



---

# Effect van frequent mixen van drijfmest op de ammoniakemissie bij melkvee

Onderzoek op Dairy Campus

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

Rapport 1170



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



---

# Effect van frequent mixen van drijfmest op de ammoniakemissie bij melkvee

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 ZuivelNL

Wageningen Livestock Research  
Wageningen, februari 2022

---

Rapport 1170

---

Dooren, H.J.C. van, S. Bokma, N.W.M. Ogink. 2022. *Effect van frequent mixen van drijfmest op de ammoniakemissie bij melkvee; Onderzoek op Dairy Campus*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1170.

Samenvatting NL:

In vier experimenten uitgevoerd op Dairy Campus is, in een periode van drie jaar (2016-2018), het effect van frequent mixen van drijfmest in een ligboxenstal op de ammoniakemissie onderzocht. Het mixen van mest is uitgevoerd met twee luchtmixsystemen en een mechanische dompelmixer. Frequent mixen leidt niet tot een significant lagere ammoniakemissie ten opzichte van een ongemixte referentie. De aanname dat het voorkomen van korstvorming op de drijfmest in mestkelders onder melkveestallen leidt tot een reductie van ammoniakemissie kon in deze studie daarmee 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 in a loose housing system on the emission of ammonia. Daily mixing of slurry either with air or with an electrical mixer did not result in statistical significant reduction of ammonia emission compared to a non-mixed reference. The assumption that preventing a crust to be formed on top of the slurry by frequent mixing would reduce ammonia emission was therefore not supported by the results of this study.

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

© 2022 Wageningen Livestock Research

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

<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Belang voor de melkveehouderij	9
1.2 Bestaande kennis over mogelijk werkingsprincipe	9
1.3 Doelstelling	11
<b>2 Materiaal en methoden</b>	<b>12</b>
2.1 Experimentele opzet	12
2.2 Beschrijving meetunit Dairy Campus	13
2.3 Diergegevens	15
2.4 Meetapparatuur en dataopslag	15
2.4.1 Ammoniakconcentratie	15
2.4.2 Ventilatie	16
2.4.3 Broeikasgasconcentraties	16
2.5 Beschrijving installaties voor mestmixen	17
2.6 Waarnemingen en berekeningen	18
2.6.1 Ammoniak- en broeikasgasemissie	18
2.6.2 Mestsamenstelling	19
2.7 Statistische analyse	19
<b>3 Resultaten en discussie</b>	<b>20</b>
3.1 Resultaten ammoniakemissie per experiment	20
3.2 Statistische analyse ammoniakemissie	22
3.3 Broeikasgasemissie	23
3.4 Mestsamenstelling	24
3.5 Discussie	25
<b>4 Conclusies</b>	<b>27</b>
<b>Literatuur</b>	<b>28</b>
<b>Bijlage 1 Mestsamenstelling</b>	<b>29</b>

---

---

# Woord vooraf

Dit rapport beschrijft de resultaten van meerjarig onderzoek naar het effect van frequent mixen van rundveedrijfmest op de ammoniakemissie bij toepassing in een melkveestal. Aanleiding voor dit onderzoek waren de resultaten van verkennende emissieonderzoek in 2014 aan het Aeromixsysteem. De resultaten van dat verkennende onderzoek, ook 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.

Ten opzichte van de eerste versie van dit rapport dat in juli 2019 is verschenen zijn aanvullende statistische analyses en extra literatuur toegevoegd die beiden bijdragen aan de duiding van de gevonden resultaten. Verder is van de gelegenheid gebruik gemaakt om de uitkomsten van mestanalyses en broeikasgasemissies op te nemen.

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 (februari 2022)





# Samenvatting

Het frequent (dagelijks) mixen met drijfmest in melkveestallen wordt in de Nederlandse melkveehouderij niet breed toegepast. Wanneer dat wel gebeurt worden daarvoor elektrische mixers ingezet. Het mixen van drijfmest 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 op de ammoniakemissie lieten een forse reductie zien zonder dat daar een sluitende verklaring voor werd gevonden (van Dooren et al., 2015). Internationaal onderzoek laat juist vaak een stijging van de ammoniakemissie zien (Amon et al., 2006; Calvet et al., 2017; Mostafa et al., 2019).

Op basis van bestaande literatuur is echter geen éénduidige uitspraak te doen over het gevonden effect van mixen van mest in het algemeen of het mixen met luchtballen in het bijzonder op de ammoniakemissie omdat de situatie in zoverre verschilt met de praktijk dat niet continue verse mest en urine wordt toegevoegd zoals in een mestkelder onder een roostervloer gebeurt.

Een mogelijke verklaring voor een eerder gemeten reductie van ammoniakemissie bij toepassing van een luchtmixstelsel 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.

De hypothese dat regelmatig mixen drijfslagen voorkómt waardoor er geen urineplassen (bron voor ammoniakemissie) op het mestoppervlak blijven staan is daarom het uitgangspunt voor de opzet van de in dit rapport beschreven experimenten.

Doel van het onderzoek is het bepalen van het effect van regelmatig mixen van drijfmest op de ammoniakemissie uit melkveestallen gebruik makend van twee mixtechnieken (mechanisch en met lucht).

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 Aeromixstelsel van Vogelsang BV en het Smart Slurry Aeration System (SSAS) van DSD stalrichting BV. Op verschillende manieren is statistische toetsing op de resultaten van de ammoniakemissie uitgevoerd.

**Tabel A** Opzet van verschillende experimenten.

Experiment	Periode		Behandeling per afdeling (# keer per dag - tijd per dag)			
	Start	Einde	13	14	15	16
1	15-1-2016	30-4-2016	Lucht <sup>1</sup> (1x-7h)	Referentie	Referentie	Lucht <sup>1</sup> (1x-7h)
2	11-5-2017	24-10-2017	Lucht <sup>2</sup> (1x-2h)	Referentie	Mechanisch (1x-0,5h)	Referentie
3	15-12-2017	31-1-2018	Lucht <sup>2</sup> (4x-1h)	nb <sup>3</sup>	Referentie	Lucht <sup>2</sup> (1x-1h)
4	1-8-2018	22-10-2018	Lucht <sup>2</sup> (1x-8h)	Referentie	Referentie	Lucht <sup>2</sup> (1x-4h)

<sup>1</sup> AM; <sup>2</sup> SSAS; <sup>3</sup> nb: niet beschikbaar. Deze afdeling werd in deze periode voor ander onderzoek ingezet.

Naast emissie van ammoniak werd ook verkennend de emissie van methaan- en lachgas gemeten en werden mestmonsters genomen. Mestanalyses toonden aan dat de verschillende systemen als mixmethode naar verwachting functioneerden.

In Tabel B zijn de resultaten van de ammoniakemissie in de experimenten samengevat.

