



Ammoniakemissie tijdens frequent mixen van drijfmest met lucht

Onderzoek op Dairy Campus

H.J.C. van Dooren, S. Bokma, N.W.M. Ogink

Rapport 1170



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Ammoniakemissie tijdens frequent mixen van drijfmest met lucht

Onderzoek op Dairy Campus

H.J.C. van Dooren, S. Bokma, N.W.M. Ogink

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek (projectnummer BO-20-004-093), en Zuivel NL

Wageningen Livestock Research
Wageningen, juli 2019

Rapport 1170

Samenvatting NL:

In vier experimenten, in een periode van drie jaar (2016-2018) uitgevoerd op Dairy Campus, is het effect van frequent mixen van drijfmest op de ammoniakemissie onderzocht. Het mixen van mest is uitgevoerd met twee luchtmixsystemen en een mechanische dompelmixer. In geen van de systemen werd reductie van de ammoniakemissie gemeten ten opzichte van een ongemixte referentie. De aanname dat het voorkomen van korstvorming op de drijfmest in putten in melkveestallen leidt tot reductie van ammoniakemissie kon niet worden onderbouwd.

Summary UK:

Four experiments have been conducted between 2016 and 2018 at Dairy Campus in Leeuwarden, The Netherlands with the aim to measure the effect of daily mixing of dairy slurry on the emission of ammonia. Daily mixing of slurry either with air pumped into the slurry or with an electrical mixer did not result in reduction of ammonia emission. The assumption that preventing a crust to be formed on top of the slurry by frequent mixing would reduce ammonia emission was not supported by the results found the emission measurements units at Dairy Campus (The Netherlands) in four experiments.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/478047> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2019 Wageningen Livestock Research

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

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.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.

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

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

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Belang voor de melkveehouderij	9
	1.2 Bestaande kennis over mogelijk werkingsprincipe	9
	1.3 Doelstelling	10
2	Materiaal en methoden	11
	2.1 Beschrijving meetunit Dairy Campus	11
	2.2 Meetapparatuur en dataopslag	12
	2.3 Beschrijving installaties voor mestmixen	14
	2.4 Opzet experimenten	15
	2.5 Waarnemingen en berekeningen	16
3	Resultaten en discussie	17
	3.1 Resultaten	17
	3.2 Discussie	20
4	Conclusies	21
	Literatuur	22

Woord vooraf

Dit rapport beschrijft de resultaten van meerjarig onderzoek naar het effect van frequent mixen van rundveedrijfmest met lucht op de ammoniakemissie bij toepassing in een melkveestal. Aanleiding voor dit onderzoek waren de resultaten van verkennende emissieonderzoek in 2014 aan het Aeromix systeem. De resultaten van dat verkennende onderzoek, uitgevoerd op Dairy Campus, lieten een reductie in de ammoniakemissie zien van rond de 50% ten opzichte van een ongemixte referentie. Deze verrassende uitkomst riep vragen op over de herhaalbaarheid van de resultaten en het achterliggende reductieprincipe. Het in dit rapport beschreven verdiepende onderzoek is uitgevoerd aan beide toentertijd op de markt beschikbare luchtmixsystemen: het Aeromixsysteem van Vogelsang BV (voormalig Bos Benelux BV) en het Smart Slurry Aeration System (SSAS) van DSD stalinrichting BV. We danken beide bedrijven hartelijk voor de verleende medewerking.

Dit project is zowel gefinancierd door de overheid in het kader van de programmatische aanpak stikstof (PAS) als door het bedrijfsleven, vertegenwoordigd door ZuivelNL.

De auteurs

Samenvatting

Het mixen van mest met lucht is in Nederland een relatief nieuwe techniek die kan toegepast worden in nieuwe en bestaande melkveestallen om drijfmest in de kelders onder (rooster)vloeren te mixen. Oriënterende metingen naar een mogelijk effect van frequent mixen van drijfmest met lucht lieten een forse reductie van de ammoniakemissie zien zonder dat daar een sluitende verklaring voor werd gevonden (van Dooren et al., 2015). Internationaal onderzoek dat sindsdien gepubliceerd is toonde echter een verhoging van de ammoniakemissie aan (Calvet et al., 2017).

Op basis van bestaande literatuur is ook geen éénduidige uitspraak te doen over het effect van mixen van mest in het algemeen of het mixen met luchtbellen in het bijzonder op de ammoniakemissie. Een verklaring voor een eerder gemeten reductie van ammoniakemissie bij toepassing van een luchtmixsysteem is een verlaging van het ammoniumgehalte in de toplaag doordat korstvorming door mixen wordt vermeden. Daardoor mengen afgevoerde urineplassen zich sneller met de rest van de mest in de kelder dat een lager ammoniumgehalte heeft. Ook een verandering van de pH in de emitterende toplaag bij regelmatig mixen kan bijdragen aan een verandering van een emissie. De hypothese dat regelmatig mixen drijfslagen voorkomt waardoor er geen urineplassen (bron voor ammoniakemissie) op het mestoppervlak blijven drijven is het uitgangspunt voor de opzet van in dit rapport beschreven experimenten. Doel van het onderzoek is het bepalen van het effect van regelmatig mixen met lucht op de ammoniakemissie uit melkveestallen.

In vier experimenten, uitgevoerd tussen januari 2016 en oktober 2018, is zowel de mixfrequentie (aantal keren per dag), de mixduur (aantal uur per dag) als de mixmethode (mixen met lucht of mechanisch mixen) onderzocht (zie Tabel A). De experimenten zijn uitgevoerd in de vier afdelingen van de meetunit voor emissieonderzoek op Dairy Campus Leeuwarden. Deze mechanisch geventileerde afdelingen bieden elk plaats aan 15 melkkoeien en zijn voorzien van een betonnen roostervloer met daaronder een mestput. In twee van deze afdelingen (13 en 16) zijn in de loop van de experimenten twee luchtmixinstallaties gebruikt voor het onderzoek: het Aeromixsysteem van Vogelsang BV en het Smart Slurry Aeration System (SSAS) van DSD stalrichting BV.

Tabel A Opzet van verschillende experimenten.

Experiment	Periode		Installatie	Behandeling per afdeling (# keer per dag/tijd per keer)			
	van	tot		13	14	15	16
1	15-1-2016	30-4-2016	Aeromix	1x/7h	Referentie	Referentie	1x/7h
2	11-5-2017	24-10-2017	SSAS+Mechanisch	1x/2h ¹	Referentie	1x/30 min ²	Referentie
3	15-12-2017	31-1-2018	SSAS	4x/15 min	nb ³	Referentie	1x/1h
4	1-8-2018	22-10-2018	SSAS	1x/8h	Referentie	Referentie	1x/4h

¹ SSAS; ² mechanisch; ³ nb: niet beschikbaar. Deze afdeling werd in deze periode voor ander onderzoek ingezet.

