabel 1).

De uitkomsten sluiten aan bij de uitkomsten die in de hoofdttekst zijn genoemd met betrekking tot de metingen in de eerste week. De gemeten CH₄-concentraties van de additieven geven een variabel beeld, van vergelijkbaar met (additief A) tot aanzienlijk hoger (additief B en C) dan de controles. Door

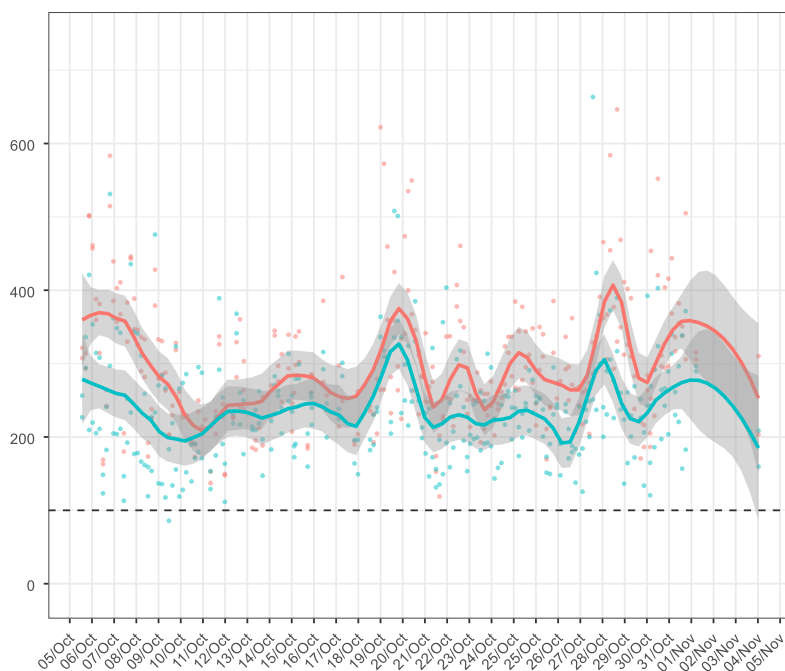
de verstrengeling met verschillen in 'flush flow' gedurende de periode tussen de metingen (zie Tabel 1) is een absolute uitspraak over een eventuele – positieve of negatieve – CH₄-emissiereductie niet te geven. De 'flush flow' gedurende de periode tussen de metingen lag bij de behandelingen B en C aanzienlijk lager dan bij de controles, terwijl deze bij de behandelingen met middel A juist hoger lag dan bij de controles.



Figuur B.2. Relatieve gemiddelde CH₄-concentratie (in %; referentie = 100%) van beide doseringen van Additief A, met de enkele dosis (groen/blauwe lijn) en de dubbele dosis (rode lijn).



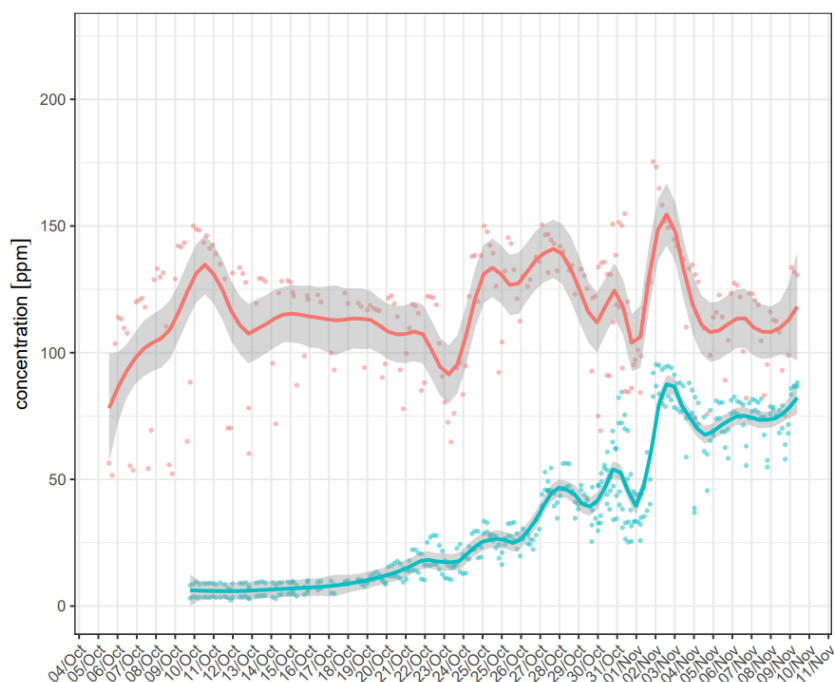
Figuur B.3. Relatieve gemiddelde CH₄-concentratie (in %; referentie = 100%) van beide doseringen van Additief B, met de enkele dosis (groen/blauwe lijn) en de dubbele dosis (rode lijn).