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

Experiment	Afdeling			
	13	14	15	16
1	8,6 (1,0)	<b>9,2</b>	<b>8,0</b>	5,1 (0,6)
2	13,4 (1,2)	<b>11,4</b>	11,1 (1,0)	<b>11,1</b>
3	14,3 (1,4)	-	<b>10,3</b>	11,5 (1,1)
4	12,5 (1,4)	<b>9,2</b>	<b>8,6</b>	14,3 (1,6)

<sup>1</sup> Referentie; <sup>2</sup> Mechanische mixen

In zeven van de acht keren dat in de vier experimenten een afdeling met regelmatig mixen met lucht vergeleken is met een referentieafdeling die niet gemixt werd was geen reductie in de ammoniakemissie waar te nemen. Ook de keer dat mechanisch frequent werd gemixt werd geen reductie van de ammoniakemissie waargenomen. De laatste twee keren (experiment 4) was de emissie zelfs beduidend 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.

Uit verschillende statistische toetsen bleek dat de gevonden verschillen niet significant zijn. Er is met andere woorden geen aanleiding om aan te nemen dat het frequent mixen leidt tot een verandering in de ammoniakemissie. De verschillende mixmethoden met lucht onderscheiden zich weliswaar van elkaar maar elk niet van de niet gemixte afdelingen en ook frequent mechanisch mixen resulteert niet in een emissie die afwijkend is van een niet frequent gemixte afdeling. Uit de resultaten en analyse blijkt ook dat ook er geen relatie tussen het aantal uren mixen per dag en de ammoniakemissie is. Door het relatief kleine aantal waarnemingen per mixmethode en de grote spreiding in de uitkomsten was het onderscheidend vermogen klein. Samenvattend leidde het onderzoek tot de volgende conclusies:

- Er is geen significant effect van frequent mixen op de ammoniakemissie gevonden.
- Daarbij maakt het niet uit welke mixmethode (mixen met lucht versus mechanisch mixen) gekozen wordt.
- Uit de resultaten komt geen relatie tussen mixduur per dag en de ammoniakemissie naar voren.
- Door de relatief kleine aantal waarnemingen per mixmethode en de grote spreiding in de uitkomsten was het onderscheidend vermogen klein.
- Als manier om mest te mixen werken alle mixmethoden naar verwachting.
- 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.

---

# 1 Inleiding

Ammoniak veroorzaakt na depositie schade aan kwetsbare (stikstofgevoelige) 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 NH<sub>3</sub> op een totaal van 132.4 kton NH<sub>3</sub>) (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 financiële 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 voor drijfmest (bijna 90% van het mestproductie wordt als dunne mest in de stal geproduceerd (CBS, 2020)) 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 door het voorkomen van korstvorming 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 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 verstoring van het mestoppervlak geconstateerd (Blanes-Vidal et al., 1999). Daarin wordt verlaging van de pH van de toplaag van de mest als mogelijke verklaring genoemd voor de gemeten reductie van de ammoniakemissie.

Het inbrengen van lucht ten behoeve van het mixen van mest 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 ( $H_2S$ ) voorkómen 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 vermeden worden (Stevens en Cornforth, 1974).

Over de effecten van beluchting van mest als mestbehandelingstechniek is veelvuldig gerapporteerd. Burton (1992) geeft een overzicht van doelen, mogelijke processen en technieken van beluchting van varkensmest. Recenter is door Amon et al. (2006) deze techniek ook toegepast op rundveemest en ook Kresse (2009), Calvet et al. (2017) en Mostafa et al. (2019) passen beluchting toe, zij het op varkensmest. In deze gevallen wordt een beluchting toegepast variërend van 1-3  $m^3$  lucht per  $m^3$  drijfmest per dag in Amon et al (2006), 14-30  $m^3$  per  $m^3$  mest per dag door Kresse (2009), 1.4  $m^3$  per  $m^3$  mest per dag bij Calvet et al. (2017) en 0,16-12,8  $m^3$  per  $m^3$  drijfmest per uur in Mostafa et al. (2019). In alle gevallen gaat het om een kleinschalige proefopstelling: 19 liter per reactor in Mostafa et al (2019), 1  $m^3$  per mini-silo bij Calvet et al. (2017) en 10  $m^3$  in Amon et al (2006). Alleen Kresse doet onderzoek onder praktijkomstandigheden in twee varkensafdelingen. In alle hierboven genoemd onderzoek is het regelmatig mixen met lucht nagebootst en is de emissie van ammoniak ( $NH_3$ ), methaan ( $CH_4$ ), lachgas ( $N_2O$ ) en soms kooldioxide ( $CO_2$ ) gemeten. De resultaten zijn wisselend. Amon et al. (2006) rapporteren een verviervoudiging van de ammoniakemissie in vergelijking met de onbehandelde referentie, een verlaging van de methaanemissie met 57% en een verhoging van de lachgasemissie met 44%. Kresse (2009) rapporteert geen effect op de ammoniakemissie bij continue beluchting met 14 of 30  $m^3$  lucht per  $m^3$  varkensmest per dag en een verlaging van de ammoniakemissie met 10% bij beluchting met een interval van 1 uur van totaal 14.4  $m^3$  lucht per  $m^3$  per dag. De lachgas- en methaanemissie nemen daarbij met respectievelijk 14% en 56% af. In Calvet et al. (2017) had de behandeling met lucht geen effect op de emissie van  $CO_2$  en  $N_2O$  maar was er een verhoging van de emissie van  $NH_3$  met 20% en een verlaging van de emissie van  $CH_4$  met 40% te zien. Calvet et al. (2017) verklaren de toegenomen ammoniakemissie uit een verandering van de pH in de toplaag van de mest. Ook de resultaten van Mostafa et al. (2019) laten wat betreft de ammoniakemissie een wisselend beeld zien. Aan de ene kant daalt de ammoniakemissie met 72% in vergelijking met een reactor die niet met lucht maar met stikstofgas belucht wordt (bij 2,6  $m^3$  per  $m^3$

---

per uur lucht of gas). Aan de andere kant neemt de ammoniakemissie sterk toe bij toenemende hoeveelheid lucht: wanneer 12,8 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> mest per uur wordt toegepast is de ammoniakemissie 3,7 keer hoger dan eerder genoemde referentie. Ook de methaanemissie neemt toe bij toenemende hoeveelheid lucht maar blijft minimaal 49% lager dan genoemde referentie. De lachgasemissie is in alle gevallen (tot maximaal 5,5 keer) hoger.

Ondanks de veelheid aan experimenten is geen onderzoek gevonden waarbij het effect van inbrengen van lucht in een stal voor melkvee onder praktijkomstandigheden is gemeten. De invloed van continue aanvoer van verse mest en urine is zodoende niet bekend. Op basis van bestaande kennis is daarom 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 in een praktijksituatie. Een mogelijke verklaring voor de eerder gemeten reductie van ammoniakemissie op Dairy Campus 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 daarom 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 frequent mixen van drijfmest (met lucht of door mechanisch te mixen) om korstvorming te voorkomen, op de ammoniak- en broeikasgasemissie uit melkveestallen.

## 2 Materiaal en methoden

In onderstaande paragrafen worden de experimentele opzet, de onderzoekslocatie, de mixmethoden en de waarnemingen en berekeningen in detail beschreven.

