Onderzoek naar het effect van ACNV op de ammoniakemissie bij melkveestallen

J. Mosquera, J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, H.J.C. van Dooren, N.W.M. Ogink

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Onderzoek naar het effect van ACNV op de ammoniakemissie bij melkveestallen

J. Mosquera, J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, H.J.C. van Dooren, N.W.M. Ogink

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Mest Milieu en Klimaat' (projectnummers BO-20-004-022-ASG-LR-19 en BO-20-004-022-ASG-V-2)

Wageningen Livestock Research
Wageningen, oktober 2016

Rapport 982

Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van metingen die in het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) door Wageningen UR Livestock Research op twee melkveebedrijven zijn uitgevoerd om het effect van ACNV (Automatische Controle Natuurlijke Ventilatie) op de ammoniakemissie te bepalen. De ammoniakemissies bij gebruik van het ACNV systeem (ACNV aan) week niet aantoonbaar af van de emissie bij regulier ventilatiemanagement.

Summary

This report summarizes the results of measurements at two dairy farms to determine the effect of the ACNV-system (Automatically Controlled Natural Ventilation) on the ammonia emissions. Ammonia emissions using the ACNV system did not differ significantly from emissions under conventional ventilation management.

© 2016 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 gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	Materiaal en methoden	10
2.1	Stal- en bedrijfssituatie	10
2.1.1	Meetlocatie 1	10
2.1.2	Meetlocatie 2	12
2.1.3	Emissiereductie principe	13
2.2	Metingen	14
2.2.1	Meetstrategie	14
2.2.2	Ammoniakconcentraties	14
2.2.3	Kooldioxideconcentraties	15
2.2.4	Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	15
2.2.5	Productiegegevens	15
2.2.6	Luchtsnelheidssensoren	16
2.3	Verwerking gegevens	16
2.3.1	Emissies	16
2.3.2	Emissiereductie	17
2.3.3	Statistische toetsing	17
3	Resultaten en discussie	19
3.1	Meetlocatie 1	19
3.2	Meetlocatie 2	23
3.3	Discussie	25
4	Conclusies en aanbevelingen	28
	Literatuur	29
	Bijlage 1 Foto's van de bedrijfssituatie	30
	Bijlage 2 Beschrijving meetmethoden en praktische uitvoering	35

Woord vooraf

In de Programmatistische Aanpak Stikstof (PAS) is er behoefte om emissiearme voer- en managementmaatregelen te beoordelen en op te nemen in een overzicht vergelijkbaar met de opname van stalsystemen in bijlage 1 van de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav). Het gaat hierbij om maatregelen die niet gebonden zijn aan een specifiek stalstelsel. Binnen dit kader is Wageningen UR Livestock Research gevraagd metingen uit te voeren om het effect van ACNV (Automatische Controle Natuurlijke Ventilatie) ten opzichte van regulier ventilatiemanagement op de ammoniakemissie uit melkveestallen te onderzoeken. Bij ACNV wordt de stand van de gordijnen aan de hand van weersomstandigheden automatisch geregeld door een procescomputer die voorzien is van een vastgesteld regelalgoritme. In dit rapport worden de resultaten van deze metingen weergegeven.

Dr. J. Mosquera
Projectleider

Samenvatting

In de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) is er behoefte om emissiearme voer- en managementmaatregelen op te nemen in een overzicht. In dit kader zijn door Wageningen UR Livestock Research metingen uitgevoerd om het effect van het ACNV-systeem (Automatische Controle Natuurlijke Ventilatie) op de ammoniakemissie uit melkveestallen te bepalen ten opzichte van regulier ventilatiemanagement. In het ACNV-systeem wordt de stand van de gordijnen automatisch geregeld met een procescomputer voorzien van een regelalgoritme. Het beoogde emissiereductie principe van dit systeem is gebaseerd op het beperken van het ventilatieniveau in de stal, met als gevolg een vermindering van de luchtbeweging over het emitterend oppervlak en daardoor een lagere ammoniakemissie.

Voor de emissiemetingen van ammoniak is zoveel mogelijk aangesloten bij het huidige protocol zoals beschreven in Ogink e.a. (2013). Dit houdt in dat zes 24-uurs metingen zijn uitgevoerd, verspreid over het jaar en dat aan de landbouwkundige randvoorwaarden is voldaan. De metingen zijn op twee locaties volgens het zogenaamde case-control in de tijd uitgevoerd, waarbij de metingen met en zonder ACNV op achtereenvolgende dagen zijn uitgevoerd. Bij de metingen die dienden als controle (ACNV uit) werden de instellingen van de ventilatiegordijnen genomen die de veehouder anders naar eigen inzicht gebruikt zou hebben (referentie).

Op basis van de metingen zijn bij meetlocatie 1 de volgende jaaremissies bepaald (permanent opstallen; gemiddelde emissie $\pm$ standaarddeviatie tussen metingen):

ACNV aan: $11,3 \pm 2,3$ kg per dierplaats per jaar

ACNV uit: $11,0 \pm 1,6$ kg per dierplaats per jaar

Voor meetlocatie 1 waren de emissies voor het ACNV systeem (ACNV aan) gemiddeld 2,8% hoger dan bij het referentiesysteem (ACNV uit). De verschillen in ammoniakemissie waren echter niet significant ($P > 0,10$).

Op basis van de metingen zijn bij meetlocatie 2 de volgende jaaremissies bepaald (permanent opstallen; gemiddelde emissie $\pm$ standaarddeviatie tussen metingen):

ACNV aan: $11,4 \pm 5,1$ kg per dierplaats per jaar

ACNV uit: $9,6 \pm 1,7$ kg per dierplaats per jaar

Voor meetlocatie 2 waren de emissies voor het ACNV systeem (ACNV aan) gemiddeld 19% hoger dan bij het referentiesysteem (ACNV uit). De verschillen in ammoniakemissie waren echter niet significant ($P > 0,10$).