In Tabel B zijn de resultaten van de verschillende experimenten samengevat.

Tabel B Gemiddelde ammoniakemissie per afdeling in kg per dierplaats per jaar bij verschillende experimenten met tussen haakjes de relatieve ammoniakemissie per afdeling ten opzichte van de referentie afdelingen(en).

Experiment	Afdeling			
	13	14	15	16
1	8.6 (1.0)	9.2 ¹	8.0 ¹	5.1 (0.6)
2	13.4 (1.2)	11.4 ¹	11.1 (1.0) ²	11.1 ¹
3	11.5 (1.1)	-	10.3 ¹	11.5 (1.1)
4	12.1 (1.8)	8.6 ¹	7.4 ¹	14.1 (1.5)

¹ Referentie; ² Mechanische mixen

Reductie van de ammoniakemissie werd alleen tijdens het eerste experiment in afdeling 16 gemeten en varieerde van 40% ten opzichte van de referentieafdeling tot 20% reductie ten opzichte van de nulperiode. In experiment 4 werd een toename van de ammoniakemissie geconstateerd door regelmatig mixen. In de overige experimenten werd geen reductie van ammoniakemissie gevonden door variatie van mixduur, -frequentie of -methode. De hypothese dat door het voorkomen van een drijfslag door dagelijks mixen de ammoniakemissie zal verminderen is daarmee niet bevestigd. Eerder gemeten reductie van de ammoniakemissie bleek niet herhaalbaar en zijn waarschijnlijk het resultaat van een toevalstreffer gecombineerd met een afdelingseffect. Conclusie is daarom dat het regelmatig mixen van mest niet leidt tot een reductie van de ammoniakemissie wanneer toegepast melkveestallen met mestkelders onder roostervloeren.

De door anderen (Calvet et al., 2017) gerapporteerde reductie van methaanemissie is een reden om vervolgenmetingen aan te bevelen waarin de emissie van de broeikasgassen methaan en lachgas centraal staat.

1 Inleiding

Ammoniak veroorzaakt na depositie schade aan kwetsbare natuur en is in veel gevallen een belemmerende factor voor bedrijfsontwikkeling in de melkveehouderij. De landbouw in Nederland was in 2017 verantwoordelijk voor 86% van de totale ammoniakemissie (114.0 kton NH₃ op een totaal van 132.4 kton NH₃) (RIVM, 2019). Volgens van Bruggen et al. (2018) is ongeveer 28% daarvan afkomstig uit stallen en mestopslagen voor rundvee. De melkveestallen in Nederland vormen daarmee gezamenlijk één van de grootste bronnen van ammoniakproductie. Door sector en industrie is de afgelopen jaren veel energie gestoken in de ontwikkeling van met name vloersystemen om deze emissies te verminderen. De toepassing in de praktijk is echter nog beperkt, vanwege de kosten en de inpasbaarheid in bestaande stallen. De implementatiegraad voor emissiearme huisvestingssystemen voor melkvee bedroeg in 2016 18.7% (van Bruggen et al., 2018). De noodzaak tot verdere emissiereductie is daarmee blijvend groot. Daarom is er behoefte aan systemen die gemakkelijk en tegen acceptabele kosten kunnen worden toegepast in bestaande stallen.

In 2014 is in opdracht van Bos Benelux BV en met een bijdrage uit het Innovatiefonds Dairy Campus verkennend onderzoek gedaan naar mogelijke effecten van het Aeromix mestmengsysteem op de gasvormige emissie en met name de ammoniakemissie (van Dooren et al., 2015). Bij het Aeromix systeem vindt het mixen van mest plaats met behulp van luchtbellen die dagelijks kortstondig uit een netwerk van slangen op de kelderbodem worden geblazen. Gedurende een maand is de mest in één van de afdelingen van de meetunit voor emissiemetingen op Dairy Campus gemixt met dit systeem en is de ammoniakemissie in die periode gemeten. De resultaten van die metingen lieten een forse reductie zien van de ammoniakemissie (ca. 50 %) ten opzichte van een andere, ongemixte referentieafdeling. Een verklaring voor deze emissiereductie en het achterliggende werkingsprincipe was echter niet duidelijk en vroeg om vervolgonderzoek.

1.1 Belang voor de melkveehouderij

Gezien de brede toepassingsmogelijkheid van een mengtechniek (meer dan 90% van het melkvee is gehuisvest in stallen met roostervloer) zou het regelmatig mengen van mest in potentie een bijzonder effectieve aanvulling kunnen zijn op de voor de praktijk beschikbare mogelijkheden om de ammoniakemissie te verminderen. De resultaten zijn daardoor relevant voor een grote groep veehouders en toepasbaar in zowel bestaande als nieuw te bouwen stallen. Vermindering van milieubelastende emissies levert een positieve bijdrage aan de maatschappelijke waardering van de melkveehouderij. Het mixen van drijfmest is in de melkveehouderij bovendien een activiteit die noodzakelijk is om de mest goed uit de stal af te kunnen voeren en om een homogeen product op het land aan te kunnen wenden. Als hiermee, door aangepaste technieken of een aangepast management, veel milieuwinst is te behalen is het een effectieve maatregel.

1.2 Bestaande kennis over mogelijk werkingsprincipe

Een verkenning van de literatuur naar mogelijke werkingsprincipes geeft een wisselend beeld. Korstvorming wordt al sinds de jaren '90 van de vorige eeuw gezien als een potentiële reductietechniek voor ammoniakemissie uit mestopslagen. Sommer et al (1993) rapporteren over onderzoek in minisilo's een reductie van de ammoniakemissie van 80% uit een open buitenopslag voor drijfmest met een natuurlijke korst ten opzichte van drijfmest die wekelijks gemixt wordt en waarin zich geen korst kan vormen. Ook de Bode (1990) deed onderzoek in minisilo's en vond een reductie van ammoniakemissie uit opgeslagen rundveemest door natuurlijke korstvorming. Gemiddeld bedroeg die 37%. Het toevoegen van stro om de korstvorming te bevorderen leidde zowel bij Sommer et al (1993) als bij de Bode (1990) tot een verdere emissiereductie. Als verklaring voor de reductie wordt een daling van het ammoniumgehalte in de toplaag en onvoldoende diffusie van ammonium uit diepere lagen aangedragen.

Deze resultaten lijken tegengesteld te zijn aan uitkomsten van de verkennende metingen door van Dooren et al (2015) op Dairy Campus aan het Aeromixsysteem waar juist een lagere ammoniakemissie gevonden werd door regelmatig te mixen met lucht. Toch ligt in aangehaalde bronnen mogelijk een verklaring voor deze reductie. Het verschil tussen mest opgeslagen in een kelder onder een roostervloer en mest opgeslagen in een externe mestsilo is dat in de kelder continue verse mest en urine door de roosters wordt toegevoegd. Een korst op de mest in een kelder onder een roostervloer zou dan in een ongemengde situatie kunnen fungeren als een soort schijnvloer waarmee feces dat door de roosters komt zich mengt maar waarop urine in plassen blijft liggen. Het ammoniumgehalte in de toplaag van de mest wordt dan hoger en de urine blijft langer blootgesteld aan, voor emissie, gunstige omstandigheden. Beide effecten kunnen dan leiden tot een hogere ammoniakemissie.