### 2.1 Experimentele opzet

Bij de start van het onderzoek was een experimentele opzet voorzien waarbij twee type behandelingen van mest onder een roostervloer (mixen met lucht en mechanisch mixen) verdeeld zouden worden over vier afdelingen op Dairy Campus die geschikt zijn voor emissieonderzoek. Van deze vier afdelingen waren twee voorzien van een mixsysteem met lucht en twee voorzien van een mechanische mixsysteem. Door één van deze afdelingen niet te mixen en als referentieafdeling te beschouwen ontstaat de mogelijkheid voor een zogenaamde case-control aanpak waarbij emissieniveaus in de behandelde afdelingen vergeleken kunnen worden met het emissieniveau in een referentieafdeling onder verder vergelijkbare omstandigheden. Wisseling van de behandelingen over de afdelingen in verschillende rondes geeft daarbij de mogelijkheid om te corrigeren voor mogelijke afdelingseffecten. Deze aanpak is verstoord door een onvoorziene wisseling in type mixsysteem voor het mixen met lucht tussen experiment 1 en 2, een storing tijdens de uitvoering en tegenvallende tussenresultaten. Daardoor is de insteek van het onderzoek verschoven van een validerende opzet naar meer explorerende aanpak.

Tussen begin januari 2016 en eind oktober 2018 zijn uiteindelijk vier experimenten uitgevoerd die steeds 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 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		Behandeling per afdeling (# keer per dag - tijd per dag)			
	Start	Einde	13	14	15	16
1	15-1-2016	30-4-2016	Lucht <sup>1</sup> (1x-7h)	Referentie	Referentie	Lucht <sup>1</sup> (1x-7h)
2	11-5-2017	24-10-2017	Lucht <sup>2</sup> (1x-2h)	Referentie	Mechanisch (1x-0,5h)	Referentie
3	15-12-2017	31-1-2018	Lucht <sup>2</sup> (4x-1h)	nb <sup>3</sup>	Referentie	Lucht <sup>2</sup> (1x-1h)
4	1-8-2018	22-10-2018	Lucht <sup>2</sup> (1x-8h)	Referentie	Referentie	Lucht <sup>2</sup> (1x-4h)

<sup>1</sup> Aeromix (AM); <sup>2</sup> Smart Slurry Aeration System (SSAS); <sup>3</sup> nb: niet beschikbaar. Deze afdeling werd in deze periode voor ander onderzoek ingezet.

#### Experiment 1

Het eerste experiment had als doel om het eerdere onderzoek beschreven in van Dooren et al. (2015) te herhalen. In tegenstelling tot die metingen (toen één afdeling was uitgerust met het Aermomix systeem (AM)) 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 had 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 met het Smart Slurry Aeration System (SSAS) vergeleken met een referentieafdeling en een afdeling waarin de mest dagelijks mechanisch gemixt wordt.

---

### **Experiment 3**

Het derde experiment had 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) veranderde.

### **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.

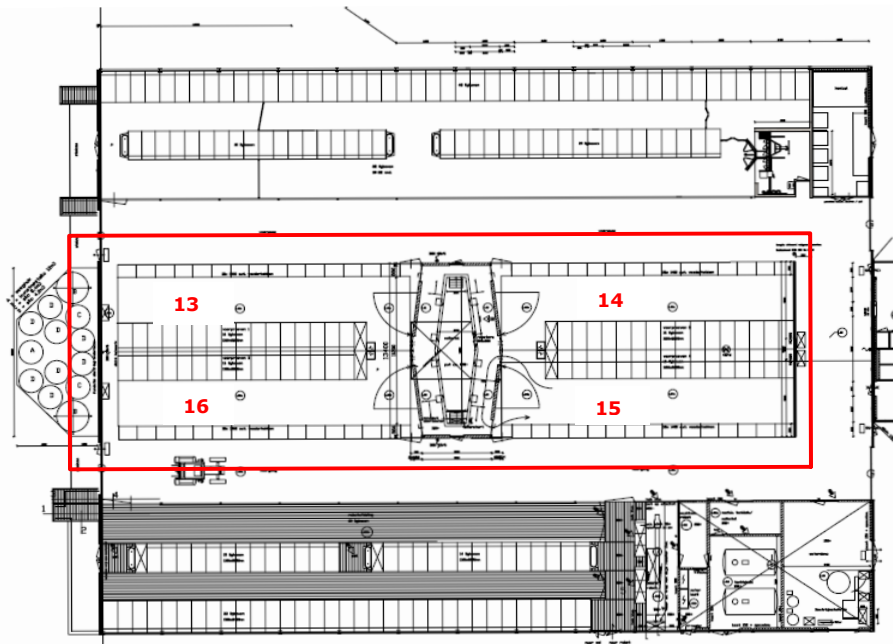
## **2.2 Beschrijving meetunit Dairy Campus**

Dairy Campus is een innovatiecentrum 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 m<sup>2</sup>.

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 onbepaald 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 kelderoppervlak is ca. 125 m<sup>2</sup> waarvan 50 m<sup>2</sup> onder de ligboxen. Ook boven de roosters zijn de afdelingen van elkaar gescheiden door een constructie van enigszins lichtdoorlatend folie (zie figuur 2).



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

Elke afdeling 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 (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 m<sup>3</sup> per uur bij 0 Pa tegendruk en 19.050 m<sup>3</sup> per uur bij 30 Pa tegendruk. In elke afdeling zijn beide ventilatoren voorzien van een regel- en smoorunit (Fancom ATM80) en is één van de ventilatoren voorzien van een meetwaaier. Van één 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 m<sup>3</sup>/uur per dier); een niveau dat representatief is voor natuurlijk geventileerde melkveestallen in Nederland.

