



---

# Effect van het Aeromix systeem op ammoniakemissie in een melkveestal

Verkennd onderzoek op Dairy Campus

H.J.C. van Dooren, S. Bokma, J.L. Zonderland



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN **UR**

---

---

# Effect van het Aeromix systeem op ammoniakemissie in een melkveestal

Verkennd onderzoek op Dairy Campus

H.J.C. van Dooren  
S. Bokma  
J.L. Zonderland

Dit onderzoek is uitgevoerd onder de vlag van het Innovatieprogramma Dairy Campus (referentienr. 2014\_02\_03: Aeromix) en wordt mede gefinancierd door het Samenwerkingsverband Noord-Nederland (SNN), Ruimtelijk Economisch Programma

Wageningen UR Livestock Research  
Dairy Campus, maart 2015

---

Livestock Research Report 850



---

Dooren, H.J.C., 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.

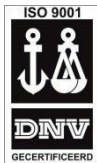
Samenvatting NL: In een verkennend case-control onderzoek is vastgesteld dat de ammoniakuitstoot in de afdeling met het Aeromixsysteem ca. 50 % lager was dan die van de referentieafdeling. Er is geen toename van lachgasemissie gevonden.

Summary UK: During a case-control trial with Aeromix manure mixing system a sharp reduction of the ammonia emission from the dairy barn was established. In comparison to the reference barn the reduction was on average 50 %. No increase in laughing gas (N<sub>2</sub>O) was found.

© 2015 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wageningenUR.nl/livestockresearch. Livestock Research is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

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.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op als onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

---

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
	<b>Summary</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>11</b>
	1.1 Doel	11
	1.2 Leeswijzer	11
<b>2</b>	<b>Beschrijving van het Aeromix systeem</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Materiaal en methode</b>	<b>13</b>
	3.1 Meetunit Dairy Campus	13
	3.2 Proefopzet	13
	3.3 Montage en gebruik van het Aeromix systeem	14
	3.4 Metingen	14
	3.4.1 Ammoniak	14
	3.4.2 Broeikasgassen	15
	3.4.3 Zwavelwaterstof	15
	3.4.4 Menging van mest in kelder	15
<b>4</b>	<b>Resultaten en discussie</b>	<b>16</b>
	4.1 Landbouwkundige gegevens	16
	4.2 Ammoniakemissie	16
	4.2.2 Emissieverloop over het etmaal	18
	4.2.3 Effect van mixen van mest in een onberoerde mestkelder	19
	4.2.4 Broeikasgassen	20
	4.3 Zwavelwaterstof	20
	4.4 Menging van mest in kelder	21
	4.5 Discussie	22
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>24</b>
	5.1 Conclusies	24
	5.2 Aanbevelingen	24
	<b>Literatuur</b>	<b>25</b>

---

---

# Woord vooraf

Reductie van ammoniakemissie is een belangrijk item om te kunnen voldoen aan de opgave om kwetsbare natuur afdoende te beschermen en bedrijfsontwikkeling mogelijk te houden. In de melkveehouderij ligt de focus op dit moment op het verminderen van de emissie via aangepaste loopvloeren. Enerzijds door de afvoer van mest en urine daarvan te verbeteren en te versnellen, anderzijds door de luchtuitwisseling met de onderliggende mestopslag te verminderen, dan wel die mestopslag naar buiten de stal te verplaatsen. In alle gevallen betekent het dat de veehouder tenminste moet investeren in een nieuwe, vaak veel duurdere vloer in zijn stal, en het soms ingrijpend is om bestaande stallen hiervoor aan te passen.

Bos Ecosystems BV, dochteronderneming van Bos Benelux BV, brengt sinds enkele jaren het Engelse Aeromixsysteem op de Nederlandse markt. Dit systeem is primair ontwikkeld om een goede menging van mest te realiseren, ongeacht de vorm en uitvoering van de mestopslag. Mixen door rondpompen is daarbij niet nodig. Gebruikers onderschrijven de goede menging van de mest met de Aeromix, maar ervaren bovendien een aangenamer stalklimaat, met minder geur en naar hun idee ook minder ammoniak.

Om dit nader te onderzoeken heeft Bos Ecosystems zich via zijn adviseur Eddie ter Braack tot Dairy Campus gewend. Gezamenlijk is een voorstel voor een proof of principle uitgewerkt om vast te stellen of er inderdaad sprake is van ammoniakreductie, zoals de gebruikers veronderstellen. Hierbij is gekozen voor een gecontroleerde case- control proef in de emissiemeetunits van Dairy Campus waarin het systeem gedurende ca. 7 weken is ingezet.

In dit rapport zijn de uitvoering en de uitkomsten beschreven. Het Aeromix-systeem komt uit dit verkennende emissieonderzoek naar voren als een perspectiefvol en kosteneffectief systeem, niet alleen om mest te mixen, maar ook om de ammoniakuitstoot aanzienlijk te reduceren. Het onderzoek laat daarmee zien dat het de moeite waard is om verder te werken aan de validatie van de emissiereductie om tot een erkenning te komen in landelijke regelgeving, én om nader onderzoek uit te voeren naar het achterliggende werkingsprincipe achter de emissiereductie.

Het innovatiefonds van Dairy Campus heeft het projectvoorstel ondersteund en een deel van de onderzoekskosten voor haar rekening genomen. Bos Ecosystems is opdrachtgever. Eddie ter Braack was gedelegeerd opdrachtgever en eerste aanspreekpunt en coördinator van het onderzoek. De uitvoering lag in handen van Dairy Campus en Wageningen UR Livestock Research.

Dit project is een mooi voorbeeld van samenwerking tussen bedrijfsleven, Dairy Campus en onderzoek met ondersteuning vanuit het Innovatiefonds van Dairy Campus.

Kees de Koning  
Manager Dairy Campus



---

# Samenvatting

In de periode juli 2014 t/m november 2014 is op Dairy Campus een verkennend onderzoek uitgevoerd om vast te stellen of het Aeromix systeem van Bos Ecosystems BV invloed heeft op de ammoniakuitstoot van een melkveestal. Het Aeromix systeem is ontwikkeld als een mestmengsysteem dat drijfmest in kelders en mestopslagen mixt met behulp van luchtballen. Deze luchtballen worden m.b.v. een compressor opgewekt en via een verdeler met leidingwerk en uitloopopeningen over de gehele putbodem van de stal verdeeld. Ieder plek in de mestkelder wordt zo dagelijks kortstondig gemixt.

Het onderzoek is uitgevoerd in de emissiemeetunit van Dairy Campus volgens een case-control opzet met 2 identieke klimaatgescheiden afdelingen voor 15 melkkoeien. Eén afdeling werd uitgerust met het Aeromix systeem in de mestkelder, de andere afdeling niet.

Het onderzoek bestond uit 4 fasen: \_

- een voorperiode waarin geen verschil tussen beide afdelingen was aangebracht;
- een montage & opstartperiode, waarin het Aeromix systeem in de mestkelder werd gemonteerd, gevolgd door een opstartperiode van ca. 10 dagen waarin de mest in de Aeromix afdeling intensief werd gemengd, en de mest in de referentieafdeling niet;
- de proefperiode van ca. 35 dagen waarin de mestkelder in de Aeromix afdeling dagelijks in de nachtperiode werd gemixt en die van de referentieafdeling niet;
- een naperiode waarin het mixen in de Aeromix afdeling werd gestaakt en de omstandigheden in beide afdelingen weer gelijk waren.

Het emissieverloop van ammoniak in beide afdelingen is gedurende de gehele onderzoeksperiode continu vastgelegd. De ammoniakconcentraties van in- en uitgaande stallucht zijn bepaald met behulp van een NOx-analyzer met meetpuntomschakelaar. Het ventilatiedebiet van elke afdeling is geregistreerd met behulp van meetventilatoren. De emissie van broeikasgassen is gedurende enkele etmalen in de proefperiode bepaald. Verder zijn mestmonsters van de bovenlaag en van de gehele vloeistofkolom in de mestkelder genomen en geanalyseerd.

Uit het onderzoek kwam naar voren dat:

- In de afdeling waarin het Aeromix systeem werd toegepast een substantieel lagere ammoniakuitstoot werd gemeten dan in de referentieafdeling. Het gemeten emissieverschil ten opzichte van de referentieafdeling bedroeg tijdens de proefperiode van 5 weken gemiddeld 51 %;
- Er sprake was van een aanzienlijke spreiding (standaarddeviatie 32 %) in de emissiereductie tussen afzonderlijke meetdagen;
- De emissiereductie met name in de avond- en nachtperiode optrad;
- Het ammoniakemissie van de Aeromix afdeling een veel wisselender verloop liet zien dan de ammoniakemissie van de referentieafdeling. Hiervoor is geen duidelijke verklaring te geven.
- De toepassing van het Aeromix systeem niet tot een toename van de broeikasgasemissies leidt;
- Er geen eenduidig effect op de methaanemissie uit de Aeromix-afdeling naar voren kwam: bij de ene meting was deze gelijk aan die van de referentieafdeling, bij de tweede meting substantieel lager;
- Het Aeromixsysteem bijdraagt aan een goede verticale menging van de mest en voorkomt dat er een drijfslag in het mestkanaal ontstaat;
- Er geen zwavelwaterstof werd gemeten direct boven de roostervloer, en de geur in de afdeling met Aeromix door de diervverzorgers als prettiger werd ervaren;
- Er in dit onderzoek een relatief lang na-ijleffect is waargenomen van de ammoniakreductie na beëindiging van het mixen met de Aeromix;
- Het niet aannemelijk is dat het gevonden emissieverschil het gevolg is van nitrificatie – denitrificatie van ammoniak, maar een andere chemische of biologische oorzaak heeft. Dit dient nader onderzocht te worden.