Een andere mogelijke verklaring voor de emissiereductie van ammoniak is een verlaging in pH van de toplaag. Zo is eerder bij varkensmest in een laboratoriumopstelling een effect van regelmatige verstorning van het mestoppervlak geconstateerd (Blanes-Vidal et al., 1999). Daarin wordt verlaging in de pH van de toplaag van de mest als mogelijke verklaring gesuggereerd voor de gemeten reductie van de ammoniakemissie.

Een aanvullend aspect van het Aeromix-systeem ten opzichte van andere (mechanische) mixsystemen is het inbrengen van lucht. De ingebrachte lucht is veel te weinig om via nitrificatie en denitrificatie tot vermindering van de ammoniakemissie te leiden, maar zou mogelijk wel kunnen leiden tot minder anaerobe omstandigheden en daardoor verandering van de populatie bacteriën in de mest. Of dit de ammoniakemissie kan verminderen is onduidelijk maar het zou wel invloed kunnen hebben op de productie van methaan (Stevens en Cornforth, 1974). Een aanwijzing daarvoor zijn metingen aan een andere stof die geproduceerd wordt onder anaerobe (zuurstofloze) omstandigheden namelijk zwavelwaterstof (H_2S). Dit is een zeer giftig gas dat ontstaat bij anaerobe afbraak van organische verbindingen en dat tijdens mixen in hoge concentratie kan vrijkomen waardoor regelmatig ongelukken gebeuren (Middelkoop, 2019; Stigas, 2019). Onderzoek in Ierland (Scully et al., 2007) heeft duidelijke aanwijzingen gegeven dat door het regelmatig mixen van mest met een Aeromix-systeem gevaarlijk hoge concentraties van waterstofsulfide (H_2S) voorkomen worden die wel optreden bij het mixen van lang ongemixte mest. Onduidelijk is echter of ook de productie van H_2S afneemt bij frequent mixen of dat de uitstoot verspreid wordt over een langere tijd waardoor concentratiepieken voorkomen worden (Stevens en Cornforth, 1974).

Het enige beschreven onderzoek naar het effect van mixen met lucht op de emissie van ammoniak is gedaan door Calvet et al. (2017) aan een opstelling met minisilo's gevuld met varkensmest. Daarin is het regelmatig mixen met lucht nagebootst en is de emissie van ammoniak (NH_3), methaan (CH_4), lachgas (N_2O) en kooldioxide (CO_2) gemeten. Het mixen met lucht had geen effect op de emissie van CO_2 en N_2O maar liet een verhoging van de emissie van NH_3 met 20% en een verlaging van de emissie van CH_4 met 40% zien. Calvet et al. (2017) verklaren de toegenomen ammoniakemissie uit een verandering van de pH in de toplaag van de mest.

Op basis van bestaande kennis is geen éénduidige uitspraak te doen over het effect van regelmatig mixen van mest in het algemeen of met lucht in het bijzonder op de ammoniakemissie. Een mogelijke verklaring voor de eerder gemeten reductie van ammoniakemissie is een hoger ammoniumgehalte in de toplaag doordat urineplassen door korstvorming in niet gemengde mest langer aan het oppervlak blijven in combinatie met een verandering van de pH door regelmatig mixen. Uitgangspunt voor de in dit rapport beschreven experimenten is de hypothese dat door regelmatig mixen van runderdrijfmest in een kelder onder een roostervloer de ammoniakemissie zal afnemen omdat drijfslagen voorkomen worden en er daardoor geen urineplassen (bron voor ammoniakemissie) op het mestoppervlak blijven staan.

1.3 Doelstelling

Doel van het onderzoek is het bepalen van het effect van regelmatig mixen met lucht op de ammoniakemissie uit melkveestallen.

2 Materiaal en methoden

Tussen begin januari 2016 en eind oktober 2018 zijn vier experimenten op Dairy Campus uitgevoerd die opgezet zijn volgens de case-control aanpak. In die vier experimenten zijn drie methoden voor frequent mixen gebruikt, twee waarbij de drijfmest gemixt is met lucht en één waarbij de mest met een mechanische mixer is gemengd. In onderstaande paragrafen worden de experimenten, de onderzoekslocatie, de mixmethoden en de waarnemingen en berekeningen in detail beschreven.

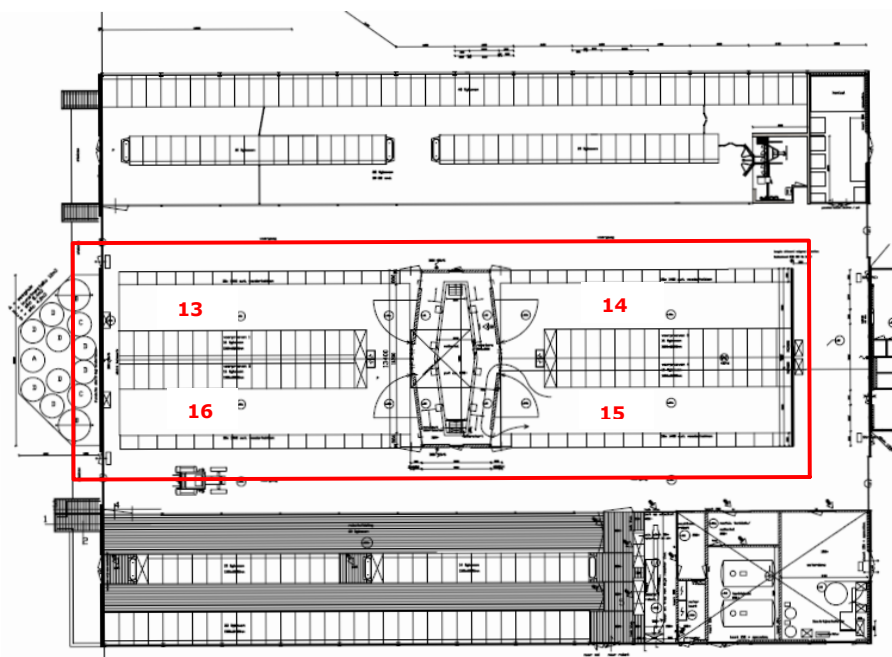
2.1 Beschrijving meetunit Dairy Campus

Dairy Campus is een proefbedrijf voor melkveehouderij en is onderdeel van Wageningen Livestock Research. Het ligt in de buurt van Leeuwarden. In een stal waarin plaats is voor ongeveer 180 melkkoeien is in het midden een gedeelte ingericht voor het doen van emissieonderzoek. Deze meetunit bestaat uit vier vergelijkbare afdelingen met elk plek voor 15 melkkoeien (zie figuur 1). De afdelingen zijn ingedeeld als een 1-rijige ligboxenstal met een loopgang van 3,5 meter breed achter het veiligheidsvoerhek. De loopgang bestaat uit een betonnen roostervloer. Het totale bevuilde oppervlak per dier bedraagt ca. 5,0 m².