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.*

## 2.3 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.

## 2.4 Meetapparatuur en dataopslag

### 2.4.1 Ammoniakconcentratie

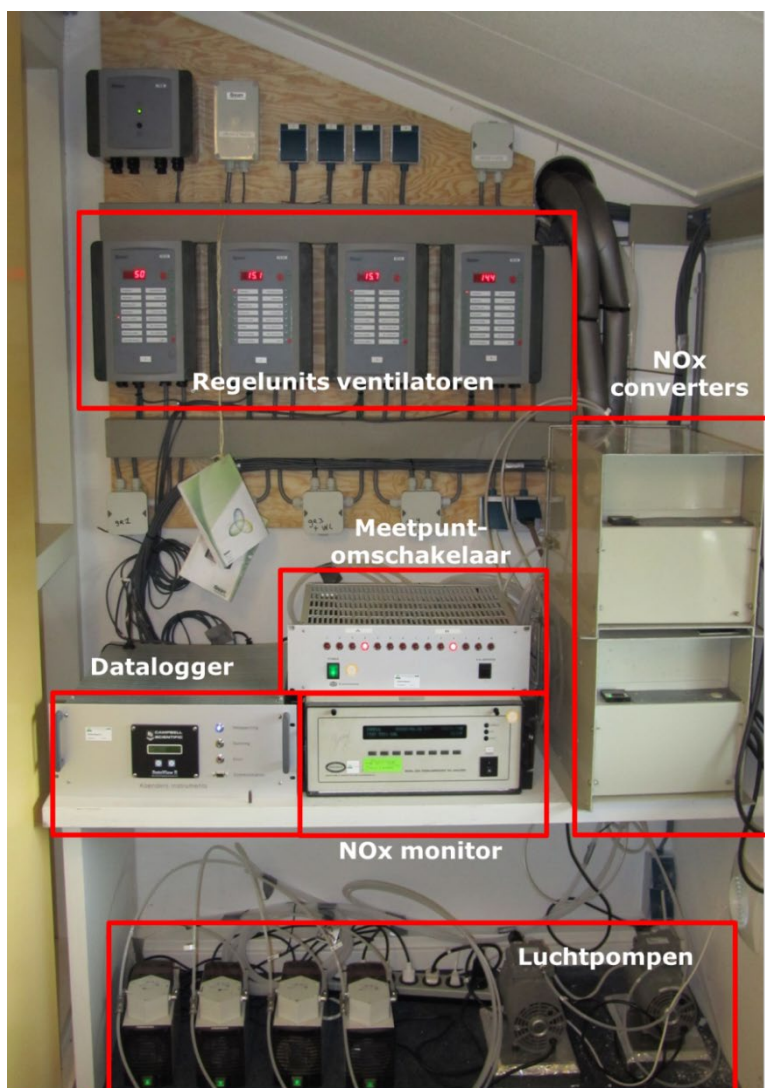
In elke ventilatiekamer is een monsterleiding aangebracht voor de bemonstering van de uitgaande lucht. Deze leidingen (acht stuks in totaal) lopen naar een 12-kanaals meetpuntomschakelaar (MPO) (zie figuur 3). Aan de onderkant van elk gordijn zijn 4 monsterpunten aangebracht voor de bemonstering van 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 NO<sub>x</sub>-analyzer (Teledyne T200) die de concentratie NO<sub>x</sub> in de aangeboden luchtstroom meet. Om de aanwezige ammoniak om te zetten naar NO<sub>x</sub> wordt de te meten lucht vooraf door een convertor geleid die onder hoge temperaturen het aanwezige ammoniak (NH<sub>3</sub>) omzet naar NO<sub>x</sub>. Gemiddelde concentraties per meetpunt worden elke minuut opgeslagen door een datalogger (Campbell Scientific CR1000) die tevens de MPO aanstuurt.

## 2.4.2 Ventilatie

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. Het ventilatiedebiet wordt vastgesteld door het loggen van de pulsen van de meetventilator (Fancom ATM80) die in elke afdeling onder één ventilator is gemonteerd.

## 2.4.3 Broeikasgasconcentraties

Tijdens twee experimenten is naast de ammoniakconcentratie ook de concentratie van de broeikasgassen methaan ( $\text{CH}_4$ ) en lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) bepaald. In experiment 2 is de zogenaamde longmethode gebruikt waarbij gedurende 24 uur een luchtmonster van de ingaande en uitgaande lucht verzameld wordt dat in het laboratorium met een gaschromatograaf wordt geanalyseerd. In experiment 3 is dat op vergelijkbare manier als de ammoniakconcentratie gedaan met een FTIR (Gasmeter DX4000). De bepaling van de broeikasgasconcentraties hadden in beide gevallen een indicatief karakter.



**Figuur 3** Overzicht van meetopstelling voor ammoniakemissiemetingen.

## 2.5 Beschrijving installaties voor mestmixin

Tijdens de experimenten zijn twee typen luchtmixsystemen gebruikt. De werking van beide systemen komt in grote lijnen overeen. Beide systemen bestaan uit een luchtpomp (compressor), een luchtverdeelunit en een leidingenstelsel op de keldervloer die elk meerdere 'outlets' hebben. De aansturing van de pomp en de luchtverdeelunits gebeurt door een PLC (Programmable Logic Controller) waarmee tevens een tijdschema voor het mixen ingesteld kan worden. De luchtverdeelunit zorgt ervoor dat steeds een aantal 'outlets' op de keldervloer verbonden worden met de luchtpomp (compressor). Via deze outlets ontstaan grote luchtbellens die de mestkolom daarboven verticaal in beweging zetten zodat de mest gemixt wordt en een homogene mesthoeveelheid 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 Aeromix systeem (AM). Het systeem is afkomstig uit het Verenigd Koninkrijk en ontwikkeld door de firma Ameram Ltd., in Nederland indertijd vertegenwoordigd Bos Benelux BV. Na het eerste experiment is het systeem vervangen en in de volgende experimenten is gebruik gemaakt van het Smart Slurry Aeration System (SSAS). Dit systeem is afkomstig uit Ierland en ontwikkelt door de firma DairyPower, vertegenwoordigd in Nederland door DSD stalrichting BV. Bij één van de experimenten is ook gebruik gemaakt van mechanische dompelmixers geleverd door DSD-stalrichting. 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.)



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

## 2.6 Waarnemingen en berekeningen

### 2.6.1 Ammoniak- en broeikasgasemissie

De volgende waarnemingen en berekeningen zijn gedurende de meetperiodes uitgevoerd om de ammoniak- of broeikasgasemissie te bepalen. De emissie per afdeling, uitgedrukt in kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar, wordt per uur berekend door het verschil in concentratie tussen uitgaande en ingaande lucht (omgerekend van 'parts per milion' (ppm) naar mg per m<sup>3</sup>) te vermenigvuldigen met het ventilatiedebiet in m<sup>3</sup> per uur en vervolgens om te rekenen naar een emissie in kg per dierplaats per jaar. In formule is dat:

$$E = \frac{(C_{uit} - C_{in}) * M}{V_m} * V * \left( \frac{24 * 365}{10^6 * 15} \right) \quad (2)$$

Met:

E : ammoniak- of broeikasgasemissie uitgedrukt in kg per dierplaats per jaar

C<sub>uit</sub>: de uurgemiddelde ammoniakconcentratie in ppm van de uitgaande lucht gemiddeld over de twee ventilatoren

C<sub>in</sub>: de uurgemiddelde ammoniakconcentratie in ppm van de ingaande lucht

V: het uurgemiddelde ventilatiedebiet in m<sup>3</sup>/uur

M: Molmassa van ammoniak, methaan of lachgas (g/mol)

V<sub>m</sub>: Molair volume (~24 l/mol bij 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 gedurende de behandelingsperioden. De gemiddelde emissie tijdens de nulperiodes is op dezelfde manier berekend.

Bij de berekening van de emissie op basis van de 24-uurs luchtmonsters wordt direct een dagemissie uitgerekend zonder rekening te houden met de melk- en voertijden.

---

## 2.6.2 Mestsamenstelling

Gedurende alle experimenten zijn op minstens één moment mestmonsters genomen om de mestsamenstelling vast te stellen. Monsters zijn genomen van de hele mestkolom (bulk) en in experiment 1 en 3 ook van de toplaag van de mest.