Figuur B.4 Relatieve gemiddelde CH₄-concentratie (in %; referentie = 100%) van beide doseringen van Additief C, met de enkele dosis (groen/blauwe lijn) en de dubbele dosis (rode lijn).

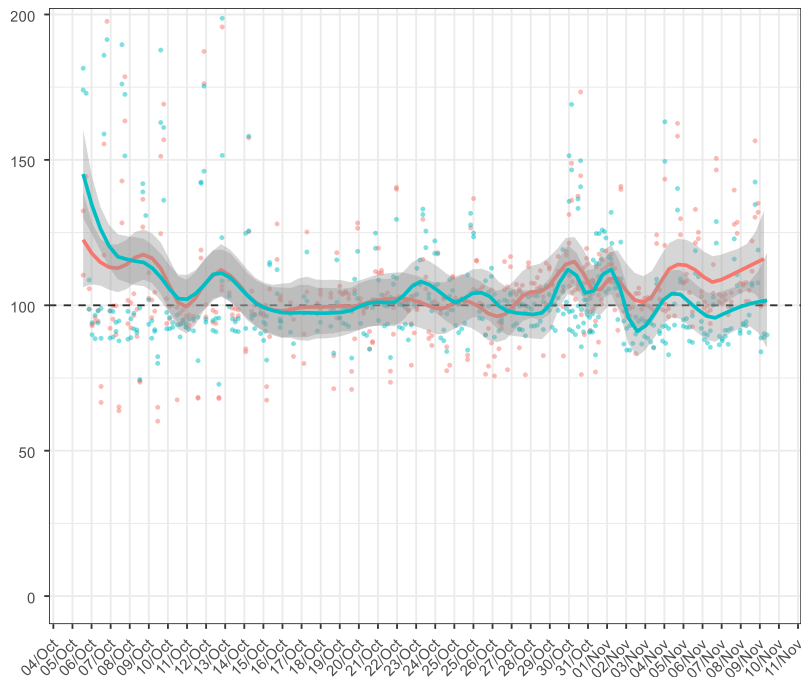
Figuur B.5 toont het verloop van de NH₃-concentratie van controle-pot 2 en het gemiddelde van de behandelingen met melkzuur (potten 3 en 4), met de opmerking dat melkzuur op 10 oktober werd toegediend.

Het verloop van de NH₃-concentratie van de behandelde mest vertoonde geen duidelijke trend. Dit heeft te maken met het feit dat in de mest een overmaat aan ammoniumstikstof aanwezig is die gedurende de proef niet noemenswaardig afneemt. Voor melkzuur neemt de concentratie toe. De waarden zijn direct na toediening laag, vanwege de lage pH (zoals ook beschreven is §2.3). De waarden nemen over de tijd toe, waarschijnlijk met de stijgende pH zoals blijkt uit de pH-meting op 10 november, zoals weergegeven in Tabel 2). Ammoniakconcentratie aan het emitterend mestoppervlak en pH zijn positief gecorreleerd. Dit betekent dat de ammoniakconcentratie en daarmee de emissie toeneemt bij toenemende pH.