Op basis van de beschikbare meetgegevens (van beide meetlocaties) werd een gemiddelde ammoniakemissie (gemiddelde emissie $\pm$ standaarddeviatie tussen meetlocaties) berekend van $11,4 \pm 0,1$ kg per dierplaats per jaar voor de optie ACNV aan (ACNV-systeem ingeschakeld), en $10,3 \pm 1,0$ kg per dierplaats per jaar voor de optie ACNV uit (instellingen van de boer). De gemeten emissies voor het ACNV systeem (ACNV aan) waren gemiddeld 10% hoger dan bij het referentiesysteem (ACNV uit). De verschillen in ammoniakemissie waren echter niet significant ($P > 0,10$).

Het onderscheidend vermogen van de meetopzet, gebaseerd op de gemeten emissiewaarden gerapporteerd in deze studie, is 16%. Dat betekent dat met deze meetopzet maatreeleffecten minimaal 16% moeten zijn om voldoende kans ($P < 0,05$) te kunnen worden onderscheiden van geen effect.

Ook het ventilatiedebiet en de luchtsnelheid in de stal waren niet significant verschillend tussen de behandelingen.

De verwachting was dat het ACNV-systeem een reductie in NH_3 -emissie tot 10% zou kunnen bereiken. Eerdere nog niet gepubliceerde metingen op meetlocatie 2 laten een relatie tussen ammoniakemissie en ventilatiedebiet zien. De ammoniakemissie was over het algemeen lager bij een lager ventilatiedebiet. Die eerdere metingen op locatie 2 laten echter ook zien dat een grote verandering in mengverhouding nodig is om een significant verschil in ammoniakemissies te kunnen krijgen. Om de verwachte emissiereductie van 10% te realiseren moet het ventilatiedebiet met 25% afnemen. In onderhavige studie waren de verschillen tussen de instellingen van de boer (ACNV-uit) en van het ACNV-systeem te klein. Er was te weinig verschil in gordijnstand tussen 'case' (ACNV aan) en 'control' (ACNV-uit). Aanbevolen wordt om de relatie tussen ventilatiedebiet (en bijbehorende gordijnstand) en ammoniakemissie verder te onderbouwen en als uitgangspunt te nemen voor inschatting van het effect van ACNV.

De vertaling van de ventilatiecriteria in een concreet regelalgoritme zou in een praktijkstudie verder onderzocht kunnen worden.

1 Inleiding

In de Programmatistische Aanpak Stikstof (PAS) is er behoefte om emissiearme voer- en managementmaatregelen op te nemen in een overzicht met (voldoende onderbouwde) effecten van deze maatregelen op de ammoniakemissie. Daarmee kunnen deze maatregelen door veehouders worden toegepast om de uitstoot van ammoniak te verminderen. Het gaat hierbij om maatregelen die leiden tot minder ammoniakemissie uit de veehouderij via emissiearm voer of aanvullende managementmaatregelen. Aanvullende managementmaatregelen betreffen maatregelen die niet gebonden zijn aan de uitvoering van een stalsysteem, zoals bijvoorbeeld een aangepast lichtregime of de inzet van toevoegmiddelen aan mest. Het is de bedoeling dat belanghebbende partijen deze maatregelen kunnen voorstellen voor opname in een nieuw overzicht, op een wijze die vergelijkbaar is met de aanvraag en opname van stalsystemen in de bijlage 1 van de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) via de technische advies commissie Tac-Rav. Dit type maatregelen wordt ook ingezet voor de zogenoemde stoppersregeling, met als verschil dat in de stoppersregeling minder eisen worden gesteld aan de onderbouwing van de emissiefactor van betreffende voer- en managementmaatregelen.

Aangenomen wordt dat in natuurlijk geventileerde melkveestallen de ammoniakemissie kan worden teruggedrongen door vermindering van de luchtbeweging over het emitterend oppervlak. Naar verwachting kan dit bereikt worden door verkleining van de ventilatieopeningen. Wanneer de stand van de gordijnen automatisch wordt geregeld met een procescomputer voorzien van een regelalgoritme wordt dit een ACNV-systeem genoemd (Automatische Controle Natuurlijke Ventilatie). Het regelalgoritme berekent de stand van de gordijnen als functie van de windsnelheid en luchttemperatuur buiten de stal. De maximale ventilatieopeningen zijn opgenomen in een vorige versie van de Maatlat Duurzame Veehouderij (MDV). De grootte van het reducerende effect van ACNV op ammoniakemissie uit de stal is tot dusver echter niet met directe metingen onderbouwd. Op basis van expert-judgement is de verwachting dat met ACNV een reductie tot 10% mogelijk is (Informatieblad Proeftuin Natura2000 Overijssel).

In het kader van het ontwikkelen van voer- en managementmaatregelen bestaat er behoefte aan het vaststellen van het emissiereductie effect van ACNV volgens het meetprotocol voor NH_3 -emissiefactoren of een daaraan, qua meetnauwkeurigheid, gelijkwaardige methode. In het huidige protocol voor meting van ammoniakemissie (Ogink et al., 2013) wordt de mogelijkheid geboden een meetopzet te kiezen met twee melkveestallen volgende de case-control aanpak. Deze methode heeft een groter onderscheidend vermogen dan de standaardaanpak met vier melkveestallen maar gaat uit van een duidelijk gedefinieerde referentie die gelijktijdig wordt gemeten.

De doelstelling van dit onderzoek is het vaststellen van de emissiereductie van ACNV op de ammoniakemissie uit natuurlijk geventileerde melkveestallen. Het beoogde emissiereducerend principe van dit systeem is gebaseerd op het beperken van het ventilatieniveau, en daarmee de luchtbeweging over het emitterende oppervlak, door de stand van de ventilatiegordijnen afhankelijk te maken van de weersomstandigheden. In de praktijk moet dit leiden tot een lager ventilatieniveau en, naar verwachting, een lagere ammoniakemissie.