Tot mei 2016 waren de afdelingen gegroepeerd rond een vier maal twee stands open tandem melkstal waar alle dieren twee keer per dag gemolken werden. Elke stand was voorzien van een melkmeter. Het krachtvoer werd gedeeltelijk in deze melkstal en gedeeltelijk in een krachtvoerbox in elke afdeling verstrekt.

Sinds mei 2016 worden alle dieren gemolken in de 40 stands draaimelkstal elders op het bedrijf en wordt geen krachtvoer meer in de afdelingen verstrekt.

Alle afdelingen krijgen hetzelfde ruwvoerrantsoen in de vorm van een TMR (Total Mixed Ration). Elke afdeling is verder voorzien van een waterbak waaruit de dieren onbeperkt water kunnen drinken. De afdelingen bevinden zich midden in de stal met aan elke kant een voergang. De afdelingen zijn geheel onderkelderd maar zonder verbinding tussen de afdelingen onderling of de rest van de stal. Het totale mestoppervlak is ca. 125 m² waarvan 50 m² onder de ligboxen. Ook boven de roosters zijn de afdelingen van elkaar gescheiden door een tentconstructie van enigszins lichtdoorlatend folie (zie figuur 2).



Figuur 1 Plattegrond van Dairy Campus met centraal daarin de vier genummerde afdelingen van de meetunit.

Deze tent is aan de voorkant, bij het voerhek, voorzien van een gordijn dat opgetrokken kan worden. Hiermee wordt de luchtinlaat in de afdelingen geregeld. De onderkant van het gordijn hangt op een hoogte van ca. 50 cm. Alleen tijdens het voeren gaat het gordijn helemaal omhoog. De ingaande lucht is afkomstig uit de rest van de stal.

In het dak van iedere afdeling zijn twee ventilatoren (van de firma Fancom) met een diameter van 80 cm gemonteerd voor de afvoer van de lucht. Elke ventilator heeft volgens fabrieksopgave een maximale capaciteit van 20.750 m³ per uur bij 0 Pa tegendruk en 19.050 m³ per uur bij 30 Pa tegendruk. In elke afdeling zijn beide ventilatoren voorzien van een smoorunit (Fancom ATM80) en is één van de ventilatoren voorzien van een meetwaaier. Van een meet- en smoorunit van dit type is voor de bouw van de meetunit de relatie tussen debiet en uitgangssignaal bepaald door DLG in Duitsland. Deze ventilatiekromme wordt gebruikt voor het berekenen van het ventilatiedebiet. Dit ventilatiedebiet wordt voor elke afdeling onafhankelijk geregeld door een klimaatcomputer (Fancom FC14) die beide ventilatoren simultaan aanstuurt op basis van het signaal uit de meet- en smoorunit. Het ventilatieniveau in de afdelingen is in alle experimenten vast ingesteld op 40% van de maximale capaciteit (ongeveer 1.100 m³/uur per dier); een niveau dat representatief is voor natuurlijk geventileerde omstandigheden.

Verder is de afdeling uitgerust met verlichting (2 stuks) en wordt de temperatuur en luchtvochtigheid continue gemeten (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS).



Figuur 2 Zicht op afdeling 16 van de meetunit. Het gordijn voor regeling van de luchtinlaat is omhoog. Aan de onderzijde van het gordijn zijn de meetpunten voor meting van de achtergrondconcentratie bevestigd (rode lijn). In de afdelingen zijn de twee ventilatoren voor de luchtafvoer te zien (gele pijlen) waarin zich ook de monsterpunten voor de meting van de ammoniakconcentratie in de uitgaande lucht bevinden.

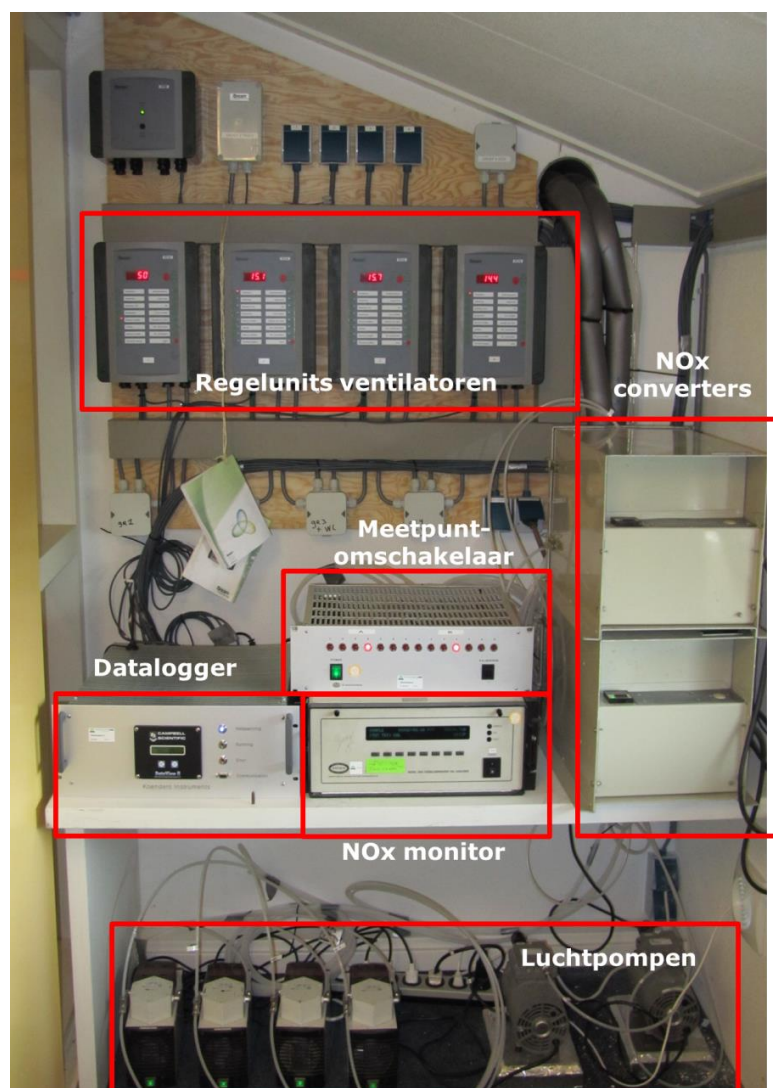
2.2 Diergegevens

In elke afdeling zijn 15 melkgevende dieren gehuisvest. Bij de indeling van de dieren is er bij elk experiment voor gezorgd dat er vergelijkbare groepen ontstonden wat betreft melkproductie, ureumgehalte in de melk, leeftijd en pariteit.