---

Hoewel onbedoeld, zijn er wat aanwijsbare verschillen tussen beide afdelingen ontstaan. De eerste is dat, om het Aeromix systeem te plaatsen, de bodem van de mestkelder in de betreffende afdeling van de nog resterende mestkorst moest worden ontdaan. Dit is niet in de referentieafdeling gebeurd. Wel is de mest in beide mestkelders door middel van wegpompen zo goed mogelijk verwijderd en, na het aanbrengen van het Aeromix systeem, is in beide afdelingen een laag van ca. 50 cm relatief verse gemixte mest teruggepompt. Het tweede aanwijsbare verschil is dat in de Aeromix-afdeling de roosterschuif in werking is geweest, terwijl dat niet het geval was in de referentieafdeling. Het is niet waarschijnlijk is dat deze zaken veel invloed hebben gehad op het gemeten resultaat.

Het Aeromix systeem oogt derhalve zeer perspectiefvol, niet alleen als mengtechniek voor rundveemest, maar ook om de ammoniak- en mogelijk ook de methaanemissie uit de melkveehouderij te reduceren.

---

# Summary

In the period of July 2014 till November 2014 a proof of principle experiment was conducted at Dairy Campus Innovation Centre to determine if the Aeromix system has an ammonia emission reducing potential. The Aeromix system is developed by Ameran Ltd from the UK as a slurry mixing system for manure canals in barns and for manure storages. It is traded in the Netherlands by Bos Ecosystems BV. The mixing takes place by large air bubbles produced by a compressor and distributed by an air distribution system with hoses over the whole floor surface of the manure storage. In this way every spot in de storage can be mixed regularly with a restricted amount of air.

The trial was conducted in the emission measuring unit of Dairy Campus as a case- control set up. The unit consists of four identical mechanically ventilated compartments, each with 15 cubicles for lactating dairy cattle. These compartments are fully separated from each other. For the experiment 2 compartments were used; one was supplied with the Aeromix system in de manure canal, the other one (the reference) was not supplied with a slurry mixing system.

The experiment consisted of four stages:

- The pre-period in which both compartments were managed identical;
- The mounting and start-up period, in which the Aeromix system was mounted, the manure in both compartments was removed and replaced by 50 cm freshly mixed manure. The manure in the Aeromix compartment was subsequently mixed intensively for ten days. The manure in the reference compartment wasn't mixed.
- The experimental period of approx. 35 days. The manure in the Aeromix compartment was mixed daily for a short period during the night. The manure in the reference compartment wasn't mixed at all.
- The post-period in which the mixing by means of Aeromix was stopped and both compartments were managed identical again.

The ammonia emissions from both compartments were monitored continuously during the whole experiment. Ammonia concentrations in the incoming and outgoing air were determined by means of an NOx-analyser. The ventilation rate of each compartment was registered by means of measuring fans. Emissions of greenhouse gasses were determined on two occasions during the experimental period. Manure samples were taken from the top layer and from the whole depth of the manure canal under the slatted floor.

From this experiment can be concluded that:

- From the compartment where the Aeromix system was used, a significant lower ammonia emission was determined than from the compartment where no mixing took place. The reduction during the experimental period was 51 %;
- A large variation in ammonia emission reduction was found between measuring days (s.d. = 32 %);
- The ammonia emission of the Aeromix compartment showed a substantial larger variation between days than that of the reference compartment. No explanation could be found.
- The ammonia emission reduction particularly was found during the night;
- The use of Aeromix didn't result in an increase of greenhouse gas emissions. No consistent effect on methane emission could be determined. In one occasion it showed identical to the reference, in a second 24-hour measurement it was substantially lower.
- In the Aeromix compartment no hydrosulfate was determined at floor level. In general the odour in this compartment was experienced more pleasant.
- Mixing by means of Aeromix results in a homogeneous composition of the stocked manure. No signs of development of a floating crust on the manure were observed.
- After the mixing had been stopped the effect of Aeromix on ammonia emission remained for some days before gradually fading away.

- 
- It is not likely that the ammonia reduction is due to nitrification – denitrification. Another principle, chemical or biological, is more likely, but needs further investigation.

Although not meant, some small other differences did occur during the experiment between the two compartments. The first one is that in order to mount the hoses of the Aeromix to the floor of the manure canal, a manure crust that was present, had to be removed. This was not done in the reference compartment. The manure from both compartments was however removed by pumping and after mounting the Aeromix system, the manure canals of both compartments were filled again with approx. 50 cm relative fresh manure. The second difference is that during the trial the slat scraper was in use in the Aeromix compartment, but not in the reference compartment. It is however not likely these differences will have had large effect on the results that were obtained.

From this experiment it can be concluded that the Aeromix system has great potential, not only as a mixing system for dairy slurry, but also as an ammonia emission reducing system and possibly also methane reduction from the manure storage inside the dairy barn.

---

# 1 Inleiding

Bos Ecosystems BV uit Dordrecht ([www.bosecosystems.nl](http://www.bosecosystems.nl)) verkoopt sinds enkele jaren het Aeromix systeem van de firma Ameram Ltd. uit Engeland ([www.ameramslurry.com](http://www.ameramslurry.com)). Het systeem is ontwikkeld om drijfmest in een kelder verticaal te mixen met behulp van grote luchtbellen. Uit onderzoek in Ierland is daarbij vastgesteld dat dagelijks gebruik het risico van hoge H<sub>2</sub>S-concentratie tijdens het mixen van mest terugdringt (Scully et al., 2007). Over de eventuele effecten op de ammoniakuitstoot is nog niets bekend. De indrukken van eerste gebruikers van het systeem zijn dat het mixen met Aeromix tot een aangenamer stalklimaat leidt met minder geur en lagere ammoniakconcentraties.

Redenerend vanuit de kennis op het gebied van de biologische afbraak van organische stof en ammoniak (via nitrificatie door middel van beluchten, gevolgd door anaërobe denitrificatie), voldoet de zuurstof inbreng via het Aeromix systeem niet aan de randvoorwaarden om dat proces goed te laten verlopen. Wel zijn andere biologische of chemische principes denkbaar waardoor het Aeromix systeem tot een vermindering van de ammoniakuitstoot uit de mestkelder zou kunnen leiden. Wanneer het Aeromix systeem inderdaad de ammoniakemissie vermindert, is het een aantrekkelijke, kosten effectieve maatregel voor veehouders om in te zetten, zowel in bestaande als nieuwe stallen.

Bos Ecosystems BV heeft daarom in het kader van een innovatieproject opdracht gegeven aan Dairy Campus ([www.dairycampus.nl](http://www.dairycampus.nl)) en Wageningen UR Livestock Research ([www.livestockresearch.nl](http://www.livestockresearch.nl)) om in de emissie-eenheid op Dairy Campus een verkennend onderzoek uit te voeren om vast te stellen of het Aeromix systeem invloed heeft op de ammoniak uitstoot uit een melkveestal. Deze verkenning moet worden gezien als een eerste 'proof of principle', op basis waarvan Bos Ecosystems een onderbouwde afweging kan maken voor een eventueel vervolg van het ontwikkel- en validatietraject en de slagingskans daarvan, bijvoorbeeld ten behoeve van opname in de Rav en/of de MIA/Vamil-lijst.

## 1.1 Doel

Hoofddoel van deze verkenning was om vast te stellen of het gebruik van het Aeromix systeem van invloed is op de ammoniakemissie uit een melkveestal.

Nevendoelen waren het vaststellen van een effect op:

- de uitstoot van broeikasgassen (N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub>),
- de concentratie van H<sub>2</sub>S net boven de roosters
- de mengresultaten van de mest door bemonstering van toplaag en bulk in mestopslag

## 1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het Aeromix systeem kort beschreven. In hoofdstuk 3 wordt de methode die gebruikt is om het effect op de ammoniakemissie vast te stellen beschreven en worden de opzet van de overige waarnemingen toegelicht. In hoofdstuk 4 volgen de resultaten en worden deze in de discussie besproken op hun waarde. Waarna in hoofdstuk 5 enkele conclusies getrokken worden en aanbevelingen worden gedaan voor het vervolg van een validatietraject.