2 Materiaal en methoden

In de praktijk komt het niet of nauwelijks voor dat er op één bedrijf twee gelijkwaardige melkveestallen beschikbaar zijn die gelijktijdig gemeten kunnen worden. Daarom is bij de opzet van deze meting gekozen voor een aanpak waarbij de behandeling (case) en referentie (control) in de tijd afgewisseld worden. Er zijn twee bedrijven geselecteerd en in de hierna volgende paragrafen en de bijbehorende bijlagen wordt een beschrijving gegeven van de stal en de bedrijfssituatie (2.1; Bijlage 1), van de metingen (2.2; Bijlage 2) en van de wijze van verwerking van de gegevens (2.3).

2.1 Stal- en bedrijfssituatie

2.1.1 Meetlocatie 1

De metingen vonden plaats in een ligboxenstal voor melkvee. In deze stal kunnen de dieren vrij bewegen en hebben de beschikking over 169 ligboxen. De stal was ingedeeld met één voergang, drie rijen ligboxen aan één zijde van de voergang (zuidwest) en één rij ligboxen aan de andere zijde (3+1) (Bijlage 1). In het gedeelte met drie rijen ligboxen waren de melkgevende koeien gehuisvest (122 ligboxen). Het loopgedeelte aan deze kant is op te delen in één lange loopgang langs het voerhek, en één korte loopgang tussen twee rijen ligboxen die tevens diende als wachtruimte tijdens het melken. Via doorsteken was het mogelijk om van de ene loopgang naar de andere te komen. Er werd gebruik gemaakt van een separatieruimte wanneer dit noodzakelijk was voor een korte behandeling van een koe. De loopvloer bestond uit een traditionele betonnen roostervloer. Aan de andere zijde van de voergang was een deel van de ruimte beschikbaar als strohok (twee stuks) voor de opvang van koeien rondom het afkalven en voor zieke koeien. De overige ruimte was ingericht met ligboxen (47 ligboxen) en een traditionele betonnen roostervloer. In dit deel werden de droogstaande koeien en het drachtige jongvee gehuisvest.

De melkkoeien werden tweemaal per dag in een melkput gemolken. In de stal was altijd voer aan het voerhek beschikbaar, drinkwater was beschikbaar via waterbakken die in de doorsteken zijn geplaatst. Voor het dagelijks gebruik is 4,1 m² per dier beloopbaar vloeroppervlak beschikbaar. Dit is hoger dan de waarde waarop de Rav-emissiefactor voor overige huisvestingssystemen is gebaseerd (3,5 m² per dier), en de beschikbare ruimte (3,1 m² per dier variërend van 2,6 tot 3,6 m² per dier) gerapporteerd in Mosquera et al. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting.

Het rantsoen voor de melkkoeien bestond tijdens de metingen uit zowel ruwvoer als krachtvoer. Ruwvoer werd aan het voerhek en krachtvoer in krachtvoerboxen in de stal verstrekt. De hoeveelheid krachtvoer werd op basis van productieniveau en leeftijd, per dier verstrekt. Tijdens de stalperiode werd eenmaal per dag rond 11:00 uur ruwvoer op de voergang gebracht. In de zomermaanden werd gedurende minimaal 120 dagen overdag weidegang toegepast en werd aanvullend ruwvoer aan het voerhek gevoerd. Het voer werd regelmatig aangeschoven en voordat er opnieuw werd gevoerd werden voerresten naar het jongvee geschoven. Tijdens emissiemetingen in de zomermaanden bleven de koeien binnen.

De roostervloer werd met een vast programma geschoven met een robot mestschuif. Bij het voerhek werd minder vaak geschoven dan achter de boxen en in de doorlopen. In Tabel 1 zijn de belangrijkste kenmerken van dit bedrijf op een rij gezet.

Tabel 1 Belangrijkste kenmerken van de onderzochte melkveestal meetlocatie 1.

Kenmerk	Bedrijfswaarde
Aantal dierplaatsen (ligboxen)	169
Waarvan voor melkgevende dieren	122
Waarvan voor droogstaande dieren/drachtig jongvee	47
Beschikbaar oppervlak voor dagelijks gebruik	
Ligboxen bij dubbele rij boxen (m ² per dier)	2,9
Ligboxen bij enkele rij boxen (m ² per dier)	3,1
Loopoppervlak (m ² per dier)	4,1
Beschrijving loopoppervlak voor dagelijks gebruik	100% traditionele roostervloer
Materiaal loopoppervlak voor dagelijks gebruik	Beton
Separatieruimtes ¹	
Aantal strohok(ken)	2
Totaal oppervlak strohok(ken) (m ²)	106
Gemiddelde melkproductie (kg/dier/dag)	29
Ureumgehalte melk (jaargemiddelde) (mg/100g)	21

¹ De dierplaatsen van de separatieruimtes en strohokken zijn niet meegenomen in de emissieberekeningen

De stal werd natuurlijk geventileerd. In de zijwanden was vanaf 1,2 meter vanaf de grond (boven peil) tot aan de dakgoot (3,25 meter boven peil) grof vogelgaas bevestigd, waardoor de inlaat nagenoeg open was. De totale lengte van de regelbare ventilatieopening aan de zuidwestzijde was 52,2 meter. Daarmee is het regelbare ventilatieoppervlak aan deze zijde van de stal 107,0 m². De totale lengte van de regelbare ventilatieopening aan de noordoostzijde was 71,6 meter waarmee het totale ventilatieoppervlak op 146,8 m² komt. De inlaatopeningen worden beperkt door 100% dicht zeil voor het vogelgaas omhoog te trekken. Op basis van de instelling van de maatlat duurzame veehouderij (MDV) werd de inlaatopening automatisch geregeld. Op basis van windsnelheid en temperatuur wordt de gewenste inlaatopening ingesteld. In het midden van de stal is op het dak over de gehele lengte een open nok geplaatst (Figuur 1). De dak van de stal is volledig geïsoleerd. Alle deuren van de stal waren tijdens de metingen gesloten. Alleen tijdens het voeren staan de grote deuren open. In de zomerperiode tussen mei en oktober liepen de melkkoeien gedurende de dag buiten in de wei. Tijdens de metingen werd geen weidegang toegepast en bleven de dieren binnen. Aan het einde van het weideseizoen ging gedurende een periode van enkele weken een deel van het drachtige jongvee dag en nacht naar buiten.