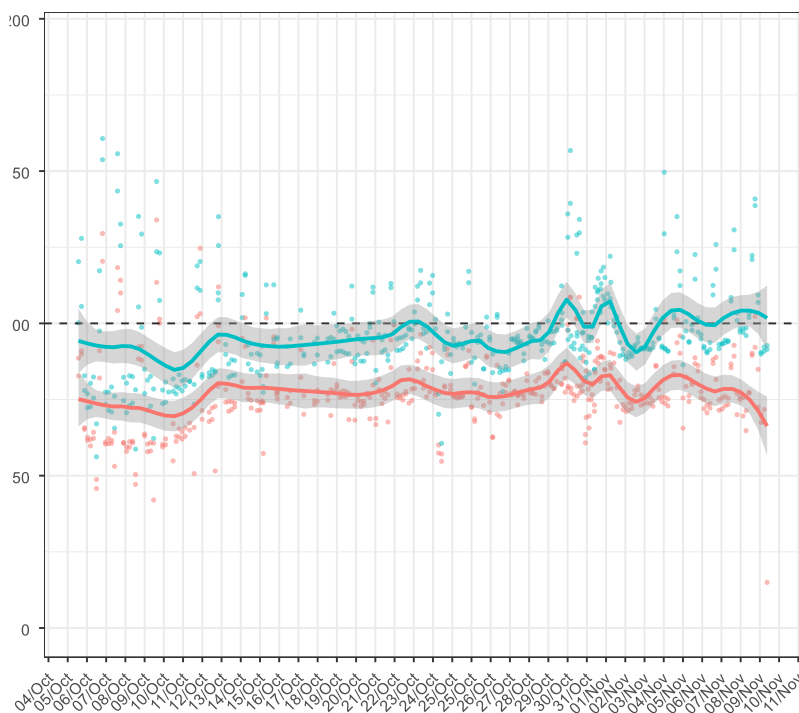


Figuur B.5. Verloop van de NH₃-concentratie (ppm) van de controle (rode lijn) en het gemiddelde van de behandelingen met melkzuur (blauwe lijn).

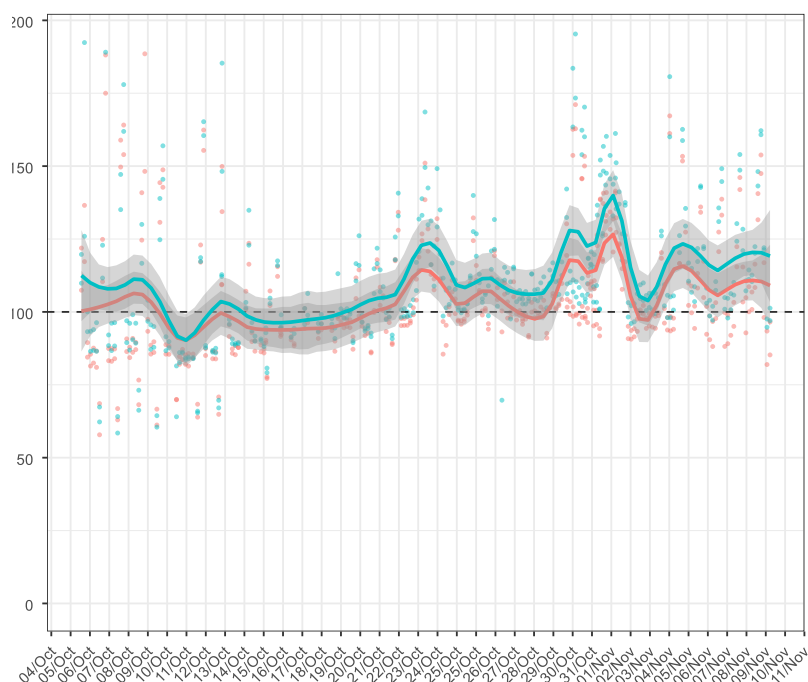
De figuren B.6 t/m B.8 tonen het gemiddelde verloop van de NH₃-concentratie van de potten met beide doseringen ('enkel' en 'dubbel') van respectievelijk additieven A, B en C. Additief A en C geven geen verandering te zien ten opzichte van het verloop van de NH₃-concentratie van de referentiemest. Additief B lijkt wel een effect te hebben, met name bij de dubbele dosering. Vanwege de chemische werking van additief B verwachten we een mogelijk effect. Door de verstrengeling met verschillen in 'flush flow' gedurende de periode tussen de metingen (zie Tabel 1) is een absolute uitspraak over een eventuele – positieve of negatieve – CH₄-emissiereductie niet te geven. De 'flush flow' gedurende de periode tussen de metingen lag bij de behandelingen B en C aanzienlijk lager dan bij de controles, terwijl deze bij de behandelingen met middel A juist hoger lag dan bij de controles.



Figuur B.6. Relatieve gemiddelde NH_3 -concentratie (in %; referentie = 100%) van beide doseringen van Additief A, met de enkele dosis (groen/blauwe lijn) en de dubbele dosis (rode lijn).



Figuur B.7. Relatieve gemiddelde NH_3 -concentratie (in %; referentie = 100%) van beide doseringen van Additief B, met de enkele dosis (groen/blauwe lijn) en de dubbele dosis (rode lijn).



Figuur B.8. Relatieve gemiddelde NH_3 -concentratie (in %; referentie = 100%) van beide doseringen van Additief C, met de enkele dosis (groen/blauwe lijn) en de dubbele dosis (rode lijn).