---

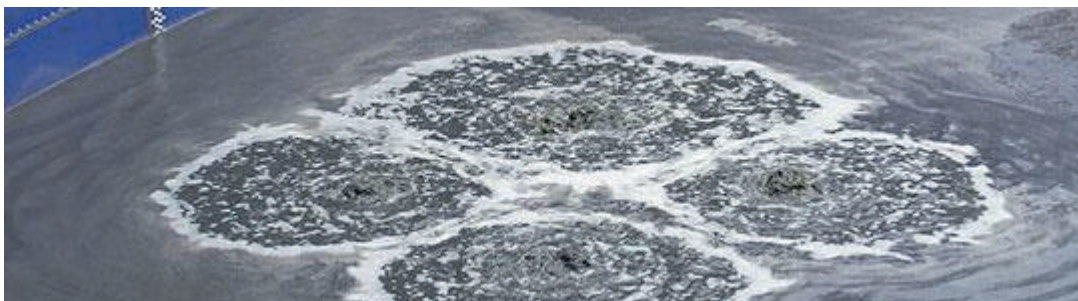
## 2 Beschrijving van het Aeromix systeem

Het Aeromix systeem is een systeem dat ontwikkeld is voor het mengen en gemengd houden van drijfmest in een mestkelder in de stal of een externe mestopslag (silo). Traditioneel wordt de mest in kelders onder melkveestallen gemengd met een door de trekker aangedreven lange as mixer. Dat mixen gebeurt niet frequent en is vaak afhankelijk van keldervulling en het ontstaan van een drijfslag. De menging wordt daarbij gerealiseerd door het op gang brengen van een rondgaande meststroom in de mestkanalen (zogenaamd horizontaal mixen). Tegenwoordig worden hiervoor ook wel elektrisch aangedreven dompelmixers gebruikt. Deze vragen minder vermogen en kunnen, vanwege hun permanente plaatsing, ook veel gemakkelijker worden aangezet. Het mengprincipe is gelijk aan dat van de lange as mixers.

Het Aeromix systeem werkt anders. Het mixen van mest vindt plaats met behulp van luchtbellens. Hierbij is sprake van verticale menging zonder dat er een rondgaande meststroom is. Daarvoor wordt op de bodem van de kelder een leidingsysteem van tyleneleidingen aangelegd met aan het einde van elke slang twee of vier uitloopopeningen. Met behulp van een speciale verdeler wordt lucht onder enige druk door de tyleneleidingen geperst waardoor aan de uiteinden grote luchtbellens ontstaan. De verschillende tyleneleidingen worden met behulp van de verdeler afzonderlijk bediend. Dit beluchten gebeurt dagelijks.



**Figuur 2.1** Voorbeeld van de aanleg van het Aeromix systeem op de bodem van een mestopslag; tyleneleidingen (blauw) met verdeelstukken met 4 uitblaasopeningen (zwart). (Bron: Ameram Ltd.)



**Figuur 2.2** Foto van het mestoppervlak tijdens het mixen met de Aeromix. (Bron: Ameram Ltd.)

---

## 3 Materiaal en methode

### 3.1 Meetunit Dairy Campus

Dairy Campus is het Innovatie en onderzoekscentrum van Wageningen UR Livestock Research gelegen bij Leeuwarden. Dairy Campus beschikt over een unieke meetfaciliteit voor het vaststellen van effecten van technische maatregelen op ammoniakemissie. Deze emissiemeetunit bestaat uit vier identieke afdelingen, elk met 15 ligboxen, die mest en klimaat gescheiden zijn.

Iedere afdeling is volledig onderkelderd; zowel onder de roostervloer als onder de ligboxen vindt opslag van drijfmest plaats. Beide mestkanalen zijn met elkaar verbonden. Mixen door middel van rondpompen is niet mogelijk. Als er mest moet worden afgelaten dan wordt deze zo goed mogelijk gemixt door het afzuigen en terugpompen van de drijfmest. Soms wordt daarbij gebruik gemaakt van een roostermixer.

De mestkanalen tussen de vier units zijn volledig van elkaar gescheiden zodat elke afdeling een eigen mestopslag heeft. Elke afdeling is voorzien van een roosterschuiф.

Iedere afdeling is voorzien van een eigen mechanisch ventilatiesysteem met twee ventilatoren met een diameter van 80 cm, elk een maximum capaciteit van 22.500 m<sup>3</sup> per uur. In deze ventilatoren wordt de uitgaande lucht continue bemonsterd. Ook de inkomende lucht die via een regelbare inlaatopening vanaf de voergang de afdeling binnen komt wordt continue bemonsterd.

De afdelingen zijn verder ingericht als gewone ligboxenstallen en voorzien van een krachtvoerbox en een waterbak. Ruwvoer wordt aan het voerhek verstrekt. Deze opzet maakt het mogelijk om zogenaamd case-control onderzoek uit te voeren waarbij de emissie uit een proefafdeling vergeleken wordt met die van een referentieafdeling in dezelfde periode.

### 3.2 Proefopzet

Het onderzoek is uitgevoerd volgens de case control-opzet. Hierbij is één afdeling (afdeling 1) van de meetunit uitgerust met het Aeromix-systeem en is afdeling 3 als referentieafdeling gebruikt. De roosterschuiф in de Aeromixafdeling heeft ieder twee uur gelopen, terwijl dit in de referentieafdeling niet het geval was. Dit is abusievelijk gebeurd. De overige omstandigheden in beide afdelingen zijn, voor zover beïnvloedbaar, hetzelfde gehouden.

De koeien in beide afdelingen kregen steeds een identiek dagrantsoen dat eenmaal daags met behulp van een voermengwagen aan het voerhek werd verstrekt. Het voer werd in de middag en 's avonds nog een keer aangeschoven. Gedurende de hele looptijd van het onderzoek is het ventilatiedebiet in beide afdelingen gelijk ingesteld, te weten op ca. 14.140 m<sup>3</sup> per afdeling per uur. Dit komt overeen met ca. 880 m<sup>3</sup> luchtverversing per koe per uur.

Het werkelijke ventilatiedebiet is met behulp van meetwaaiers continu gemeten.

Het onderzoek is gestart op 15 juli 2014 en afgesloten op 8 november 2014.

De looptijd van het onderzoek is opgedeeld in 4 perioden, te weten de voorperiode, de montage- en opstartperiode, de proefperiode en de naperiode.

- Voorperiode: 15-07-2014 tot 09-08-2014. In deze periode was het Aeromix systeem nog niet geïnstalleerd en werden beide afdelingen identiek gemanaged. Er was geen sprake van een behandeling die de ammoniakemissie zou kunnen beïnvloeden. Deze periode was bedoeld om vooraf vast te kunnen stellen of de uitgangspositie in termen van ammoniakemissie voor beide afdelingen vergelijkbaar was. Daarbij is het belangrijk te weten dat de emissie in de verschillende afdelingen nooit exact aan elkaar gelijk zullen zijn. Er kunnen altijd zogenaamde afdelingseffecten aanwezig zijn. Door de verkennende aard van het onderzoek en de bijbehorende opzet is het niet mogelijk onderscheid te maken tussen deze eventuele afdelingseffecten en de effecten van een behandeling. Die zijn immers verstrengeld.

- **Montage- en opstartperiode:** 10-08-2014 tot 02-09-2014. In deze periode is de mest uit beide afdelingen weggepompt, de bezinklaag van de keldervloer van de Aeromix afdeling verwijderd, en is het Aeromix systeem in afdeling 1 gemonteerd. In beide afdelingen is een laag van ca. 50 cm relatief verse mest teruggepompt. De mest in de controleafdeling is vervolgens niet meer beroerd. De Aeromix-afdeling is op 23 augustus opgestart door de mest in de kelder gedurende 10 dagen intensief met de Aeromix te mengen. Dit is een intensieve vorm van opstart die door de leverancier werd aanbevolen;
- **Proefperiode** 3 september tot 5 oktober. In deze periode is de Aeromix afdeling dagelijks gedurende enkele uren in de nachtperiode gemixt. Deze periode is bedoeld om het effect van het Aeromix systeem op de ammoniak- en broeikasgasemissies vast te stellen. De mest in de referentieafdeling werd niet gemixt.
- **Naperiode:** 6 oktober tot 8 november. Op 6 oktober is het Aeromix systeem uitgeschakeld. Daarna is de mest in de proefafdeling niet meer gemixt en waren de behandelingen in de proef- en referentie afdeling weer identiek. Deze naperiode was bedoeld om een beeld te krijgen hoe de emissies uit de Aeromix afdeling zich ten opzichte van de referentieafdeling ontwikkelen, na beëindiging van het mixen.