Figuur 1 Buitenkant van de stal meetlocatie 1.

2.1.2 Meetlocatie 2

De metingen vonden plaats in een ligboxenstal voor melkvee. In deze stal kunnen de dieren vrij bewegen en hebben de beschikking over 217 ligboxen, 6 separatieboxen en 2 strohokken. De stal was ingedeeld met twee voergangen aan beide buitenkanten van de stal en in het midden drie dubbele rijen ligboxen (0+6+0) (Bijlage 1). Aan één van de kopeinden van de stal waren 45 ligboxen beschikbaar voor de huisvesting van jongvee (leeftijd tussen ongeveer 10 maanden en 2 jaar). Aan het andere kant van de stal werden de droge koeien en afkalvende en zieke dieren gehuisvest. Hiervoor waren 34 ligboxen en 2 strohokken beschikbaar. De separatieboxen werden gebruikt voor het wisselen van de dieren tussen de verschillende huisvestingsgroepen en voor een korte behandeling (inseminatie, klauwbekappen of dierenarts). De overige 138 ligboxen waren beschikbaar voor de melkgevende koeien die werden gemolken door 3 melkrobots. Het loopgedeelte van de stal is op te delen in vier lange gangen en doorsteken om van de ene loopgang naar de andere te komen. De loopruimtes bij de verschillende huisvestingsgroepen bestond uit een traditionele betonroostervloer. Deze vloer werd iedere drie uur met behulp van een mestrobot geschoven. Zowel roostervloer als ligboxen zijn onderkelderd (2 m diep). De voergang is niet onderkelderd. Voor het dagelijks gebruik is 3,9 m² per dier beloopbaar vloeroppervlak beschikbaar. Dit beloopbaar oppervlak is berekend over alle huisvestingsgroepen. Dit is hoger dan de waarde waarop de Rav-emissiefactor voor overige huisvestingssystemen is gebaseerd (3,5 m² per dier) en de waarden (3,1 m² per dier variërend van 2,6 tot 3,6 m² per dier) gerapporteerd in Mosquera et al. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting.

In deze stal was er altijd ruwvoer aan het voerhek beschikbaar, drinkwater was beschikbaar via waterbakken die in de doorsteken waren geplaatst. Het rantsoen voor de melkkoeien bestond uit zowel ruwvoer als krachtvoer. Ruwvoer werd aan het voerhek en krachtvoer in de melkrobot verstrekt. De hoeveelheid krachtvoer werd op basis van productieniveau en leeftijd, per dier verstrekt. Het ruwvoer werd eenmaal per dag, rond 11:00 uur, verstrekt. Het voer werd regelmatig aangeschoven en voordat er opnieuw werd gevoerd werden voerresten naar het jongvee in de naastgelegen stal geschoven. Op dit bedrijf werd geen weidegang toegepast.

Alle melkgevende koeien werden gemiddeld 2,6 keer per dag door de melkrobot gemolken. In Tabel 2 zijn de belangrijkste kenmerken van dit bedrijf op een rij gezet.

Tabel 2 Belangrijkste kenmerken van de onderzochte melkveestal meetlocatie 2.

Kenmerk	Bedrijfswaarde
Aantal dierplaatsen (ligboxen)	217
Waarvan voor melkgevende dieren	138
Waarvan voor droogstaande dieren/drachtig jongvee	79
Beschikbaar oppervlak voor dagelijks gebruik	
Ligboxen (m ² per dier)	2,65
Loopoppervlak (m ² per dier)	3,9
Beschrijving loopoppervlak voor dagelijks gebruik	100% traditionele roostervloer
Materiaal loopoppervlak voor dagelijks gebruik	Beton
Separatieruimtes ¹	
Aantal ligboxen	6
Totaal gerelateerd roosteroppervlak (m ²)	16,5
Aantal strohok(ken)	2
Totaal oppervlak strohok(ken) (m ²)	128
Totaal gerelateerd roosteroppervlak (m ²)	16,5
Gemiddelde melkproductie (kg/dier/dag)	26
Ureumgehalte melk (jaargemiddelde) (mg/100g)	23

¹ De dierplaatsen van de separatieruimtes en strohokken zijn niet meegenomen in de emissieberekeningen

De stal werd natuurlijk geventileerd. In beide zijwanden was vanaf 1,0 meter vanaf de grond (boven peil) tot aan de dakgoot (4,0 m boven peil) grof vogelgaas bevestigd, waardoor de inlaat nagenoeg open was. De totale lengte van de ventilatieopening was aan beide zijden van de stal 63 meter. Daarmee is het regelbare ventilatieoppervlak aan beide zijden van de stal 189 m². Op basis van de instelling van de maatlat duurzame veehouderij (MDV) werden de inlaatopening automatisch geregeld (ACNV). Op basis van windsnelheid en temperatuur wordt de gewenste inlaatopening ingesteld. De inlaatopening wordt beperkt door 100% dicht zeil voor het vogelgaas omhoog te trekken. In het midden van de stal is op het dak over de gehele lengte een open nok geplaatst (Figuur 2). De dak van de stal is volledig geïsoleerd. Alle deuren van de stal waren tijdens de metingen gesloten. Alleen tijdens het voeren stonden de grote deuren open.

Figuur 2 Buitenkant van de stal meetlocatie 2.