Alle afdelingen kregen hetzelfde rantsoen in de vorm van TMR (Total Mixed Ration). Aanvullend werd naar behoefte individueel krachtvoer verstrekt zowel in de melkstal als de krachtvoerbox in de afdeling. De koeien hadden onbeperkt drinkwater tot hun beschikking.

2.3 Meetapparatuur en dataopslag

In elke ventilatiekamer is een monsterleiding aangebracht voor de bemonstering van de uitgaande lucht. Deze leidingen (acht stuks in totaal) lopen naar een 12-kanaals meetpuntschakelaar (MPO) (zie figuur 3). Aan de onderkant van elk gordijn zijn 4 monsterpunten aangebracht voor de bemonstering van de ingaande lucht. De luchtflow van elk punt wordt beperkt door een capillair van ca. 200 ml/min. Deze vier monsterpunten per afdeling worden samengebracht tot één monsterleiding per afdeling die ook naar de MPO loopt. Afwisselend worden de ammoniakconcentraties in de afdelingen en achtergronden gemeten door een NOx-analyzer (Teledyne T200) die de concentratie NOx in de aangeboden luchtstroom meet. Om de aanwezige ammoniak om te zetten naar NOx wordt de te meten lucht vooraf door een convertor geleid die onder hoge temperaturen het aanwezige ammoniak (NH_3) omzet naar NOx. Gemiddelde concentraties per meetpunt worden elke minuut opgeslagen door een datalogger (Campbell Scientific CR1000) die tevens de MPO aanstuurt. Naast de ammoniakconcentratie slaat de datalogger ook elke minuut het ventilatieniveau per afdeling op en elk kwartier de gemiddelde temperatuur en luchtvochtigheid in elke afdeling, op de twee voergangen en van de buitenlucht.



Figuur 3 *Overzicht van meetopstelling voor ammoniakemissiemetingen.*

2.4 Beschrijving installaties voor mestmixin

Tijdens de experimenten¹ zijn twee typen luchtmixsystemen gebruik. De werking van beide systemen komt overeen. Beide systemen bestaan uit een luchtpomp (compressor), een verdeelunit en een leidingenstelsel op de keldervloer die elk meerdere 'outlets' hebben. De aansturing van de pomp en de verdeelunits gebeurt door een PLC (programmable logic controller) waarmee tevens een tijdschema voor het mixen ingesteld kan worden. De verdeelunit zorgt ervoor dat steeds een aantal 'outlets' op de keldervloer verbonden worden met de compressor. Via deze outlets ontstaan grote luchtbellen die de mestkolom daarboven in verticaal in beweging zetten zodat de mest gemixt wordt en een homogene methoeveelheid ontstaat. Met de PLC kan de duur van het mixen per outlet maar ook de totale mixtijd of -frequentie per stal ingesteld worden. Het luchtmixsysteem is aangebracht in afdeling 13 en 16. In het eerste experiment is gebruik gemaakt van het Aeromixsysteem dat door Vogelsang BV op de markt wordt gebracht.

Na het eerste experiment is het systeem vervangen en in de volgende experimenten is gebruik gemaakt van het Smart Slurry Aeration System (SSAS) van DSD stalinrichting BV.

Bij één van de experimenten is ook gebruik gemaakt van mechanische dompelmixers geleverd door DSD-stalinrichting. Die zijn aangebracht in de afdeling 14 en 15 en voorzien van een regelaar waarmee de draairichting, het toerental en de mixtijd en -frequentie van de mixers ingesteld kan worden. Tijdens het mixen wordt de mest in de afdelingen horizontaal in beweging gebracht en op die manier gemixt.



Figuur 4 Voorbeeld van leidingen met 'outlets' van het Aeromixsysteem (Bron: Ameram Ltd.)



Figuur 5 Voorbeeld van het Aeromixsysteem in werking (Bron: Ameram Ltd.)

¹ Voor verdere beschrijving van de experimenten zie paragraaf 2.5



Figuur 6 Het SSAS systeem aangelegd in één van de afdelingen op Dairy Campus.

2.5 Opzet experimenten

De meting zijn uitgevoerd in vier experimenten. In Tabel 1 wordt een samenvattend overzicht gegeven van deze vier uitgevoerde experimenten. Voor elk experiment is aangegeven hoe vaak per dag en hoe lang per keer gemixt is. Voor de start van de behandeling in elk experiment is het mestniveau in de afdelingen teruggebracht tot ongeveer 40 cm.

Tabel 1 Opzet van verschillende experimenten.

Experiment	Periode		Installatie	Behandeling per afdeling (# keer per dag - tijd per dag)			
	van	tot		13	14	15	16
1	15-1-2016	30-4-2016	Aeromix	1x - 7h	Referentie	Referentie	1x - 7h
2	11-5-2017	24-10-2017	SSAS+mechanisch	1x - 2h ¹	Referentie	1x - 30 min ²	Referentie
3	15-12-2017	31-1-2018	SSAS	4x - 15 min	nb ³	Referentie	1x - 1h
4	1-8-2018	22-10-2018	SSAS	1x - 8h	Referentie	Referentie	1x - 4h

¹ SSAS; ² Mechanische mixen; ³ nb: niet beschikbaar. Deze afdeling werd in deze periode voor ander onderzoek ingezet.

Experiment 1

Het eerste experiment heeft als doel om de het eerdere onderzoek beschreven in van Dooren et al. (2015) te herhalen. In tegenstelling tot die metingen zijn nu twee afdelingen uitgerust met hetzelfde luchtmixsysteem. De instellingen waren voor beide afdelingen gelijk en kwamen overeen met die uit de eerdere metingen uit 2015 (zie Tabel 1).

Experiment 2

Het tweede experiment heeft als doel om de methode van mixen met elkaar te vergelijken en daarmee mogelijk het effect van het inbrengen van lucht vast te kunnen stellen. Daarvoor is een afdeling waarin de mest dagelijks met lucht gemixt wordt vergeleken met een afdeling waarin de mest dagelijks mechanisch gemixt wordt.

Experiment 3

Het derde experiment heeft als doel het effect van vier keer per dag mixen met lucht te vergelijken met één keer per dag mixen met lucht zonder dat de totale duur van het mixen per dag (en daarmee de hoeveelheid ingebrachte lucht) verandert.

Experiment 4

Het vierde experiment tenslotte had als doel om het effect van totale duur van het mixen per dag te vergelijken. Daarvoor is in één afdeling gedurende vier uur per dag gemixt en in de andere afdeling acht uur per dag. In die afdeling wordt de mixduur die in het eerste experiment gehanteerd is benaderd.

2.6 Waarnemingen en berekeningen

De volgende waarnemingen en berekeningen zijn gedurende de meetperiodes uitgevoerd.