## 2.7 Statistische analyse

Om te toetsen of ammoniakemissies significant van elkaar verschillen zijn de volgende analyses uitgevoerd.

Allereerst is getoetst of er significante verschillen bestaan tussen de afdelingen tijdens de nulperiodes van de verschillende experimenten. Hiervoor is een ANOVA-analyse gebruikt waarbij de afdelingen als behandeling en de experimenten als blok zijn opgenomen. Hiermee wordt de aanname getoetst dat de afdelingen zonder behandeling vergelijkbare resultaten opleveren (nulhypothese) en er dus geen sprake is van een vertekening van de resultaten tijdens behandelingsperiode door afdelingseffecten.

De meest eenvoudige benadering om daarna een behandelingseffect vast te stellen is met een gepaarde T-toets. Daarmee is het effect van de behandeling (mixen) zowel tussen afdelingen binnen dezelfde periode als tussen perioden binnen dezelfde afdeling getoetst. Hiermee wordt de aanname getoetst dat er geen verschil is tussen een gemixte en niet gemixte afdeling (nulhypothese).

In deze aanpak kan echter geen rekening gehouden worden met mogelijke niveauverschillen in ammoniakemissie tussen experimenten. Daarom is ook een ANOVA analyse uitgevoerd op de resultaten tijdens de behandelingsperiode.

Tenslotte is een REML analyse uitgevoerd op de hele beschikbare dataset. Daarmee wordt maximaal gebruik gemaakt van de aanwezige informatie in de verzamelde gegevens en wordt de behandeling 'mixen' als verklarend effect en de factoren 'experiment' en 'afdeling' (inclusief interactie) als 'random effect' opgenomen in de analyse.

Om een mogelijk effect van mixduur vast te stellen is vervolgens een lineaire regressieanalyse uitgevoerd tussen de mixduur in uren per dag en het bijbehorende verschil tussen de ammoniakemissie van de behandelde afdeling en de referentieafdeling in dezelfde periode. Deze relatie is te omschrijven als:

$$y = ax + b$$

Waarbij:

y = het verschil in emissie tussen de gemixte en de referentieafdeling in kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per dag

x = de mixduur in uur per dag.

De coëfficiënten *a* en *b* worden geschat en getoetst of deze significant afwijken van 0.

Voor alle analyses is gebruik gemaakt van het Genstat 19th edition (VSN, 2018).

# 3 Resultaten en discussie

## 3.1 Resultaten ammoniakemissie per experiment

### 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 luchtmixstelsel tussen 25 januari 2016 en 10 februari 2016 niet goed gefunctioneerd. Daarnaast bleek in deze periode tussen de afdelingen een verschil in mestniveau te zijn ontstaan. Daarom is het mestniveau in deze periode weer op gelijke hoogte gebracht. De metingen zijn vanaf 10 februari weer voortgezet volgens de eerdere mixinstellingen. Op 15 april 2016 is weer een storing in het mixstelsel ontdekt waardoor er twijfel is ontstaan over de effectiviteit van het mixen van afdeling 13. Die storing is op 17 april 2016 hersteld door de vervanging van de hoofdverdeelklep die de verdeling van de mixlucht over de twee afdelingen regelt. Onduidelijk is hoe lang deze storing al aanwezig was. Om de geconstateerde schuimvorming in de behandelde afdelingen te bestrijden is de mixinstallatie na herstel een aantal dagen continue aangezet. Al met al hebben deze verstoringen ervoor gezorgd dat de uitvoering van de behandelingen anders is verlopen dan vooraf gepland. 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 (AM/1x-7h)	14 (REF)	15 (REF)	16 (AM/1x-7h)
0	1/1/2016 – 14/1/2016	Nulperiode	9,3 (0,9)	14,4 (1,4)	6,9 (0,6)	10,3 (1,0)
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) <sup>1</sup>	11,6 (1,1)	9,5 (0,9)	6,6 (0,6) <sup>1</sup>
3	10/2/2016 – 15/4/2016	Automatisch mixen	8,6 (1,0) <sup>1</sup>	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)

<sup>1</sup> Beperkt gemixt door storing

Uit de behaalde resultaten blijkt dat in afdeling 16 een gemiddelde reductie van de ammoniakemissie gemeten is van 40% ten opzichte van de referentieafdelingen in dezelfde periode, en met de nulperiode van deze zelfde afdeling. Dit is lager dan de reductie die gemeten is in eerder onderzoek naar mengen van mest met het Aeromixstelsel (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 Aeromixstelsel is uitgerust (afdeling 13) is tijdens de behandelperiodes geen emissiereductie gemeten ten opzichte van de referentieafdelingen in dezelfde periode. Mogelijk heeft dit te maken met de geconstateerde storing.

### 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 (SSAS/1x-2h)	14 (REF)	15 (MECH/1x-0.5h)	16 (REF)
0	11/5/2017 – 22/6/2017	Nulperiode	12,1 (1,2)	10,2 (1,0)	10,7 (1,1)	10,2 (1,0)
1	23/6/2017 – 6/8/2017	Automatisch mixen	14,1 (1,1) <sup>1</sup>	12,8 (1,0)	13,3 (1,1)	12,0 (1,0)
2	7/8/2017 – 24/10/2017	Automatisch mixen	12,9 (1,2)	10,6 (1,0)	9,8 (0,9)	10,5 (1,0)
Totaal behandelingen			13,4 (1,2)	11,4 (1,0)	11,1 (1,0)	11,1 (1,0)

<sup>1</sup> 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 luchtmixstelsel 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 (SSAS/4x-1h)	14 (REF)	15 (REF)	16 (SSAS/1x-1h)
0	23/11/2017 – 13/12/2017	Nulperiode	4,0 (0,8)	nb <sup>1</sup>	5,2	4,0 (0,8)
1	14/12/2017 – 31/1/2018	Automatisch mixen	14,3 (1,4)	nb <sup>1</sup>	10,3	11,5 (1,1)

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

Het experiment besloeg een relatief korte periode; 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 25% hoger dan in de referentieafdeling. Frequenter mixen in afdeling 13 (4x per dag) lijkt tot een hogere emissie ten te leiden dan één keer per dag mixen.

### 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 gedurende 8 uur per dag gemixt is en de mest in afdeling 16 gedurende 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 (SSAS/1x-8h)	14 (REF)	15 (REF)	16 (SSAS/1x-4h)
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 – 30/8/2018	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)
	Totaal behandelingen		12,5 (1,4)	9,2 (1,0)	8,6 (1,0)	14,3 (1,6)

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
	Totaal behandelingen		0,7	0,7	0,5	1,0

De gemiddelde ammoniakemissie van de twee behandelde afdelingen (13 en 16) ligt in de nulperiode ongeveer 1 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar hoger dan 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 gemiddeld licht af maar veel minder dan de emissie in de referentieafdelingen.

### 3.2 Statistische analyse ammoniakemissie

Zoals omschreven in paragraaf 2.7 zijn meerdere statistische toetsen uitgevoerd.