2.1.3 Emissiereductie principe

Het beoogde emissie reducerende principe van het ACNV systeem (zoals in de Maatlat Duurzame Veehouderij beschreven) is gebaseerd op het beperken van het ventilatieniveau door het de opening van de gordijnen afhankelijk te maken van de weersomstandigheden (temperatuur, windsnelheid, regen). De gedachte daarbij is dat de ventilatieopeningen daarmee over het algemeen niet zo ver geopend worden als gebruikelijk is bij melkveestallen. Hierdoor zal minder worden geventileerd,

waardoor de lucht met lagere snelheid langs de emitterende oppervlakken (vloer en mestkelder) zal bewegen. Dit verkleint de kans op vervluchtiging van ammoniak van het vloer en uit de mestkelder.

2.2 Metingen

2.2.1 Meetstrategie

Wat betreft de meetstrategie is zoveel mogelijk aangesloten bij het protocol zoals beschreven in Ogink e.a. (2013). Dit houdt in dat er zesmaal een meting met een minimum duur van 24 uur is uitgevoerd. Bij meetlocatie 1 zijn de metingen in een periode van 1,5 jaar (april 2013 – oktober 2014) uitgevoerd, bij meetlocatie 2 in een periode van 5 maanden (juli 2014 – november 2014). Voor de metingen is de zogenaamde case-control in de tijd gekozen, waarbij de metingen met en zonder ACNV op achtereenvolgende dagen werden uitgevoerd. Bij de metingen die dienden als controle (zonder ACNV) werden de instellingen van de ventilatiegordijnen genomen die de veehouder anders naar eigen inzicht gebruikt zou hebben.

Een emissiemeting bestond uit het meten van de concentratie van CO₂ en NH₃ in de ingaande en de uitgaande stallucht (zie hoofdstuk 2.2.2). Zoals gebruikelijk bij natuurlijk geventileerde stallen is de interne tracergas ratiomethode gebruikt om de emissie uit de stal te bepalen (zie hoofdstuk 2.2.3). Als tracergas is de door de dieren en mest geproduceerde koolstofdioxide (CO₂) gebruikt. Daarnaast voldeed de meetlocatie aan een aantal landbouwkundige randvoorwaarden (Ogink e.a., 2013).

2.2.2 Ammoniakconcentraties

Meetlocatie 1

De NH₃-concentratie in de stal (uitgaande lucht) werd op twee verschillende plaatsen in de stal gemeten, namelijk in het midden van de stal recht onder de nok (nokventilatie), en aan de zijkant van de stal (dwarsventilatie). Voor de bepaling van de NH₃-concentratie in het midden van de stal onder de nok werd een open-pad laser (GasFinderFC, Boreal Laser Inc.) gebruikt. De NH₃-concentratie aan de zijkant van de stal werd zowel met de nat-chemische methode (op twee punten in de stal in enkelvoud) als met een fotoakoestische multigasmonitor (Innova 1312; verzamelleiding, 3 punten in de stal) (zie Tabel 3) gemeten. De achtergrondconcentratie werd met behulp van een nat-chemische methode over de 24-uurs meetperiode op één punt in duplo (bovenwinds, aan de buitenkant van de stal) bepaald. In Bijlage 2 worden het meetprincipe en de praktische uitvoering van de toegepaste meetmethoden nader toegelicht. Tijdens de eerste drie metingen werkte het systeem in de nok niet optimaal, en werden de emissies op basis van de metingen aan de zijkant van de stal bepaald. Voor de laatste drie metingen zijn de metingen in het midden van de stal onder de nok gebruikt.

Meetlocatie 2

De NH₃-concentratie in de stal (uitgaande lucht) werd in het midden van de stal, op een hoogte van 3 meter zowel met een open-pad laser (GasFinderFC, Boreal Laser Inc.) als met een NOx-monitor (verzamelleiding van 5 punten verdeeld over de lengte van de stal) gemeten (zie Tabel 3). Bij de eerste vijf metingen zijn de data uit de laser gebruikt voor de emissieberekeningen. Door een technische storing was in meting 6 geen bruikbare data uit de NH₃-laser beschikbaar, en is daardoor gebruik gemaakt van de data uit de NOx-monitor. Voor de ingaande lucht (achtergrondconcentratie) werd NH₃ niet gemeten, maar is een constante (landelijk gemiddelde) NH₃-waarde van 0,13 ppm aangenomen, zoals aanbevolen in Ogink e.a. (2014). In Bijlage 2 worden het meetprincipe en de praktische uitvoering van de toegepaste meetmethoden nader toegelicht.

Tabel 3 Overzicht van de toegepaste meetmethoden voor NH₃-concentratie metingen.

Meetpunt	Meetlocatie	Meetfrequentie	Meetmethode	Praktische uitvoering	Literatuur
Stal (midden)	1+2	Continue	Open-pad laser	Gemiddelde concentratie over de gehele lengte van de stal.	Mosquera et al., 2002
Stal (midden)	2	Continue	NOx monitor	Vijf meetpunten verdeeld over de lengte van de stal d.m.v. een verzamelleiding naar de monitor gebracht.	Mosquera et al., 2002
Stal (zijkant)	1	Continue	Fotoakoestische multigasmonitor	Drie meetpunten verdeeld over de lengte van de stal d.m.v. een verzamelleiding naar de monitor gebracht.	Klooster et al., 1992; Mosquera et al., 2002
Stal (zijkant)	1	Verzamelmonster (24 uur)	Nat-chemisch	Twee meetpunten (in enkelvoud) in de stal	Wintjens, 1993
Achtergrond	1	Verzamelmonster (24 uur)	Nat-chemisch	Eén meetpunt (duplo) buiten de stal	Wintjens, 1993

2.2.3 Kooldioxideconcentraties

Op beide locaties werd de CO₂-concentratie in de stal (uitgaande stallucht) op dezelfde meetpunten als NH₃ (semi-) continue met een open-pad laser (GasFinderFC, Boreal Laser Inc.) gemeten (Zie Tabel 4). Bij meetlocatie 1 werd de CO₂-concentratie ook aan de zijkant met een fotoakoestische multigasmonitor gemeten (Innova 1312; verzamelleiding, 3 punten in de stal). De CO₂-concentratie in de buitenlucht (ingaaende lucht) werd bij meetlocatie 1 (semi-) continue met een fotoakoestische multigasmonitor gemeten (Innova 1312; verzamelleiding). Bij meetlocatie 2 werd de ingaande lucht voor CO₂ niet gemeten maar is een constante (landelijk gemiddelde) waarde van 417 ppm aangenomen, zoals aanbevolen in Ogink e.a. (2014).