De ammoniakemissie per afdeling wordt per uur wordt berekend door het verschil in concentratie tussen uitgaande en ingaande lucht (omgerekend van 'parts per milion' (ppm) naar mg per m³) te vermenigvuldigen met het ventilatiedebiet in m³ per uur. Vermenigvuldiging met het aantal uren per dag, dagen per jaar en deling door het aantal milligram per kilogram en het aantal dierplaatsen resulteert tenslotte in een emissie in kg per dierplaats per jaar. In formule is dat:

$$E = \frac{(C_{uit} - C_{in}) * 17}{24 * 1000} * V \quad (2)$$

Met

E : Ammoniakemissie uitgedrukt in g per uur

C_{uit}: de uurgemiddelde ammoniakconcentratie in ppm van de uitgaande lucht gemiddeld over de twee ventilatoren

C_{in}: de uurgemiddelde ammoniakconcentratie in ppm van de ingaande lucht

V: het uurgemiddelde ventilatiedebiet in m³/uur

17/24: factor voor omrekening van ppm naar mg per m³ (T=20°C; p=1 bar).

De ammoniakemissie per dag wordt berekend door het gemiddelde van de emissies per uur te nemen met uitzondering van de melk- en voertijden (twee keer twee uur per dag). Behandelingsgemiddelden zijn uitgerekend door het middelen van emissies per dag.

3 Resultaten en discussie

3.1 Resultaten

Experiment 1

Experiment 1 is vanaf 1 januari 2016 van start gegaan met een nulperiode van 2 weken. Op 15 januari 2016 is de behandeling gestart. Door een storing heeft het luchtmixsysteem tussen 25 januari 2016 en 10 februari 2016 niet gedraaid. Op 15 april 2016 is weer een storing in het mixsysteem van afdeling 13 ontdekt waardoor een gedeelte van de kelder niet gemixt is. Die storing is op 18 april 2016 hersteld. Onduidelijk is hoe lang deze storing al aanwezig was. In Tabel 2 zijn de resultaten van de verschillende perioden weergegeven.

Tabel 2 Resultaten ammoniakemissie in kg per dierplaats per jaar in experiment 1. Tussen haakjes staat de ratio ten opzichte van het gemiddelde van afdeling 14 en 15 (referenties).

#	Periode	Behandeling	Afdeling			
			13 ¹	14	15	16
0	1/1/2016 – 14/1/2016	Nulperiode	4.6 (0.8)	7.9 (1.4)	3.3 (0.6)	4.4 (0.8)
1	15/1/2016 – 25/1/2016	Automatisch mixen	7.2 (1.0)	7.9 (1.1)	6.3 (0.9)	4.8 (0.7)
2	26/1/2016 – 9/2/2016	Storing	10.7 (1.0)	11.6 (1.1)	9.5 (0.9)	6.6 (0.6)
3	10/2/2016 – 15/4/2016	Automatisch mixen	8.6 (1.0)	9.5 (1.1)	8.3 (0.9)	5.2 (0.6)
4	16/4/2016 – 30/4/2016	Automatisch mixen	7.6 (1.1)	6.9 (1.0)	6.7 (1.0)	3.4 (0.5)
Totaal behandelingen			8.6 (1.0)	9.2 (1.1)	8.0 (0.9)	5.1 (0.6)

¹ Beperkt gemixt door storing

In afdeling 16 wordt een gemiddelde reductie van de ammoniakemissie gemeten van 40% ten opzichte van de referentieafdelingen in dezelfde periode. In vergelijking met de nulperiode van dezelfde afdeling is de emissiereductie echter minder (10-20%). Dit is een stuk lager dan de reductie die gemeten is in eerder onderzoek naar mengen van mest met het Aeromixsysteem (van Dooren et al., 2015). Toen werd een reductie in de proefperiode gemeten van 51% ten opzichte van de referentieafdeling in dezelfde periode en 53% ten opzichte van de nulperiode in dezelfde afdeling. In de andere afdeling die met het Aeromixsysteem is uitgerust (afdeling 13) is geen emissiereductie gemeten ten opzichte van de referentieafdelingen in dezelfde periode en een verhoging van de emissie ten opzichte van de nulperiode van dezelfde afdeling. Mogelijk heeft dit te maken met de geconstateerde storing maar ook het emissieniveau in de eerste en vierde periode is vergelijkbaar met het gemiddelde van de referentieafdelingen.

Experiment 2

Experiment 2 is verdeeld in een nulperiode tussen 11 mei 2017 en 22 juni 2017 waarin alle vier de afdelingen niet gemixt werden en een proefperiode tussen 23 juni 2017 en 24 oktober waarin de behandelingen zoals weergegeven in Tabel 1 zijn uitgevoerd. Op 6 augustus 2017 is een losse koppeling in de verdeelunit geconstateerd waardoor afdeling 13 tot die tijd maar beperkt gemixt werd.

Tabel 3 Resultaten ammoniakemissie in kg per dierplaats per jaar in experiment 2. Tussen haakjes staat voor afdeling 13 en 15 de ratio ten opzichte van het gemiddelde van afdeling 14 en 16 (referenties).

#	Periode	Behandeling	Afdeling			
			13	14	15	16
0	11/5/2017 – 22/6/2017	Nulperiode	12.1 (1.2)	10.2	10.7 (1.1)	10.2
1	23/6/2017 – 6/8/2017	Automatisch mixen	14.1 (1.1) ¹	12.8	13.3 (1.1)	12.0
2	7/8/2017 – 24/10/2017	Automatisch mixen	12.9 (1.2)	10.6	9.8 (0.9)	10.5
	Totaal behandelingen		13.4 (1.2)	11.4	11.1 (1.0)	11.1

¹ Beperkt gemixt door storing

De emissie uit afdeling 13 blijkt in de nulperiode (zonder behandeling) 20% hoger te liggen dan de referentieafdelingen. De emissie uit afdeling 15 ligt 10% hoger. De emissies in de referentieafdelingen 14 en 16 zijn gelijk. Tijdens de behandelingen veranderen deze verhoudingen nauwelijks. De emissie in afdeling 13 blijft ook tijdens regelmatig mixen met lucht ongeveer 20% hoger liggen dan de referenties. Datzelfde geldt voor afdeling 15 die regelmatig mechanisch gemixt werd. Zowel regelmatig mechanisch mixen als regelmatig mixen met lucht heeft in dit experiment dus niet geresulteerd in een reductie van de ammoniakemissie.

Experiment 3

Tussen 23 november 2017 en 31 januari 2018 is de emissie gemeten terwijl de twee afdelingen met het SSAS luchtmixsysteem elk een eigen behandeling kregen. Afdeling 13 werd vier keer per dag 15 minuten gemixt en afdeling 16 werd één keer per dag één uur gemixt. De totale mixduur en daarmee de ingebrachte hoeveelheid lucht was in beide afdelingen (mestkelders) gelijk. Afdeling 15 werd gebruikt als referentie en in afdeling 14 was niet voor dit onderzoek beschikbaar. In Tabel 4 zijn de resultaten van dit experiment weergegeven.