### 3.3 Montage en gebruik van het Aeromix systeem

Voor het aanbrengen van het Aeromix systeem is de mestkelder onder zowel de proefafdeling (afdeling 1) als de referentieafdeling (afdeling 3) leeggepompt. Dit is gebeurd op 13 augustus 2014. Daarna, bij de montage van het Aeromix systeem, bleek er met name in het kelderdeel onder de ligboxen een forse bezinklaag (mestkorst) aanwezig te zijn die montage op de keldervloer onmogelijk maakte. Daarom is deze laag uit de hele kelder van de proefafdeling op 20 augustus verwijderd waarna het Aeromix systeem gemonteerd is. De tyleenleidingen zijn niet aan de keldervloer vastgemaakt maar gefixeerd met grindslurven. Elke tyleenleiding eindigde in een T-vormige inblaasunit met 2 openingen. In de kelder zijn tyleenleidingen met inblaasunits aangebracht die gelijkmatig over de keldervloer (ca. 120 m<sup>2</sup>) verdeeld zijn. De compressor en de regelkast met datalogger en inbelfunctie zijn buiten de afdeling in de stal gemonteerd. De luchtverdeelunit is buiten de stal opgesteld..

De regelunit is zodanig ingesteld dat elke inblaasunit gedurende een bepaalde tijdsduur onder luchtdruk werd gezet, waarna het systeem doorschakelde naar de volgende inblaasunit.

Na montage van het Aeromix systeem op 22 augustus 2014 is in zowel de proefafdeling als de referentieafdeling een laag van ca. 50 cm relatief verse gemixte drijfmest teruggepompt. Het mixen met de Aeromix is op 6 oktober gestaakt.

### 3.4 Metingen

#### 3.4.1 Ammoniak

Iedere unit heeft 3 ammoniakmonsternamepunten, te weten een monsternamepunt (verzamelleiding) onder aan het regelbare scherm boven de voergang voor het voerhek (de luchtinlaat van de unit) en een monsternamepunt in elk van de twee ventilatorkokers waarmee de lucht uit de unit wordt afgezogen. Via teflonleidingen wordt de lucht naar de registratieruimte gebracht waar de leidingen op een meetpuntomschakelaar zijn aangesloten die de monsternamepunten sequentieel bemonstert en aanbiedt aan de analyseapparatuur. De ammoniakconcentratie in de bemonsterde lucht wordt gemeten met een NO<sub>x</sub> analyzer (AP Teledyne T200). Daarvoor wordt de in het luchtmonster aanwezige ammoniak eerst omgezet in NO<sub>x</sub> in zogenaamde converters. Het ventilatiedebiet wordt gelogd en opgeslagen in een datalogger (Koenders CR1000) samen met de gemeten ammoniakconcentraties en de temperatuur en relatieve vochtigheid in de afdelingen en in de rest van de stal.

De ammoniakmetingen hebben continue plaatsgevonden tussen 15 juli en 8 november 2014.

Op basis van de gemeten ammoniakconcentraties en ventilatiedebieten zijn uurgemiddelde ammoniakemissies uitgerekend volgens de volgende formule.

$$E = V * (C_{uit} - C_{in})$$

---

Daarin is E de emissie in gram NH<sub>3</sub> per uur, V het ventilatiedebiet in m<sup>3</sup> per uur en C de ammoniakconcentratie van ingaande en uitgaande lucht in gram NH<sub>3</sub> per m<sup>3</sup>.

De metingen tussen 06:00 en 10:00 uur in de ochtend zijn hierbij standaard buiten beschouwing gelaten omdat binnen die periode het voorscherm van de units gedurende enige tijd omhoog gehesen werd om het voeren en eventueel andere werkzaamheden eenvoudig mogelijk te maken. De emissies per uur zijn opgeteld en vervolgens omgerekend naar emissies per dag.

### 3.4.2 Broeikasgassen

Om een beeld te krijgen van de emissie van broeikasgassen waren twee meetmomenten tijdens de proefperiode voorzien, te weten halverwege en tegen het eind van de proefperiode met de Aeromix. Er zijn twee meetmethoden gebruikt:

- Tijdens de eerste meting (23/09) is gebruik gemaakt van 24-uurs verzamelmonsters van de uitgaande afdelingslucht van zowel de Aeromix als referentieafdeling. Deze luchtmonsters zijn vervolgens door het milieulaboratorium van Wageningen UR geanalyseerd met behulp van een gaschromatograaf (GC) op de aanwezigheid van methaan (CH<sub>4</sub>), lachgas (N<sub>2</sub>O) en kooldioxide (CO<sub>2</sub>).
- Tijdens de tweede meting (van 3 t/m 5 oktober 2014) is voor de analyse van de broeikasgasemissies gebruik gemaakt van een meetmethode die werkt volgens de 'fourier transformed infrared technology (FTIR). Daarmee is het mogelijk om continue de concentratie van bovengenoemde gassen te bepalen.

De broeikasgasconcentraties zijn uitgewerkt tot gemiddelde concentraties per etmaal. Deze waarden zijn niet gecorrigeerd voor de achtergrond waarde omdat er geen concentraties van de inkomende lucht zijn gemeten. Derhalve hebben de uitkomsten geen absolute waarde maar kunnen alleen gebruikt worden in onderlinge vergelijking onder de aanname dat er zich buiten de meetunits, in de rest van de stal, geen wezenlijke concentratieverschillen voordoen.

### 3.4.3 Zwavelwaterstof

De concentratie van zwavelwaterstof (H<sub>2</sub>S) is gedurende de proefperiode wekelijks in zowel de proefafdeling als de referentieafdeling net boven de roosters gemeten met gasdetectiebuisjes (Kitagawa) met een meetbereik van 0,5 - 40 ppm.

### 3.4.4 Menging van mest in kelder

Voor bepaling van het mengeffect zijn in zowel de proefafdeling als de referentieafdeling monsters genomen van zowel de bovenlaag van de mest als van het hele mestvolume in de kelder. Dat laatste is gebeurd door een monster te nemen van de hele mestkolom (inclusief toplaag). Monsters zijn genomen op 1 september 2014 (tegen het einde van de periode van intensief Aeromixen, vlak voor aanvang van de proefperiode) en op 6 oktober (bij afronding van de proefperiode) en geanalyseerd door het milieulaboratorium van Wageningen UR op droge stof (DS), ruw as (As), stikstof (N-Totaal), fosfaat (P), kali (K), ammonium (N-NH<sub>4</sub>), nitraat (N-NO<sub>3</sub>) en nitriet (N-NO<sub>2</sub>).



## 4 Resultaten en discussie

### 4.1 Landbouwkundige gegevens

In elk van de afdelingen waren tijdens de onderzoeksperiode 16 melkgevende dieren gehuisvest. De dagelijkse voergift per koe aan het voerhek was als volgt opgebouwd: 10 kg ds graskuil, 4 kg ds snijmais, 1 kg stro en 1 kg soja. De melkproductie lag gemiddeld op 24 kg per dag. Het tankureumgetal lag rond 21 mg. De wateropname was 113 liter per dier per dag voor de Aeromix-afdeling en 116 liter per dier per dag voor de referentie afdeling.

**Tabel 4.1**

*Overzicht landbouwkundige gegevens.*

	Aeromix	Referentie
Aantal koeien	16	16
Melkproductie	kg/dier/dag	24,0
Tankureum	mg/100 kg melk	21
Wateropname	l/dier/dag	116
Bezinklaag (korst) uit kelder verwijderd	Ja	Nee
Gebruik roosterschuiif	Ja	Nee

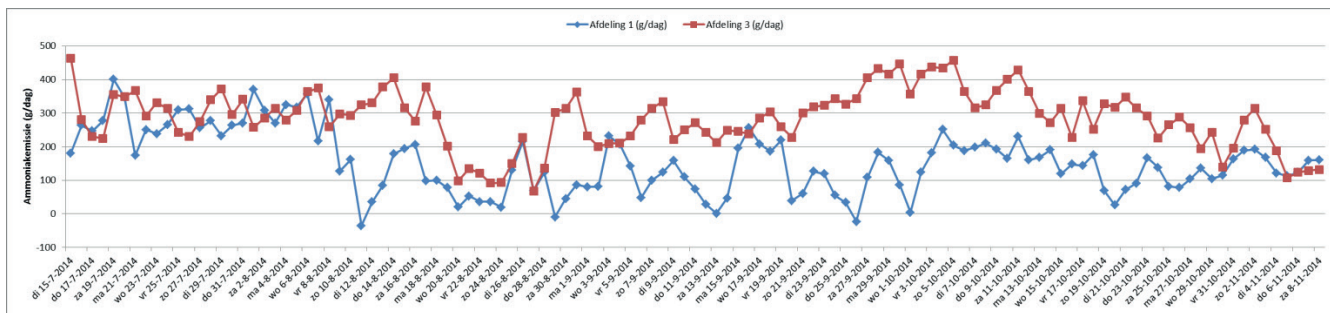
### 4.2 Ammoniakemissie

In figuur 4.1 is het verloop van de ammoniakemissie per dag voor de twee afdelingen weergegeven gedurende het tijdvak van 15 juli t/m 8 november 2014. In blauw het emissieverloop van de afdeling met Aeromix, in rood het emissieverloop van de referentieafdeling.