Uit de ANOVA analyse op de gegevens uit de nulperiodes blijkt dat de verschillen tussen de afdelingen niet significant zijn ( $p=0,897$ ) en de verschillen tussen de experimenten wel ( $p=0,002$ ). Het kleinst significante verschil (LSD) bij  $\alpha = 0,05$  is 3,8 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar.

Conclusie is dat verschillende afdelingen bij gelijke omstandigheden geen verschillende resultaten geven en er dus geen sprake is van een systematisch afdelingseffect.

Uit beide T-testen (tussen behandelde en referentieafdelingen per periode en tussen behandelingsperiode en nulperiode per afdeling) blijkt geen effect van de behandeling mixen ( $p=0,555$  respectievelijk  $p=0,200$ ). Het gemiddelde verschil tussen referentie en behandeling is respectievelijk -1,4 en -1,2 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar met een 95% betrouwbaarheidsinterval van dat verschil van respectievelijk -3,9 tot 1,0 en van -5,6 tot 3,3 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar.

Uit de ANOVA analyse op de gegevens uit de behandelingsperiodes blijkt dat het effect van de behandeling mixen niet significant is ( $p=0,164$ ). De geschatte gemiddelde ammoniakemissie van de gemixte afdelingen en de referentieafdelingen is respectievelijk 11,3 en 9,8 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar met een kleinst significante verschil (LSD) bij  $\alpha = 0,05$  van 2,2 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar.

Ook uit de REML analyse van de volledige dataset blijkt geen significant effect van de behandeling mixen ( $p=0,315$ ). De geschatte gemiddelde ammoniakemissie van de gemixte afdelingen en de



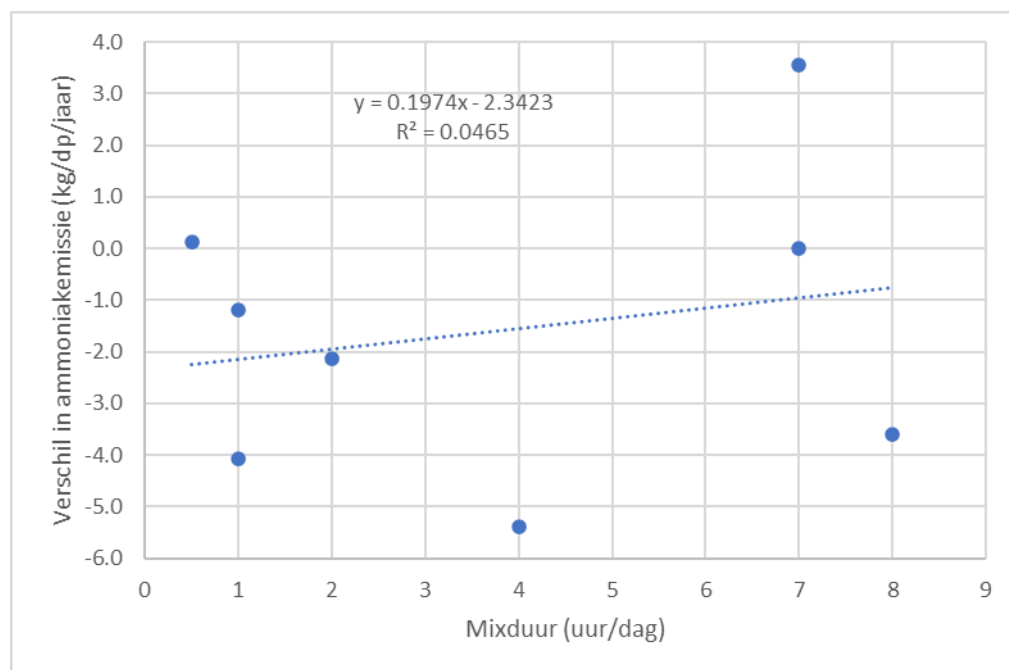
referentieafdelingen is respectievelijk 11,2 en 9,8 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar met een kleinste significante verschil (LSD) bij  $\alpha = 0,05$  van 2,8 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar.

De verschillen tussen de mixmethoden onderling geven aanleiding om ook het effect van mixmethode nader te onderzoeken. Daarvoor is dezelfde REML analyse gebruikt waarbij nu mixmethode ('type') als te onderzoeken effect. Uit de analyse blijkt dat hoewel de mixmethoden met lucht onderling wel van elkaar verschillen geen van de mixmethoden significant afwijkt van de referentie (zie bijlage 1).

**Tabel 7** Geschatte gemiddelde ammoniakemissie en LSD per type bij REML-analyse in kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar.

Afdeling	Type			
	REF	AM	MECH	SSAS
Geschatte gemiddelde	9,8	7,2	10,1	13,6
Kleinst significant verschil (LSD) bij $\alpha = 0,05$				
REF	*	4,6	4,5	2,9
AM	*	*	6,2	5,2
MECH	*	*	*	4,2

Hoewel er dus geen significant effect van frequent mixen of mixmethode op de ammoniakemissie is aangetoond is er mogelijk wel een relatie tussen mixduur per dag en de ammoniakemissie. Om dit verband te onderzoeken is een lineaire regressieanalyse uitgevoerd tussen de mixduur in uren per dag en het bijbehorende verschil tussen de ammoniakemissie van de behandelde afdeling en de referentieafdeling in dezelfde periode. Uit de analyse blijkt dat er geen verband is (zie bijlage 1).



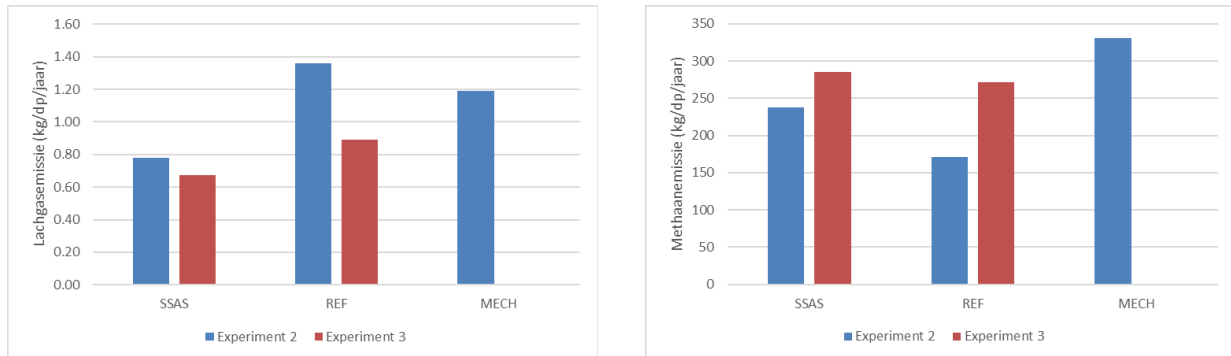
**Figuur 7** Relatie tussen mixduur in uren per dag en verschil in ammoniakemissie tussen gemixte afdelingen en referentieafdelingen in kg per dierplaats per jaar.