Tabel 4 Resultaten ammoniakemissie in kg per dierplaats per jaar in experiment 3. Tussen haakjes staat voor afdeling 13 en 16 de ratio ten opzichte van afdeling 15 (referentie).

#	Periode	Behandeling	Afdeling			
			13	14	15	16
0	23/11/2017 – 13/12/2017	Nulperiode	4.1 (0.6)	nb ¹	6.6	4.7 (0.7)
1	14/12/2017 – 31/1/2018	Automatisch mixen	11.2 (1.1)	nb ¹	10.2	11.3 (1.1)

¹ nb: niet beschikbaar. Deze afdeling werd in deze periode voor ander onderzoek ingezet

Het experiment besloeg een relatief korte periode maar de duur was vergelijkbaar met de proefperiode beschreven in van Dooren et al. (2015). In beide behandelingen is geen effect op de ammoniakemissie zichtbaar. Gemiddeld ligt de ammoniakemissie in de behandelde afdelingen 10% hoger dan in de referentieafdeling. Uit de resultaten blijkt geen invloed van de frequentie waarmee gemixt.

Experiment 4

Experiment 4 is verdeeld in drie perioden: een nulperiode waarin geen behandelingen in de afdelingen zijn toegepast, een periode waarin de mest in afdeling 13 en 16 continue (de hele dag) gemixt is en een periode waarin de mest in afdeling 13 8 uur per dag gemixt is en de mest in afdeling 16 4 uur per dag gemixt is (Tabel 1). Daarmee sloot de behandeling aan bij de mixduur in experiment 1. De nulperiode duurde van 1 augustus 2018 t/m 11 augustus 2018. De periode waarin de aanwezige mest in de behandelde afdelingen continue gemixt werd duurde van 12 augustus 2018 t/m 30 augustus 2018. De periode waarin onderscheid tussen mixduur per dag gemaakt werd duurde tenslotte van 31 augustus 2018 t/m 22 oktober. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Resultaten ammoniakemissie in experiment 4 uitgedrukt in kg per dierplaats per jaar. Tussen haakjes staan de ratios ten opzichte van de gemiddelde emissie in afdeling 14 en 15 (referenties) in dezelfde periode.

#	Periode	Behandeling	Afdeling			
			13	14	15	16
0	1/8/2018 – 11/8/2018	Nulperiode	16.6 (1.0)	12.8 (0.9)	15.9 (1.1)	14.3 (1.2)
1	12/8/2018 – 22/8/2018	Continue mixen	14.8 (1.1)	12.4 (0.9)	15.3 (1.1)	15.1 (1.1)
2	31/8/2018 – 22/10/2018	Automatische mixen	12.1 (1.8)	8.6 (1.1)	7.4 (0.9)	14.1 (1.5)

In Tabel 6 staan dezelfde emissie resultaten maar nu weergegeven als relatieve emissie ten opzichte van de nulperiode.

Tabel 6 Resultaten ammoniakemissie in experiment 4 uitgedrukt als relatieve emissie ten opzichte van de nulperiode in dezelfde afdeling.

#	Periode	Behandeling	Afdeling			
			13	14	15	16
0	1/8/2018 – 11/8/2018	Nulperiode	1.0	1.0	1.0	1.0
1	12/8/2018 – 30/8/2018	Continue mixen	0.9	1.0	1.0	1.1
2	31/8/2018 – 22/10/2018	Automatische mixen	0.7	0.7	0.5	1.0

De gemiddelde ammoniakemissie van de twee behandelde afdelingen (13 en 16) is in de nulperiode als gelijkwaardig te beschouwen aan de gemiddelde ammoniakemissie van de twee referentieafdelingen (14 en 15). Datzelfde geldt voor de periode waarin continue gemixt werd. In de periode waarin verschillende behandelingen in afdeling 13 en 16 werd toegepast neemt de emissie in beide afdelingen licht af maar veel minder dan de emissie in de referentieafdelingen. Daardoor is de relatieve emissie ten opzichte van de referentieafdelingen veel hoger dan in de andere periode. Vergeleken met de nulperiode is de emissie in afdeling 13 lager maar niet dat geldt ook voor de twee referentieafdelingen. De emissie in afdeling 16 is gelijk aan die in de nulperiode van die afdeling.

De resultaten van de vier experimenten worden samengevat in Tabel 7 (absolute emissies) en Tabel 8 (relatieve emissies).

Tabel 7 Gemiddelde ammoniakemissie per afdeling in kg per dierplaats per jaar bij verschillende experimenten.

Experiment	Afdeling			
	13	14	15	16
1	8.6	9.2 ¹	8.0 ¹	5.1
2	13.4	11.4 ¹	11.1 ²	11.1 ¹
3	11.5	-	10.3 ¹	11.5
4	12.1	8.6 ¹	7.4 ¹	14.1

¹ Referentie; ² Mechanische mixen

Tabel 8 Gemiddelde relatieve ammoniakemissie per afdeling ten opzichte van (het gemiddelde van) de referentie afdelingen(en).

Experiment	Afdeling			
	13 (lucht)	14	15	16 (lucht)
1	1.0	1.1 ¹	0.9 ¹	0.6
2	1.2	1.0 ¹	1.0 ²	1.0 ¹
3	1.1	-	1.0 ¹	1.1
4	1.8	1.1 ¹	0.9 ¹	1.5

¹ Referentie; ² Mechanische mixen

3.2 Discussie

Overkoepelend doel van de uitgevoerde experimenten was het effect van regelmatig mixen met lucht op de ammoniakemissie uit melkveestallen vast te stellen. De aanleiding daarvoor waren de resultaten van eerder verkennend onderzoek, ook uitgevoerd op Dairy Campus, waarin een forse reductie in de ammoniakemissie bij het regelmatig, dagelijks, mixen met lucht is gevonden zonder dat daarvoor een goede verklaring of achterliggend werkingsprincipe kon worden gegeven (van Dooren et al., 2015). Uit in de tussentijd gepubliceerde resultaten van onderzoek naar het effect van mixen met lucht bij varkensmest door Calvet et al. (2017) bleek zelfs een stijging van de ammoniakemissie.