In figuur 4.1 is te zien dat de ammoniakemissies van beide afdelingen in het begin nagenoeg gelijk zijn. Daarna zakt de emissie in de Aeromix afdeling. Dit is als de montage van het Aeromix-systeem van start gaat, de mestput is leeggezogen en het voorscherm van de unit geopend is. De gemeten emissie zakt dan bijna naar het 0-niveau. Er is in die periode dan ook geen sprake van betrouwbare meetresultaten omdat met een geopend voorscherm er geen controle is op de luchtstromen in de unit. Op 23 augustus wordt de montage afgerond en een laag gemixte verse drijfmest van ca. 50 cm terug in de kelder gepompt. In de referentieafdeling is tijdens de montageperiode alleen de mest uit de kelder afgevoerd en vervangen door eenzelfde laag van ca. 50 cm gemixte verse drijfmest. De Aeromix wordt dan gedurende 10 dagen op een intensief mixen programma gezet. Het emissieniveau in beide afdelingen zakt in die periode, maar blijft relatief dicht bij elkaar.

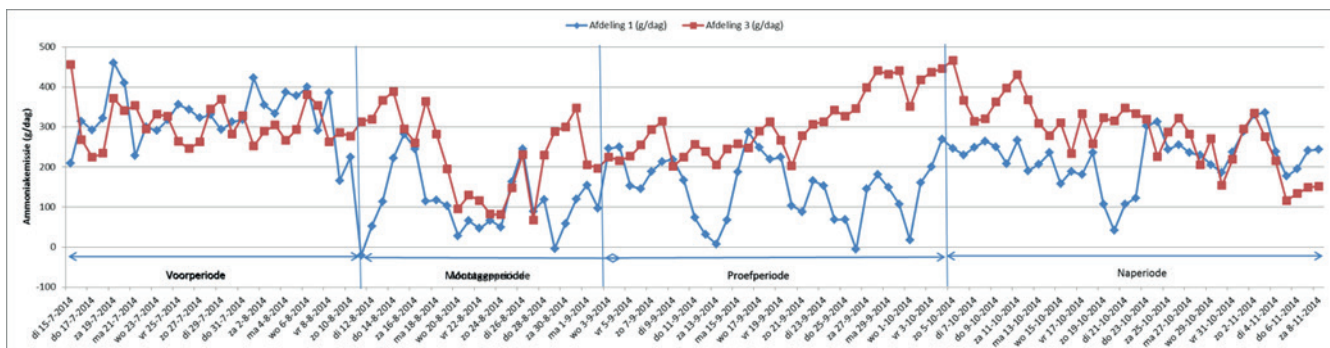
Vanaf 3 september is de Aeromix op het reguliere mixen ingesteld waarbij alleen gedurende de nachtperiode kortstondig werd gemixt. Wat opvalt is dat er in die afdeling een emissiepatroon zichtbaar wordt met relatief grote pieken en diepe dalen. Het is een patroon met een regelmaat van 5 – 8 dagen. Dit zaagtandpatroon eindigt rond het moment dat het mixen met de Aeromix op 6 oktober wordt gestaakt. We hebben hiervoor geen verklaring kunnen vinden, maar het lijkt sterk gerelateerd aan het gebruik van de Aeromix, ook omdat het niet in die mate terug te vinden is bij de referentieafdeling.

Na stopzetting van het dagelijks mixen in de Aeromixafdeling op 6 oktober, zien we dat de emissies uit beide afdelingen geleidelijk weer dicht bij elkaar komen en vanaf de laatste week van oktober niet wezenlijk meer van elkaar verschillen.



**Figuur 4.1** Verloop van de ammoniakemissie per dag (ongecorrigeerd) van de Aeromix-afdeling (blauw) en de Referentieafdeling (rood)

Tijdens controle van de resultaten na afloop van de proef bleek dat de meetwaarden van sommige meetpunten nog niet stabiel genoeg waren. De NOx-analyser bemonstert de verschillende emissiemeetpunten volgens een vast schema met een vooraf ingesteld interval van 3 minuten. Gedurende die 3 minuten "spoelt" de NOx-analyser de meetkamer met lucht uit de volgende te meten afdeling om aan het einde daarvan de NOx-concentratie vast te leggen (van waaruit de NH<sub>3</sub>-concentratie wordt gecalculleerd). Tijdens die controle bleken de meetwaarden van enkele meetpunten na 3 minuten spoeltijd nog wat te veranderen. Daarom is gedurende ca. 14 dagen met een langere intervaltijd gewerkt om de meetwaarden na 3 en na 5 minuten intervaltijd met elkaar te kunnen vergelijken. Uit de analyse van die data kwam naar voren dat afwijkingen goed correcteerbaar waren, met behulp van een correctiefactor die per meetpunt kon worden vastgesteld. De doorgevoerde correcties hebben overigens beperkte gevolgen voor de emissiereductie tussen beide afdelingen. Het verloop van de ammoniakemissies na correctie is weergegeven in figuur 4.2. In deze figuur zijn ook de 4 perioden opgenomen waarin het onderzoek is opgedeeld. De gecorrigeerde waarden zijn als uitgangspunt genomen voor verdere data analyse.



**Figuur 4.2** Verloop van de gecorrigeerde ammoniakemissie per dag van de Aeromix-afdeling (blauw) en de referentieafdeling (rood)

#### 4.2.1 Waargenomen emissiereductie

In tabel 4.2 zijn de gemiddelde etmaalemissies van ammoniak en hun standaardafwijking (SD) weergegeven per periode, van de Aeromix-afdeling (unit 1) en de referentieafdeling (unit 3). De verschillen zijn in de vorm van reductiepercentages weergegeven.

**Tabel 4.2**

Gemiddelde ammoniakemissie (g/dag) en het reductiepercentage de Aeromix afdeling tijdens verschillende perioden (SD = standaard deviatie).

Periode		Aeromix afdeling	SD	Referentie afdeling	SD	NH <sub>3</sub> - Reductie	SD
A	Voorperiode	324,7	67,0	306,4	53,5	-6%	29%
B	Montageperiode	110,0	79,6	230,7	101,8	52%	36%
C	Proefperiode	153,0	80,5	310,0	83,3	51%	32%
D	Naperiode	220,9	103,3	281,2	101,9	21%	38%
Reductie (C vs A)		53%		-1%			

De gemiddelde ammoniakemissie van de Aeromix afdeling tijdens de proefperiode bedroeg 153 gram per dag, die van de referentieafdeling 310 gram. Het gemiddelde verschil in emissie tussen beide afdelingen bedroeg daarmee 157,0 g NH<sub>3</sub>/dag. De emissiereductie van de Aeromix afdeling bedraagt daarmee 51% ten opzichte van de referentieafdeling. De bijbehorende standaardafwijking van de gemiddelde etmaalreductie bedraagt 32%.

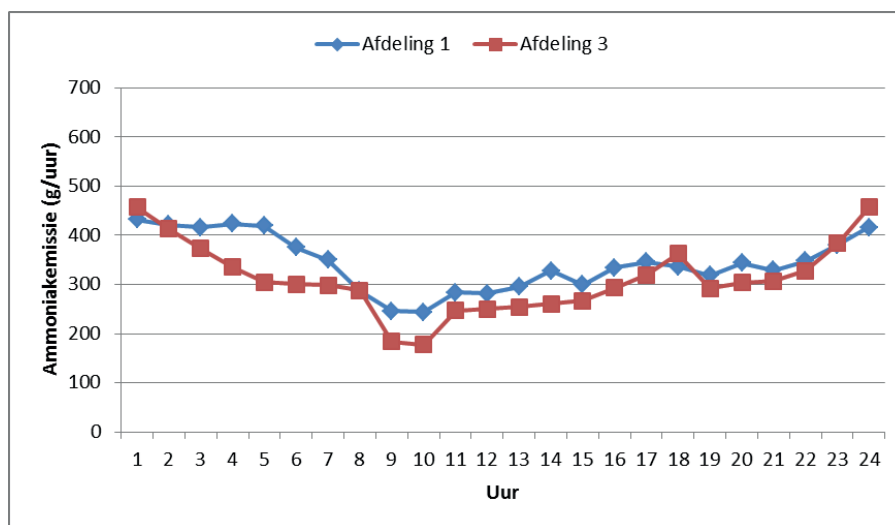
Uit een vergelijking binnen de Aeromix afdeling tussen periode A (referentie) en C (proef) komt een behandelingseffect van de Aeromix van 53% emissiereductie naar voren. Dit, terwijl de emissie in de referentieafdeling is in periode C vergelijkbaar met die in periode A.

Beide benaderingen duiden op een vergelijkbaar behandelingseffect van iets meer dan 50 % emissiereductie.

De emissie in de Aeromix afdeling laat grotere schommelingen zien ten opzichte van het gemiddelde dan de emissie van de referentieafdeling. De emissie is zelfs in een aantal gevallen negatief. Negatieve emissie kunnen in principe niet optreden. Een aantal van die gevallen is te verklaren doordat op dat moment het systeem werd gemonteerd. Maar ook tijdens de proefperiode zelf zijn drie etmalen met zeer geringe emissies waargenomen. Hiervoor is geen duidelijke verklaring te geven.