Tabel 4 Overzicht van de toegepaste meetmethoden voor CO₂-concentratie metingen.

Meetpunt	Meetlocatie	Meetfrequentie	Meetmethode	Praktische uitvoering	Literatuur
Stal (midden)	1+2	Continue	Open-pad laser	Gemiddelde concentratie over de gehele lengte van de stal.	Vera, 2011
Stal (zijkant)	1	Continue	Fotoakoestische multigasmonitor	Drie meetpunten verdeeld over de lengte van de stal d.m.v. een verzamelleiding naar de monitor gebracht.	Vera, 2011
Achtergrond	1	Continue	Fotoakoestische multigasmonitor	Twee meetpunten (in enkelvoud) in de stal	Vera, 2011

2.2.4 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Temperatuur (°C) en relatieve luchtvochtigheid (%) van de ingaande (1 meetpunt) en uitgaande stallucht (1 meetpunt) werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS; zie Bijlage 2), met een nauwkeurigheid van respectievelijk ± 1,0 °C en ± 2%. De data werden in een datalogstelsel (Campbell Scientific Inc., Logan, VS) opgeslagen.

2.2.5 Productiegegevens

Gedurende de meetperioden werden de volgende gegevens geregistreerd:

- Aantal melkgevende koeien in de stal
- Aantal droge koeien in de stal
- Aantal jongvee in de stal
- Gemiddelde melkproductie per dier
- Samenstelling van de melk
- Voerrantsoen

2.2.6 Luchtsnelheidssensoren

Bij meetlocatie 1 zijn luchtsnelheidssensoren (Schmidt Type: SS 20.011) geplaatst om de luchtsnelheid in de stal bij verschillende standen van het ACNV-systeem te meten (zie bijlage 1 voor plattegrond van de stal en de locatie van de sensoren). De windsnelheid werd op drie verschillende plaatsen in de stal gemeten, elk met 4 sensoren verdeeld over de hele lengte van de stal op een hoogte van ongeveer 3 meter boven de roosters:

- Boven de buitenste loopgang in het gedeelte voor melkgevende dieren
- Boven de loopgang achter het voerhek in het gedeelte voor melkgevende dieren.
- Boven de mestgang in het gedeelte voor droge koeien en jongvee .

2.3 Verwerking gegevens

2.3.1 Emissies

Om de emissies te bepalen is de interne tracergas ratiomethode toegepast, met CO₂ als (natuurlijk geproduceerd) tracergas. De tracergasratio methode maakt gebruik van een mengverhouding (in de praktijk wordt vaak de term ventilatiedebiet gebruikt wanneer echter de mengverhouding wordt bedoeld) om de emissies te bepalen. Dit is met name van belang voor situaties waar menging in de stal niet homogeen is. In dit geval zou (concentratiegradiënt in de stal) zou de schatting van de mengverhouding afhankelijk van de plaatsing van de meetpunt zijn. Echter, ervan uit gaan dat zowel het tracergas (in dit geval CO₂) als het gas dat gemeten wordt (in dit geval NH₃) zich op dezelfde manier in de stal verspreiden, en dat de bronnen (van beide gassen) in de stal wel homogeen verspreid zijn, kan de mengfactor (K_m) worden gebruikt om de ammoniakemissie te bepalen:

$$K_m = \frac{PCO_2}{[CO_2]_{stal} - [CO_2]_{buiten}}$$

Per locatie (i=1,2) werden per meetdag (j=1, 2, ..., 6) en behandeling (k=1, referentie: ACNV uit; k=2, behandeling: ACNV aan) de emissies (E_{ijk}; in kg per dierplaats per jaar) van NH₃ bepaald op basis van de geschatte CO₂-productie in de stal (PCO_{2ijk}; in m³ CO₂/uur), en de gemiddelde concentratie (24-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht (C^{stal}_{ijk}; in ppm) en in de ingaande lucht (C^{buiten}_{ijk}; in ppm) van CO₂ en NH₃ volgens:

$$E_{ijk} = PCO_{2ijk} * \frac{(NH_3)_{ijk}^{stal} - (NH_3)_{ijk}^{buiten}}{(CO_2)_{ijk}^{stal} - (CO_2)_{ijk}^{buiten}} * \frac{17 \text{ mg NH}_3}{24 \text{ m}^3 \text{ NH}_3} * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} * \frac{24 \text{ uur}}{1 \text{ dag}} * \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} * \frac{1}{\text{dierplaats}}$$

Oftewel:

$$E_{ijk} = K_{mijk} * ((NH_3)_{ijk}^{stal} - (NH_3)_{ijk}^{buiten}) * \frac{17 \text{ mg NH}_3}{24 \text{ m}^3 \text{ NH}_3} * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} * \frac{24 \text{ uur}}{1 \text{ dag}} * \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} * \frac{1}{\text{dierplaats}}$$

De ammoniakemissies per behandeling (referentie: ACNV uit; behandeling: ACNV aan) en meetlocatie (E_{ik}) werden daarna bepaald door de emissies van alle zes meetperioden te middelen. Daarna zijn de ammoniakemissies per behandeling (E_k) bepaald als de gemiddelde emissie van beide meetlocaties (±standaard deviatie tussen meetlocaties).