Bij de nu uitgevoerde experimenten is uitgegaan van de hypothese dat door het regelmatig mixen de vorming van een drijfslag op de mest in de kelder voorkomen wordt waardoor deze niet kan fungeren als een laag waarop urineplassen die door de roosters vallen kunnen blijven liggen. Vanuit die hypothese zou door het regelmatig mixen met een andere methode hetzelfde effect bereikt kunnen worden. In één van de experimenten (experiment 2) is daarom het mixen met lucht vergeleken met het mechanische mixen. De overige experimenten hadden elk een eigen opzet om een deelaspect te onderzoeken. Het eerste experiment had als doel de resultaten uit eerder onderzoek te herhalen bij twee in plaats van één afdeling. Verder is het effect van een hogere mixfrequentie bij gelijkblijvende totale mixduur onderzocht (experiment 3) en is in experiment vier de totale mixduur gevarieerd (aansluitend bij de mixduur uit experiment 1). Hoewel het experimenten met twee verschillende installaties zijn uitgevoerd (experiment 1 met het Aeromixsysteem en experimenten 2-4 met het Smart Slurry Aeration System) was niet het doel de factor 'type installatie' te onderzoeken maar stond het principe (regelmatig mixen met lucht) centraal.

In zeven van de acht keren dat in de vier experimenten een afdeling met regelmatig mixen vergeleken is met een referentieafdeling die niet gemixt werd was geen reductie in de ammoniakemissie waar te nemen. De laatste twee keren (experiment 4) was de emissie zelfs duidelijk hoger dan de referentieafdeling. De enige keer dat er wel een reductie in de ammoniakemissie was te zien betrof afdeling 16 in het eerste experiment hoewel het verschil ten opzichte van de nulperiode veel lager was.

Bij de resultaten moet opgemerkt worden dat zich in zowel experiment 1 als experiment 2 een storing in de mixinstallatie heeft voorgedaan. Beide keren betrof dat afdeling 13 maar is onduidelijk of en zo ja hoe die storing heeft doorgewerkt in de resultaten.

Uit de resultaten blijkt dat ook *mixfrequentie* (vier keer per dag versus één keer per dag) of *mixduur* (1 uur, 2 uur, 4 uur of 8 uur per dag) geen effect heeft op de ammoniakemissie. Tenslotte is ook geen effect van *mixmethode* (met lucht versus mechanisch) op de ammoniakemissie gevonden. Daarmee is de hypothese dat het voorkomen van een drijfslag door frequent mixen de emissie van ammoniak reduceert niet bevestigd en is het ook niet aannemelijk dat de hoeveelheid lucht die in de mest gebracht wordt tijdens het mixen de ammoniakemissie beïnvloedt.

3.2.1 Slotopmerkingen en aanbevelingen

De in deze experimenten gevonden resultaten wijken af van de eerder gevonden en gerapporteerde resultaten door van Dooren et al. (2015). Alleen in afdeling 16 in experiment 1 is een reductie van de ammoniakemissie van 40% ten opzichte van de referentieafdeling gemeten. De reductie in afdeling 16 ten opzichte van de nulperiode was echter maar maximaal 20% wat duidt op een gedeeltelijk afdelingseffect. Ook in experiment 4 (waarin gelijke instellingen als in experiment 1 werden gehanteerd) werd geen emissiereductie gevonden. Daarnaast sluiten de hier gerapporteerde resultaten aan bij de bevindingen van Calvet et al. (2017) die geen reductie maar een stijging van de ammoniakemissie gerapporteerd heeft.

Het geheel van resultaten overziend wordt de hypothese dat door het dagelijks mixen de ammoniakemissie zal verminderen niet bevestigd en is eerder gemeten reductie niet herhaalbaar gebleken en betrof het daarom waarschijnlijk een toevalstreffer in combinatie met een afdelingseffect. De door Calvet et al. (2017) ook gerapporteerde reductie van de methaanemissie is aanleiding geweest om aan te bevelen het systeem van luchtmixen nader te onderzoeken op mogelijke effecten op de emissie van de broeikasgassen methaan en lachgas.

4 Conclusies

- Gedurende een periode van bijna drie jaar (2016-2018) zijn vier experimenten uitgevoerd met als doel het effect van regelmatig mixen van drijfmest op de ammoniakemissie uit melkveestallen te onderzoeken.
- Uit de resultaten van deze vier experimenten waarin gevarieerd is in *mixduur* en *mixfrequentie* is geen structurele reductie van de ammoniakemissie gebleken.
- Daarbij maakt het niet uit welke *mixmethode* (mixen met lucht versus mechanisch mixen) gekozen wordt.
- Deze resultaten komen overeen met in de tussentijd internationaal gepubliceerde uitkomsten van onderzoek in het Verenigd Koninkrijk naar het mixen met lucht (Calvet et al., 2017).
- De hypothese dat door het voorkomen van een drijfslag door dagelijks mixen de ammoniakemissie zal verminderen is daarmee niet bevestigd en eerdere gemeten reductie is niet herhaalbaar gebleken.

Literatuur

- Blanes-Vidal, V., M. Guàrdia, X.R. Dai, E.S. Nadimi (2012) Emissions of NH₃, CO₂ and H₂S during swine wastewater management: Characterization of transient emissions after air-liquid interface disturbances, *Atmospheric Environment* 54 (2012) 408-418
- Bode, M.J.C. de (1991). Odour and ammonia emissions from manure storage. In *Ammonia and Odour Emissions from Livestock Production* (Eds V. C. Nielsen, J. H. Voorburg & P. L'Hermite), pp. 59-66. London & New York: Elsevier Applied Science Publishers.
- Calvet, S., J. Hunt, T.H. Misselbrook (2017) Low frequency aeration of pig slurry affects slurry characteristics and emissions of greenhouse gases and ammonia. *Biosystems engineering* 159, 121-132, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.04.011>
- Dooren, H.J.C. van, Bokma, S., Zonderland J.L. 2014. Effect van het Aeromix systeem op ammoniakemissie in een melkveestal; Verkennend onderzoek op Dairy Campus, Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 850, 28 blz.
- Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2018). Emissies naar lucht uit de landbouw in 2016. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen, WOT Natuur& Milieu, WOT-technical report 119. 124 pp.; 48 tab.; 6 figs.; 65 ref.; 7 bijl.
- Middelkoop, J. (2019) Ongevallen door mestgassen www.hazmatcat.nl/Rotting/Mestgassen/Ongevallen (gecontroleerd: mei 2019)
- RIVM (2019). National Emissions Ceilings (NEC), www.emissieregistratie.nl (gecontroleerd: mei 2019)
- Scully H., J.P. Frost, S. Wilkinson, J.J. Lenehan (2007) Research into H₂S emissions from stored slurry which has undergone low rate aeration. Agri-Food and Bioscience Institute (AFBI) and Teagasc grange beef research centre.
- Sommer, S.G., B.T. Chistensen, N.E. Nielsen, J.K. Schjørring (1993) Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: Effect of surface cover. *Journal of Agricultural Science* 121 (1) 63-71.
- Stevens, R.J., I.S. Cornforth (1974) The effect of aeration on the gasses produced by slurry during storage, *Journal of the Science of Food and Agriculture* (25) 1249-1261.
- Stigas (2019) Mestgassen. <https://agroarbo.nl/catalogus/mestgassen/> (gecontroleerd: mei 2019).

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



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

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

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