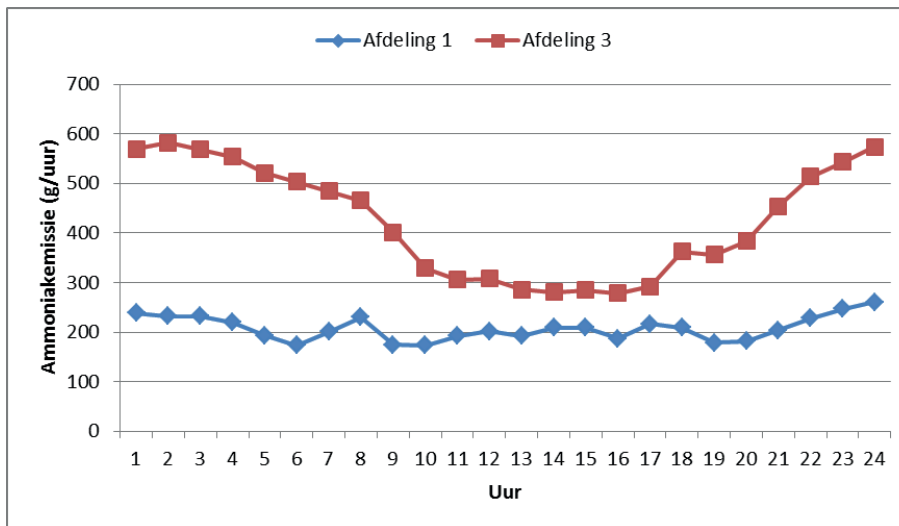
#### 4.2.2 Emissieverloop over het etmaal

Het verloop van de ammoniakemissie over het etmaal is ook in beeld gebracht. Dit is gedaan voor de voorperiode (waarin beide afdelingen identiek waren en de mest niet gemixt werd) en voor de proefperiode (waarin de mest in de Aeromix afdeling dagelijks in de nachtperiode werd gemixt en die in de referentieafdeling niet werd gemixt). Bij het berekenen van het emissieverloop zijn in dit geval ook de emissiegegevens meegenomen tussen 06.00 en 10.00 uur 's ochtends. In figuur 4.3 is het emissieverloop gedurende de voorperiode voor beide afdelingen weergegeven. Figuur 4.4 toont het etmaalverloop tijdens de proefperiode.



**Figuur 4.3** Gemiddelde NH<sub>3</sub>-emissieverloop over het etmaal (omgerekend naar g NH<sub>3</sub>/etmaal) inde voorperiode.

In de voorperiode (figuur 4.3) verlopen de emissies over het etmaal in beide afdelingen vergelijkbaar. Deze neigen in de nachtperiode wat hoger te liggen dan gedurende de dag.

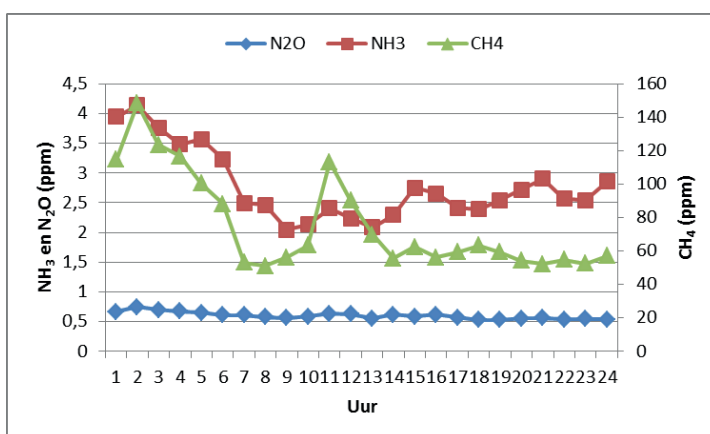


**Figuur 4.4** Gemiddeld NH<sub>3</sub>-emissieverloop over het etmaal (omgerekend naar g NH<sub>3</sub>/etmaal) in de proefperiode.

In de proefperiode (figuur 4.4) laat het emissieverloop van de referentieafdeling hetzelfde patroon zien als tijdens de voorperiode. Het emissieverloop in de Aeromix afdeling daarentegen is nagenoeg vlak, zonder duidelijke pieken of dalen. Hierbij valt op dat de ammoniakwinst met name wordt gerealiseerd tijdens de avond en nachtperiode, wanneer de koeien in de regel minder actief zijn. Verder valt op dat er geen duidelijk effect van het mixen zelf (tussen 23:00 uur en 5:00 uur) waar te nemen is.

#### 4.2.3 Effect van mixen van mest in een onberoerde mestkelder

Na afronding van de waarnemingen in de proefperiode is op 6 oktober in een andere afdeling van de meetunit (afdeling 4) de mest onder de roosters van de unit gemixt met een roostermixer. Dit mixen was kortstondig en vond plaats in de ochtend van 6 oktober 2014 rond 11 uur. In deze afdeling vond geen ander onderzoek plaats op dat moment. Doel van deze eenmalige meting was om het effect van mixen op het vrijkomen van ammoniak en broeikasgassen te verkennen. Het concentratieverloop van deze gassen in het etmaal van 6 oktober is in figuur 4.5 weergegeven.



**Figuur 4.5** Uurgemiddelde concentraties van ammoniak (NH<sub>3</sub>), lachgas (N<sub>2</sub>O) en methaan (CH<sub>4</sub>) in afdeling 4 op 6 oktober 2014 (rond 11.00 uur werd de mest in de mestkelder m.b.v. een roostermixer gemixt).

Uit deze waarneming komt geen duidelijk effect van mixen op de lachgas- en ammoniakconcentratie naar voren. Deze blijven het normale verloop volgen. Wel is een toename zichtbaar van de methaanconcentratie tijdens en direct na het mixen. Dat mag je ook verwachten; methaanproductie zal net als H<sub>2</sub>S resulteren in gasbellen in de mest. Mixen leidt tot een geforceerde verwijdering van

deze gasbellen. Hierbij moeten we de kanttekening plaatsen dat het mixen van mest met een roostermixer, zoals hier uitgevoerd, veel minder mestbeweging, -beroering en menging veroorzaakt dan het mixen volgens het systeem van rondpompen en nodigt uit tot vervolgonderzoek.

#### 4.2.4 Broeikasgassen

De resultaten van de 24-uurs concentratiebepalingen van de broeikasgassen in de uittredende stallucht op 23 september 2014 en in de periode van 3 t/m 5 oktober zijn weergegeven in tabel 4.3.

**Tabel 4.3**

*Concentraties broeikasgassen (ppm) op 23 september en 3 t/m 5 oktober.*

	Aeromix afdeling		Referentie afdeling	
	23 september	3-5 oktober	23 september	3-5 oktober
CH <sub>4</sub>	41,1	42,4	42,4	77,6
CO <sub>2</sub>	814	634	805	844
N <sub>2</sub> O	0,51	0,56	0,47	0,59

De belangrijkste reden om broeikasgasmetingen uit te voeren was de mogelijkheid dat door het inbrengen van lucht, tijdens het mixen, processen op gang komen in de mest waarbij lachgas wordt gevormd. Uit de resultaten van de metingen volgt dat daarvoor geen aanwijzing is. Tijdens de eerste meetperiode zijn geen verschillen in lachgasconcentratie tussen de afdelingen gevonden. Tijdens de tweede meetperiode was de lachgasconcentratie in de referentieafdeling enigszins hoger dan in de Aeromix afdeling.

Datzelfde geldt voor de methaanconcentratie in de uittredende lucht, al is het verschil tussen de afdelingen en de meetmomenten hier groter.

### 4.3 Zwavelwaterstof

In tabel 4.4 zijn de uitkomsten van de metingen van de concentratie aan zwavelwaterstof net boven de roosters in de proefafdeling en de referentieafdeling weergegeven. Die metingen vonden overdag plaats, wanneer er niet werd gemixt.

**Tabel 4.4**

*Concentratie zwavelwaterstof (H<sub>2</sub>S) net boven de roosters (ppm).*

Datum	Aeromix-afdeling	Referentie-afdeling
3-9-2014	0	2
11-9-2014	0	1
18-9-2014	0	2
25-9-2014	0	1
2-10-2014	0	1
<b>Gemiddelde</b>	<b>0,0</b>	<b>1,4</b>

In de afdeling waar het Aeromix systeem dagelijks werd toegepast werd geen H<sub>2</sub>S vlak boven de roostervloer gemeten. In de referentieafdeling bedroeg de concentratie H<sub>2</sub>S gemiddeld 1,4 ppm. Hoewel de verschillen klein zijn is het verschil wel consistent. Dit is niet in overeenstemming met eerdere metingen aan de H<sub>2</sub>S concentratie door Scully et al. (2007). Die vonden geen H<sub>2</sub>S in de lucht vlak boven de roosters in de onberoerde hokken en geringe concentraties H<sub>2</sub>S tijdens het mengen in de hokken waar het Aeromix systeem werd toegepast.