### 3.3 Broeikasgasemissie

De resultaten van de gemeten methaan- en lachgasemissies tijdens experiment 2 en 3 zijn weergegeven in Figuur 8. De relatieve emissies ten opzichten van de referentieafdeling tijdens de behandelperiode zijn opgenomen in Tabel 8.

**Tabel 8** Gemiddelde relatieve broeikasgasemissie per afdeling tijdens de behandelperiode ten opzichte van (het gemiddelde van) de referentie afdelingen(en).

Experiment	Methaan		Lachgas	
	SSAS	MECH	SSAS	MECH
2	1,4	1,9	0,6	0,9
3	1,1		0,8	



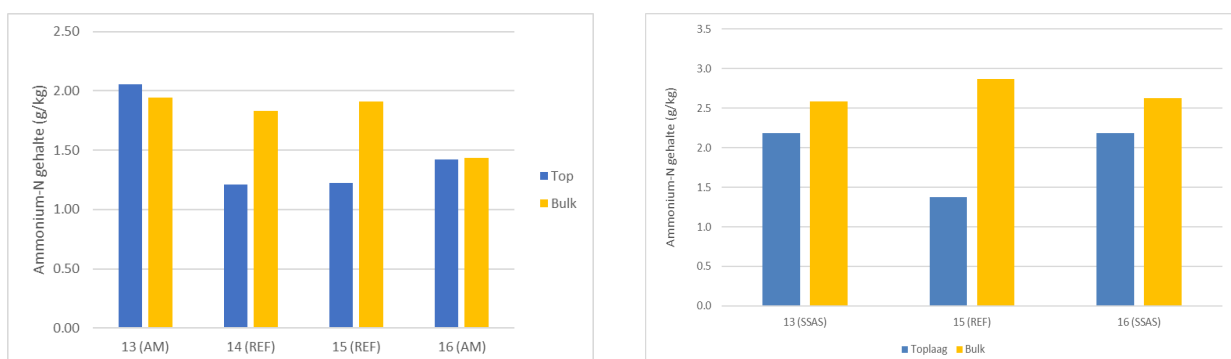
**Figuur 8** Emissie van lachgas (links) en methaan (rechts) in kg/dp/jaar tijdens experiment 2 en 3 in de behandelingsperiode (SSAS=mixen met lucht; REF=Referentie; MECH=mechanisch mixen).

Uitkomsten van emissie van methaan en lachgas laten tussen de twee experimenten een min of meer vergelijkbaar beeld zien: lagere lachgasemissie bij mechanische mixen en mixen met lucht en een hogere methaanemissie bij beiden. Deze uitkomsten wijken af van wat in literatuur gevonden wordt waar juist over het algemeen een lagere methaanemissie en een hogere lachgasemissie gevonden is bij het behandelen van mest met lucht.

### 3.4 Mestsamenstelling

In de bijlage is de mestsamenstelling aan het einde van elk experiment opgenomen.

In Figuur 9 is het ammoniumgehalte van de toplaag en de bulk van de mest weergegeven. Uit het kleinere verschil tussen deze twee monsters in de met lucht gemixte afdelingen 13 en 16 ten opzichte van de referentieafdeling(en) is af te leiden dat de mest (op dat moment) goed gemengd was. Beide mixsystemen met lucht voldoen als methode om drijfmest in een kelder te mengen.



**Figuur 9** Het ammonium-N gehalte in g/kg in toplaag en bulk van de mest tijdens experiment 1 (links) en experiment 3 (rechts).

---

## 3.5 Discussie

Doel van de uitgevoerde experimenten was het effect van frequent mixen van drijfmest 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). De oorspronkelijke aanpak van het in dit rapport beschreven onderzoeker is in de loop van de uitvoering verstoord door een onvoorziene wisseling in type luchtmixsysteem en storing tijdens de uitvoering. Daardoor is de insteek van het onderzoek verschoven van een validerende opzet naar meer explorerende aanpak maar heeft het uiteindelijk wel geleid tot verder inzicht in de effecten van frequent mixen op de ammoniakemissie.

Uit resultaten van in de literatuur gevonden onderzoek naar het effect van toediening van lucht aan mest (Amon et al., 2006; Kresse 2009; Calvet et al. 2017; Mostafa et al., 2019) bleek eerder een stijging van de ammoniakemissie voor de hand te liggen. Geen enkel onderzoek was echter uitgevoerd bij melkvee onder praktijkomstandigheden met opslag van mest in een put onder de loopvloer. Belangrijk verschil daarbij vergeleken met eerder onderzoek is de continue toevoer van verse mest en urine.

Bij de hier uitgevoerde experimenten is uitgegaan van de hypothese dat door het regelmatig mixen de vorming van een drijfslag op de mest in de kelder voorkómen wordt waardoor deze niet kan fungeren als een laag waarop urineplassen die door de roosters vallen kunnen blijven liggen. De vorming van drijfslagen is een bekend verschijnsel bij opslag van runderdrijfmest en plasvorming van urine op deze drijfslag is in van Dooren et al. (2019) ook aangevoerd als mogelijke verklaring voor de veel tragere dan verwachtte afname van de ammoniakemissie wanneer koeien de stal verlaten. Uit de vergelijking van ammoniumgehalte in de toplaag van de aanwezige mest met het gemiddelde ammoniumgehalte van alle aanwezige drijfmest blijkt dat in de behandelde afdelingen de mest wel gemixt is maar dat het ammoniumgehalte in de toplaag eerder hoger dan lager geworden is in vergelijking met de referentieafdeling.

In zeven van de acht keren dat in de vier experimenten een afdeling met regelmatig mixen met lucht vergeleken is met een referentieafdeling die niet gemixt werd was geen reductie in de ammoniakemissie waar te nemen. Ook de keer dat mechanisch frequent werd gemixt werd geen reductie van de ammoniakemissie waargenomen. De laatste twee keren (experiment 4) was de emissie zelfs beduidend 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.

Uit verschillende statistische toetsen blijkt dat de gevonden verschillen niet significant zijn. Er is met andere woorden geen aanleiding om aan te nemen dat het frequent mixen (met lucht) leidt tot een verandering in de ammoniakemissie vergeleken met niet gemixte mest. De verschillende mixmethoden met lucht onderscheiden zich weliswaar van elkaar maar elk niet van de niet gemixte afdelingen en ook frequent mechanisch mixen resulteert niet in een emissie die afwijkend is van een niet gemixte afdeling.

Uit de mestanalyses lijkt op te maken dat de verschillende systemen als *mix*methode wel goed functioneren. De verschillen in samenstelling tussen toplaag en bulk worden klein(er) als er gemixt is. De hypothese dat voorkomen van een drijfslag een rol speelt bij het verlagen van de ammoniakemissie kan hiermee niet onderbouwd worden.

Uit de resultaten en analyse blijkt ook dat er geen relatie is tussen *mixfrequentie* (vier keer per dag versus één keer per dag) of *mixduur* (1 uur, 2 uur, 4 uur of 8 uur per dag), samengevat in het aantal uren mixen per dag en het verschil tussen de ammoniakemissie in behandelde afdelingen en referentieafdelingen.