De CO₂-productie in de stal werd met behulp van CIGR rekenregels (CIGR, 2002; Pedersen e.a., 2008) bepaald op basis van het gemiddelde gewicht van de dieren (kg), de gemiddelde drachtijd (dagen in dracht) en de melkproductie (kg melk/dag per dier):

$$PCO_2 (\text{melkvee}) = 0,2 * (5,6 \text{ m}^{0,75} + 22 * Y_1 + 1,6 * 10^{-5} * p^3) / 1000$$

$$PCO_2 (\text{droogstaande koeien}) = 0,2 * (5,6 \text{ m}^{0,75} + 1,6 * 10^{-5} * p^3) / 1000$$

$$PCO_2 (\text{jongvee}) = 0,2 * \left(7,64 \text{ m}^{0,69} + Y_2 * \left(\frac{23}{M} - 1 \right) * \left(\frac{57,27 + 0,302 * m}{1 - 0,171 * Y_2} \right) + 1,6 * 10^{-5} * p^3 \right) / 1000$$

m = gemiddelde gewicht van de dieren
 Y_1 = melkproductie [kg/dier/dag]
 p = dagen in dracht
 M = energiewaarde van het voer [MJ/kg drogestof]
 Y_2 = gewichtstoename [kg/dag]

Wanneer deze gegevens niet beschikbaar waren zijn de volgende (constante) waarden gebruikt:

- Melkgevende koeien: $m=625$ kg; $p=160$ dagen in dracht
- Droogstaande koeien: $m=625$ kg; $p=160$ dagen in dracht
- Jongvee: $m=500$ kg; $p=140$ dagen in dracht; $M=10$ MJ/kg drogestof; $Y_2 = 0,6$ kg/dag

De totale CO₂-productie in de stal (m³ CO₂/uur) werd bepaald als:

$$\begin{aligned}
 PCO_2 = & PCO_2 \text{ (melkvee)} * \text{aantal melkkoeien} \\
 & + PCO_2 \text{ (droogstaande koeien)} * \text{aantal droogstaande koeien} \\
 & + PCO_2 \text{ (jongvee)} * \text{aantal jongvee}
 \end{aligned}$$

Aangezien tijdens de metingen de staltemperatuur (t_{stal}) anders is dan 20°C, moet een correctiefactor worden toegepast om de werkelijke CO₂-productie PCO₂ in de stal te bepalen:

$$PCO_2 = PCO_2 * (1000 + 4 * (20 - t_{\text{stal}})) / 1000$$

2.3.2 Emissiereductie

De reductie in ammoniakemissie door gebruik te maken van het ACNV-systeem werd bepaald door:

1. Eerst de emissiereductie voor ammoniak ($ER(NH_3)_{ij}$) per meetlocatie ($i=1, 2$) en meetdag ($j=1, 2, \dots, 6$) te bepalen volgens:

$$ER(NH_3)_{ij} = 100 \times \left(1 - \frac{E(NH_3)_{ij2}}{E(NH_3)_{ij1}} \right)$$

Met $E(NH_3)_{ij2}$ de emissie met ACNV aan, en $E(NH_3)_{ij1}$ de emissie met ACNV uit (referentie).

2. Vervolgens de emissiereducties per meetlocatie te bepalen door de gemiddelde emissie (per locatie) van alle 6 metingen te nemen.
3. Tenslotte, de gemiddelde emissiereductie van het ACNV-systeem te bepalen door de gemiddelde van de emissiereductie van beide meetlocaties te nemen ($\pm$ standaard deviatie tussen meetlocaties).

2.3.3 Statistische toetsing

Met een gepaarde dubbelzijdige t-toets is bepaald of de ammoniakemissie op de dagen waarop het ACNV-systeem in werking was afweek van de ammoniakemissie op de dagen waarop het ACNV-systeem uit was. Uitgangspunt daarbij is dat de 6 gepaarde waarnemingen per meetlocatie onafhankelijk van elkaar zijn. De t-waarde wordt berekend volgens:

$$t = \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^6 (E_{i,j,2} - E_{i,j,1})}{12} - D_0 \right)}{\frac{\sigma_d}{\sqrt{12}}}$$

Daarbij staat in de teller het gemiddelde van de emissieverschillen per meting tussen ACNV-systeem aan ($k=2$) en ACNV-systeem uit ($k=1$) minus de waarden van dit verschil onder H_0 (nulhypothese). In de noemer staat de standaarddeviatie van de emissieverschillen gedeeld door de wortel van het aantal waarnemingen ($n=12$). Hiermee wordt de nulhypothese getoetst dat het ACNV systeem de ammoniakemissie niet verlaagd. Als $t > t_{(1-\alpha, n-1)}$ wordt de nulhypothese verworpen en wijkt de

ammoniakemissie wanneer het ACNV-systeem aan staat significant af van de ammoniakemissie wanneer het ACNV-systeem uit staat. De t-waarde bij $\alpha=0,05$ en $n=12$ is gelijk aan 2,20.

Op eenzelfde manier werd getoetst of het verschil in luchtsnelheid tussen de referentiesituatie (ACNV uit) en de behandeling (ACNV aan) significant afweek van nul

Een dubbelzijdige gepaarde t-toets werd ook gebruikt om te toetsen of het verschil in ammoniakemissie van de referentiesituatie (ACNV uit) en de behandeling (ACNV aan) significant afweek van de officiële emissiewaarde voor dit huisvestingssysteem zoals opgenomen in de Regeling ammoniak en veehouderij. De significantie van de verschillen werd bepaald op basis van de geschatte P-waarde:

- $P < 0,05$: significante verschillen
- $0,05 < P < 0,10$: aanwijzing voor significantie / zwak significantie
- $P > 0,10$: verschillen zijn niet significant

Het onderscheidingsvermogen van het systeem gebaseerd op de gemeten emissiewaarden werd bepaald door:

1. Het proportionele effect van het systeem op de emissie (emissies met ACNV aan gedeeld door emissies ACNV uit) voor alle metingen ($n=12$) op Ln-schaal uit te drukken en de standaard fout (se) van deze waarden te bepalen:

$$se = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

Op normale schaal geeft dit een indicatie van de variatiecoëfficiënt van de metingen.