Concentraties in de referentieafdeling zijn zo laag dat hier geen gevaar voor mens of dier van te verwachten is. Hoge concentraties van vrijkomend zwavelwaterstof ontstaan vooral op het moment van mixen van drijfmest nadat deze gedurende lange tijd onberoerd is gelaten.

## 4.4 Menging van mest in kelder

In de tabellen 4.5 en 4.6 is de samenstelling van de mest in de afdeling met Aeromix en de referentieafdeling in zowel de toplaag als in de gehele mestkolom van de mest in de mestkelder weergegeven. In tabel 4.5 na het intensief beluchten tijdens de opstartperiode. In tabel 4.6 aan het einde van de proefperiode.

**Tabel 4.5**

Analyse van mestmonsters genomen op 1 september 2014 (alles in g/kg)

	Aeromix afdeling		Referentie afdeling	
	Toplaag	Hele mestkolom	Toplaag	Hele mestkolom
DS	78,6	66,5	114,7	103,8
As	19,9	18,0	24,6	24,9
N-totaal	3,67	3,13	4,07	4,19
N-NH3	1,51	1,54	1,01	1,60
N-NO3	0,031	0,030	0,030	0,044
N-NO2	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
P	0,571	0,475	0,811	0,706
K	4,55	4,41	4,05	5,35

**Tabel 4.6**

Analyse van mestmonsters genomen op 6 oktober 2014 (alles in g/kg)

	Aeromix afdeling		Referentie afdeling	
	Toplaag	Hele mestkolom	Toplaag	Hele mestkolom
DS	79,6	74,5	124,5	92,8
As	20,6	19,7	27,4	23,3
N-totaal	3,57	3,52	4,25	4,17
N-NH3	1,51	1,63	1,00	1,86
N-NO3	0,027	0,028	0,017	0,038
N-NO2	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
P	0,557	0,526	0,908	0,637
K	4,44	4,46	3,88	5,08

Het verschil tussen de gehalten in de toplaag in verhouding tot de gehalten in het hele volume kan als maat voor menging of ontmenging dienen. Het eerste meetmoment viel vrijwel gelijk met de start van de proefperiode. Het Aeromixsysteem had toen al ongeveer 10 dagen constant gedraaid. Het tweede meetmoment viel vrijwel samen met het einde van de proefperiode.

De menging of ontmenging is het beste te beoordelen aan de gehalten van droge stof (DS) en fosfaat (P) omdat die beide (in deze relatief korte periode) niet betrokken zijn bij processen waar een gedeelte verloren kan gaan. Dit in tegenstelling tot stikstof dat zowel omgezet kan worden in een andere vorm als verloren kan gaan door emissie.

Het gehalte aan fosfaat in de toplaag was op 1 september in de Aeromix afdeling 20% hoger dan het gehalte in het hele mestvolume op datzelfde meetmoment. In de referentieafdeling lag het gehalte aan fosfaat in de toplaag 15% hoger dan het gemiddelde van de hele mestkolom.

Op 6 oktober lag het gehalte aan fosfaat in de toplaag van de Aeromix afdeling nog maar 6% hoger dan het gehalte in het hele mestvolume. In de referentieafdeling lag op die dag het gehalte fosfaat in de toplaag 43% hoger.

Hetzelfde doet zich voor bij het droge stofgehalte. In de Aeromix afdeling lag het gehalte droge stof in de toplaag op 1 september 18% hoger en op 6 oktober 7% hoger dan het gehalte in het hele mestvolume. In de referentieafdeling lag het gehalte droge stof in de toplaag op 1 september 10% hoger en op 6 oktober 34%.

Het verschil tussen toplaag en hele mestvolume neemt in de Aeromix afdeling in de loop van de tijd dus af (menging). In de referentieafdeling neemt het verschil juist toe (ontmenging). Dat komt overeen met de verwachtingen. Van rundermest is bekend dat zich in de loop van de tijd drijfslagen vormen van organisch materiaal (niet verteerde voerresten). De aanname dat het Aeromix systeem een mengend effect heeft op de mest in de kelder wordt door deze waarnemingen ondersteund. Dat fosfaat en droge stof zich gelijk gedragen is niet verwonderlijk omdat fosfaat verbonden is aan de organische stof in de mest die onderdeel uitmaakt van de droge stof.

---

Voor kali (K), ammoniumstikstof (N-NH<sub>3</sub>) en nitriet (N-NO<sub>2</sub>) zijn er geen wezenlijke verschillen tussen de twee meetmomenten maar wel duidelijke verschillen tussen de Aeromix afdeling en de referentieafdelingen. In de Aeromix afdeling is het aandeel in toplaag en totale mestvolume vrijwel gelijk terwijl in de referentieafdeling het totale mestvolume een hoger gehalte heeft dan de toplaag. Dit kan op extra NH<sub>3</sub>-verlies uit de toplaag duiden. Mogelijk speelt ook hier het mengende effect van het Aeromix systeem een rol maar heeft het effect al in de dagen voor de start van de proefperiode plaatsgevonden omdat deze componenten mobieler zijn dan het eerder genoemde fosfaat en droge stof.

Er zijn geen wezenlijke verschillen in nitrietgehalte tussen afdelingen en meetmomenten. De veronderstelling dat door het inblazen van lucht nitrificatie op gang zou kunnen komen met mogelijke risico's op de emissie van lachgas wordt door deze resultaten niet ondersteund.

## 4.5 Discussie

Het onderzoek laat een duidelijk verschil tussen onderzoeksafdeling en referentieafdeling zien, waarbij de ammoniakuitstoot van de onderzoeksafdeling ca. 50% bedraagt van die van de referentieafdeling. In deze paragraaf bediscussiëren we of dit effect helemaal toegeschreven mag worden aan het Aeromix systeem of dat andere factoren hieraan mogelijk bij hebben gedragen.

Er zou bijvoorbeeld sprake kunnen zijn geweest van een afdelingseffect waardoor de ammoniakuitstoot van de afdeling waarin het Aeromix systeem is toegepast, al structureel lager zou zijn dan die van de referentieafdeling. In de opzet van het onderzoek is dit zo goed mogelijk ondervangen door de emissies van beide afdelingen in de voorperiode met elkaar te vergelijken. Hieruit bleek dat de emissies van beide afdelingen goed overeen kwamen.

Een andere vertoebelende factor zou kunnen zijn dat er in de referentieafdeling geen roosterschuif werd toegepast, terwijl deze in de Aeromix afdeling wél werd toegepast en om de twee uur een schuifbeweging maakte. De roosterschuif in de Aeromix afdeling is echter in alle 4 perioden toegepast. De eventuele effecten daarvan op de ammoniakuitstoot maken derhalve ook onderdeel uit het afdelingseffect dat in de effectvergelijking in de voorperiode is onderzocht. Daarom is het niet aannemelijk dat de roosterschuif in belangwekkende mate heeft bijgedragen aan de emissiereductie die in de proefperiode is vastgesteld. Ook in ander onderzoek, o.a. in de jaren negentig op het IMAG-proefbedrijf in Duiven, is geen substantieel emissie-effect van een roosterschuif bij toepassing op een betonroostervloer gevonden.

Als laatste mogelijk vertoebelende factor kan worden genoemd dat tijdens de montageperiode de mestkanalen in de Aeromix afdeling zijn schoongemaakt (d.w.z. van een dikke achtergebleven mestkorst zijn ontdaan) terwijl dit niet in de referentieafdeling is gebeurd. Daar zijn de mestkanalen alleen zo goed mogelijk leeggezogen. In beide afdelingen is vervolgens weer een laag gemixte mest teruggebracht ter dikte van ca. 50 cm. Niet bekend of er in de referentieafdeling ook een vergelijkbaar dikke korst of bezinklaag in de mestkelder aanwezig was als in de Aeromix afdeling. Maar er is geen reden om te veronderstellen dat dit niet het geval was. Het was in geen van beide afdelingen mogelijk om de mest goed te mixen voor deze uit de mestkanalen werd weggepompt. Het verwijderen van de bezinklaag in de afdeling waar het Aeromixsysteem in werd toegepast vond plaats vlak voor de installatie van het Aeromix systeem. Eventuele effecten daarvan zijn daarom verstrengeld met die van de Aeromix. Vraag is dan of van die bezinklaag of korst (of de afwezigheid daarvan) een substantieel effect op de ammoniakemissie mag worden verwacht. Die vraag is niet goed te beantwoorden.