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 aangetoond dat de hoeveelheid lucht die in de mest gebracht wordt tijdens het mixen de ammoniakemissie beïnvloedt.

Bij de uitkomsten van de statistische toetsen moet wel opgemerkt worden dat door de relatief kleine aantal waarnemingen per mixmethode en de grote spreiding in de uitkomsten het onderscheidend vermogen klein was. Dat betekent dat verschillen tussen behandelingen en referentie vrij groot moeten zijn om betrouwbare uitspraken over het effect op de ammoniakemissie te kunnen doen (zie Error! Reference source not found.).

---

In experiment 1 en experiment 2 heeft zich daarnaast een storing in de mixinstallatie voorgedaan. Beide keren is onduidelijk of en zo ja hoe die storing heeft doorgewerkt in de emissieresultaten. Er is een aanvullende statistische analyse gedaan waarbij deze resultaten zijn weggelaten. Dit leidt echter niet tot wezenlijk andere uitkomsten en daarom ook niet tot andere conclusies.

De resultaten van de meting van de broeikasgasemissie zijn tegengesteld aan die in de eerder aangehaalde literatuur. Waar in de literatuur over het algemeen een lagere methaanemissie en een hogere lachgasemissie gevonden is bij het behandelen van mest met lucht laten huidige resultaten een hogere methaan- en lagere lachgasemissie zien. Door het verkennende karakter van de metingen is verdere analyse echter niet mogelijk. Verder onderzoek naar het effect op de broeikasgassen moet uitwijzen of frequent mixen wel voor verlaging van de broeikasgasemissie kan zorgen.

---

## 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 met lucht en met een mechanische mixer op de ammoniakemissie uit melkveestallen te onderzoeken. Uitgangspunt was de aanname dat door het voorkomen van een drijfslag in de mest de ammoniakemissie verminderd omdat er zich geen urine verzameld op de drijfslag. Het onderzoek leidde tot de volgende conclusies:

- Er is geen significant effect van frequent mixen op de ammoniakemissie gevonden.
- Daarbij maakt het niet uit welke *mixmethode* (mixen met lucht versus mechanisch mixen) gekozen wordt.
- Uit de resultaten komt geen relatie tussen *mixduur* per dag en de ammoniakemissie naar voren.
- Door de relatief kleine aantal waarnemingen per *mixmethode* en de grote spreiding in de uitkomsten was het onderscheidend vermogen klein.
- Als manier om mest te mixen werken alle *mixmethoden* naar verwachting.
- 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

- Amon B, Kryvoruchko V, Amon T, Zechmeister-Boltenstern S (2006) Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agric Ecosyst Environ* 112:153–162 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.030>
- Blanes-Vidal, V., M. Guàrdia, X.R. Dai, E.S. Nadimi (2012) Emissions of NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S 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.
- 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.
- Burton, C. H. (1992). A review of the strategies in the aerobic treatment of pig slurry: Purpose, theory and method. *Journal of Agricultural Engineering Research*.
- CBS, 2020, Dierlijke mest; productie en mineralenuitscheiding; bedrijfstype, regio. <https://opendata.cbs.nl/statline/>
- 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.
- Dooren, H. J. C., van, Ogink, N. W. M., van Riel, J. W., Mosquera, J., & Zonderland, J. L. (2019). Beïnvloeding van de ammoniakemissie uit melkveestallen met roostervloer door beweiding: onderzoek op Dairy Campus. (Wageningen Livestock Research rapport; No. 1130). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/462994>
- Kresse, A.D. (2009). Minderung der Methan-, Ammoniak- und Lachgasemissionen aus Schweinemastställen durch Flüssigmistbelüftung, Dissertation, Institut für Landtechnik Verfahrenstechnik in der tierischen Erzeugung, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität <https://bonndoc.ulb.uni-bonn.de/xmlui/handle/20.500.11811/3942>
- Middelkoop, J. (2019) Ongevallen door mestgassen [www.hazmatcat.nl/Rotting/Mestgassen/Ongevallen](http://www.hazmatcat.nl/Rotting/Mestgassen/Ongevallen) (gecontroleerd: mei 2019)
- Mostafa, E., A. Selders, W. Buescher (2019) Aeration of pig slurry affects ammonia and greenhouse gases emissions. *Int. Journal of Environmental Science and Technology* 16, 7327–7338. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02388-2>
- RIVM (2019). National Emissions Ceilings (NEC), [www.emissieregistratie.nl](http://www.emissieregistratie.nl) (gecontroleerd: mei 2019)
- Scully H., J.P. Frost, S. Gilkinson, J.J. Lenehan (2007) Research into H<sub>2</sub>S 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).
- VSN International (2018). Genstat for Windows 19th Edition. VSN International, Hemel Hempstead, UK. Web page: [Genstat.co.uk](http://Genstat.co.uk)

# Bijlage 1 Mestsamenstelling

**Tabel 9** Gehalten van de mestmonsters genomen op 25 april 2016 tijdens experiment 1 van de hele mestkolom in de verschillende afdelingen in g/kg.

Afdeling	Totaal-N	Ammonium-N	P	K	DS	As
13	3,98	1,95	0,65	5,92	86,42	20,96
14	4,33	1,83	0,80	5,11	104,05	22,70
15	4,37	1,91	0,83	5,63	102,97	23,82
16	3,21	1,43	0,54	4,54	71,52	17,53

**Tabel 10** Gehalten van de mestmonsters genomen op 18 oktober 2017 tijdens experiment 2 van de hele mestkolom in de verschillende afdelingen in g/kg.

Afdeling	Totaal-N	Ammonium-N	P	K	DS	As
13	4,39	1,97	0,78	5,11	91,15	23,14
14	4,46	2,22	0,75	5,48	87,68	23,61
15	3,93	1,87	0,67	4,61	76,51	19,90
16	4,60	1,82	0,91	5,57	107,77	26,22

**Tabel 11** Gehalten van de mestmonsters genomen op 6 februari 2018 tijdens experiment 3 van de hele mestkolom in de verschillende afdelingen in g/kg.

Afdeling	Totaal-N	Ammonium-N	P	K	DS	As
13	4,88	2,58	0,72	5,06	91,5	21,8
14	4,33	2,82	0,46	5,12	65,1	19,4
15	4,37	2,86	0,44	5,24	63,2	19,1
16	4,88	2,63	0,77	4,91	93,5	22,3

**Tabel 12** Gehalten van de mestmonsters genomen op 2 oktober 2018 tijdens experiment 4 van de hele mestkolom in de verschillende afdelingen in g/kg.

Afdeling	Totaal-N	Ammonium-N	P	K	DS	As
13	4,49	2,10	0,73	4,63	100,9	23,0
14	4,80	2,31	0,80	4,69	105,2	23,7
15	4,82	2,43	0,73	4,60	98,6	23,2
16	3,92	1,90	0,63	4,09	84,4	19,7

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](mailto: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.