Kenmerk van een bezinklaag is dat deze een hoog percentage droge stof bevat. Is dit voornamelijk anorganische stof (as), waaronder zandresten, dan zal deze weinig actief zijn en weinig ammoniakemissiepotentieel hebben. Bestaat deze laag vooral uit mestkorst, dan bevat deze veel organische droge stof en is het realistisch dat er (anaerobe) afbraakprocessen in kunnen plaatsvinden waarbij ook ammoniak wordt gevormd via de afbraak van eiwitten. We hebben hier niet vastgesteld waar de achtergebleven laag uit bestond, maar het meest waarschijnlijk is dat het om achtergebleven mestkorstmateriaal gaat. Wel laat het onderzoek zien dat enkele weken na het beëindigen van het Aeromixen, de ammoniakemissies uit beide afdelingen weer op een vergelijkbaar niveau komen. Dit is in ieder geval een indicatie dat de bezinklaag in de referentieafdeling geen lange termijn effecten te weeg brengt. Maar het biedt geen zekerheid dat de ammoniakreductie tijdens de proefperiode niet mede veroorzaakt is door de afwezigheid van de bezinklaag.

---

Bovenstaande discussie is vooral relevant omdat de kelderbijdrage aan de totale ammoniakemissie uit een melkveestal tot op heden in orde van grootte van 30 tot max 50 % wordt verondersteld. De overige ammoniakemissie is vooral afkomstig van de (rooster)vloer. Bij de gemiddelde emissiereductie van ruim 50 %, die in dit onderzoek is vastgesteld, zou het gunstige scenario (de helft van de normale emissie is afkomstig uit de kelder) betekenen dat de kelderemissie bij toepassing van het Aeromixsysteem helemaal wordt uitgeschakeld. Dit lijkt onwaarschijnlijk.

Het onderzoek biedt geen duidelijkheid over het reductieprincipe op basis waarvan de afname van de emissie verklaard kan worden. Dat was ook niet het doel van deze proef en vraagt nader onderzoek. Op basis van de hoeveelheid ingebrachte lucht (en het aandeel zuurstof daarin) i.c.m. de intensiteit waarmee dat gebeurt, is een substantiële omzetting van ammoniak naar stikstofgas via nitrificatie en denitrificatie vrijwel uitgesloten. De resultaten van de lachgasmetingen en die van de mestanalyses bevestigen dit. Er geen reden is om aan te nemen dat er grote hoeveelheden nitraat en lachgas (dat vaak als tussenproduct van de (de)nitrificatie ontsnapt) geproduceerd worden.

Waarschijnlijker is dat het mengeffect een rol speelt. Het mengend effect van het Aeromix systeem is op basis van de mestmonsters waarneembaar. Het ontstaan van een drijfslag wordt daarmee tegengewerkt en bovendien wordt de verse urine dagelijks met de overige mest gemengd. Beide aspecten zouden er toe kunnen leiden dat er geen sterk emitterende urinefilm in de bovenste mestlaag kan ontstaan. Door Blanes-Vidal (2012) is in een proefopstelling met varkensmest een duidelijke reductie van de ammoniakemissie na mixen van de mest gemeten. Dit effect hield ongeveer 1 dag aan. In dit onderzoek nam het uitdoven 2 tot 3 weken in beslag. Voordat er conclusies voor de werking van Aeromix aan verbonden kunnen worden moet er meer duidelijk worden over de achterliggende processen. Dit vraagt nader onderzoek.

Tenslotte moet er op worden gewezen dat het gemeten effect van toepassing is op de omstandigheden waaronder het onderzoek is uitgevoerd. Het is in feite maar 1 meting, weliswaar onder zo goed mogelijk gecontroleerde omstandigheden. De case-control opzet is beperkt uitgevoerd zonder een wisseling van de behandeling tussen beide afdelingen, waardoor er sprake kan zijn van verstrengeling van effecten, zoals hierboven besproken. Niet bekend is of het effect jaarrond vergelijkbaar is, en of bv de rantsoensamenstelling van invloed is op het resultaat. Ook vraagt het waargenomen emissiepatroon, met toenemende en weer dalende etmaal-emissies, nader aandacht. Een verklaring hiervoor ontbreekt.



---

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

Uit het oriënterend emissieonderzoek naar het Aeromix-systeem in de emissiemeetunit op Dairy Campus komt naar voren dat:

- De afdeling waarin het Aeromix systeem werd toegepast een substantieel lagere ammoniakuitstoot werd gemeten dan in de referentieafdeling. Het gemeten emissieverschil ten opzichte van de referentieafdeling bedroeg tijdens de proefperiode van 5 weken gemiddeld 51 %;
- Er sprake was van een aanzienlijke spreiding (standaarddeviatie 32 %) in de emissiereductie tussen afzonderlijke meetdagen;
- De emissiereductie met name in de avond- en nachtperiode optreedt;
- Het ammoniakemissie van de Aeromix afdeling een veel wisselender verloop liet zien dan de ammoniakemissie van de referentieafdeling. Hiervoor is geen duidelijke verklaring te geven.
- Het Aeromix systeem in de betreffende afdeling niet tot een toename van de broeikasgasemissies leidt;
- Er geen eenduidig effect op de methaanemissie uit de Aeromix-afdeling naar voren kwam: bij de ene meting was deze gelijk aan die van de referentieafdeling, bij de tweede meting substantieel lager;
- Het Aeromixsysteem bijdraagt aan een goede verticale menging van de mest en voorkomt dat er een drijf laag in het mestkanaal ontstaat;
- Er geen zwavelwaterstof werd gemeten direct boven de roostervloer, en de geur in de afdeling met Aeromix door de dierverzorgers als prettiger werd ervaren;
- Er in dit onderzoek een relatief lang na-ijleffect van de ammoniakreductie na beëindiging van het mixen met de Aeromix is waargenomen;
- Het niet aannemelijk is dat het gevonden emissieverschil het gevolg is van nitrificatie – denitrificatie van ammoniak, maar een andere chemische of biologische oorzaak heeft. Dit dient nader onderzocht te worden.

### 5.2 Aanbevelingen

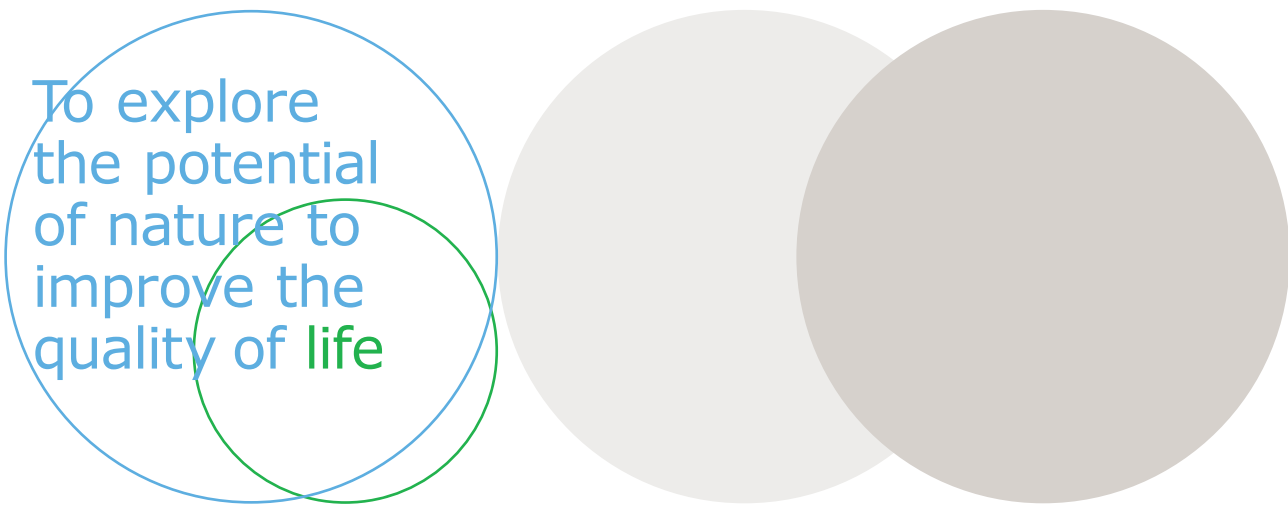
Het Aeromix-systeem oogt derhalve zeer perspectiefvol, niet alleen als mengtechniek voor rundveemest, maar ook om de ammoniak- en mogelijk ook de methaanemissie uit de melkveehouderij te reduceren. Nader onderzoek naar de effectiviteit van het systeem onder verschillende omstandigheden én om het principe achter de emissiereducties vast te stellen, wordt sterk aanbevolen. Hierbij wordt gedacht aan een combinatie van nader onderzoek onder gecontroleerde (case – control) omstandigheden met ontkoppeling van afdelings- en behandelingseffect, en metingen in de praktijk.

---

# Literatuur

H. Scully, J.P. Frost, S. Gilkinson, J.J. Lenehan (2007). Research into hydrogen sulphide gas (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, Ierland.

Blanes-Vidal, V., M. Guàrdia, X. R. Dai, and 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: 408–418.



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

---

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 338  
6700 AH Wageningen  
T 0317 48 39 53  
info.livestockresearch@wur.nl  
www.wageningenUR.nl/livestockresearch

Livestock Research Rapport 850



---

Wageningen UR 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 UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO 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, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR 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.

---