2. Het onderscheidingsvermogen (OM) van het systeem wordt dan bepaald als:

$$OM = se * t_{(1-\alpha, n-1)}\text{-waarde}$$

3 Resultaten en discussie

3.1 Meetlocatie 1

In Tabel 5 worden de omstandigheden weergegeven waaronder de metingen zijn verricht. De metingen zijn over een periode van 244 dagen over het gehele jaar verdeeld (Figuur 3 links). Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 225 dagen. De onderbezetting in de stal (aantal aanwezige dieren ten opzichte van aantal ligboxen) varieerde tussen 4% en 31% (laatste meting), met een gemiddelde van 13%. Er zijn geen ligboxen (en bijbehorende loopoppervlakte) afgedekt tijdens de metingen. Het aantal droogstaande dieren was voor alle meetdagen lager dan 25% (gemiddeld: 13%). De onderbezetting is hoger dan de voorgestelde 10% in Ogink e.a. (2013), maar vergelijkbaar voor de situatie met en zonder ACNV. Het aantal drachtig jongvee was met uitzondering van meting 1 lager dan 30% (gemiddeld van alle metingen: 22%) van het aantal melkkoeien (droogstaand plus melkgevend). De (daggemiddelde) CO₂-concentratie in de stal lag gedurende alle meetdagen onder de 3000 ppm. Het ureumgehalte in melk tijdens de metingen lag tussen 20 en 24 mg/100g (gemiddeld: 22) en was lager dan de waarden (24 variërend van 14 tot 35 mg/100 ml) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010). De gemiddelde melkgift per koe was tijdens de metingen altijd hoger dan 20 kg melk/dag (gemiddeld: 30 kg melk/koe/dag) en was vergelijkbaar met de waarden (29 variërend van 22 tot 34 kg/koe/dag) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010). Het rantsoen bestond gedurende alle metingen voor meer dan 50% uit ruwvoer. Tijdens de metingen werd geen (drijf)mest uit de mestput verwijderd. De metingen hadden betrekking op permanent opstallen (dieren continue in de stal tijdens de meetdagen).

In figuur 3 (rechts) worden de gemeten buitentemperaturen vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation De Bilt. De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten (10,5 °C bij ACNV aan; 10,6 °C bij ACNV uit) is vergelijkbaar met het langjarige gemiddelde in Nederland over het gehele jaar (10,1 °C).

Figuur 3 Verdeling van de metingen over het jaar (links), en de buitentemperatuur (rechts) vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation De Bilt (www.knmi.nl; als stippellijn weergegeven). Gesloten symbolen: ACNV aan; Open symbolen: ACNV uit.

Tabel 5 Algemene bedrijfsgegevens van bedrijfslocatie 1 met de meetomstandigheden bij ACNV inwerking (ACNV AAN, middendeel tabel) en ACNV niet in werking (ACNV UIT, onderste deel tabel).

		Meting					
	Kenmerken	1	2	3	4	5	6
BEDRIJFSGEGEVENS	Aantal ligboxen / dierplaatsen	169	169	169	169	169	169
	Melkkoeien	108	116	113	115	122	110
	melkgevende koeien	99	105	98	96	102	95
	droge koeien	9	11	15	19	20	15
	Drachtig jongvee	45	35	16	18	35	0
	Weide (aantal uren)	0	0	0	0	0	0
	Afgedekte ligboxen	0	0	0	0	0	0
	Bezettingsgraad	91	89	76	79	93	65
	Aandeel jongvee	42	30	14	16	29	0
	Aandeel droge koeien	8	9	13	17	16	14
	Melkproductie [kg/dier/dag]	30	29	28	29	29	33
	Melk [% eiwit]	3,7	3,7	3,4	3,6	3,5	3,7
	Melk [% vet]	4,2	4.1	4,0	4,2	4,7	4,3
	Ureumgehalte [mg/100g]	22,0	22,0	23,0	24,0	21,0	20,0
	Voergift (kg ds /dier/dag)	19,1	19,1	21*	21*	21,9	19.7
	Aandeel ruwvoer (% op ds basis)	72	72	70	70	76	73
	Verhouding kuilvoer : mais	42-58	42-58	36-46	36-46	55-45	51-49
	Aandeel vers gras (op ds basis)	0	0	30	30	0	0
ACNV AAN	Datum	11-4-2013	16-5-2013	15-7-2013	25-9-2013	11-12-2013	28-10-2014
	Dag in het jaar	101	136	196	268	345	301
	T-buiten [°C; KNMI; 1,5m]	6,9	10,3	18,3	14,2	3,1	10,0
	RV-buiten [%; KNMI; 1,5m]	95,5	92,6	74,0	84,2	97,1	90,4
	T-binnen [°C]	14,9	13,7	20,0	16,2	11,7	n.b.**
	RV-binnen [%]	99,8	100,0	81,4	99,7	99,8	n.b.**
	Windrichting [KNMI; 10 m]	224	239	213	236	166	194
	Windsnelheid [m/s; KNMI; 10 m]	4,2	3,6	1,7	3,2	3,4	4,2
	Ventilatieopening (gordijnen, % open)	9	49	93	95	6	51
	Luchtsnelheid (midden in de stal; m/s)	0,16	0,25	0,28	0,31	0,06	0,71
	CO ₂ stalconcentratie [ppm]	1540	666	606	645	1603	670
	CO ₂ achtergrond [ppm]	450	427	396	402	419	419
ACNV UIT	Datum	12-4-2013	15-5-2013	14-7-2013	24-9-2013	10-12-2013	27-10-2014
	Dag in het jaar	102	135	195	267	344	300
	T-buiten [°C; KNMI; 1,5m]	7,7	10,6	16,7	14,1	3,3	11,3
	RV-buiten [%; KNMI; 1,5m]	90,5	78,1	75,4	91,3	94,2	88,2
	T-binnen [°C]	10,3	13,2	18,6	16,2	10,2	n.b.**
	RV-binnen [%]	97,8	91,3	94,0	100,0	100,0	n.b.**
	Windrichting [KNMI; 10 m]	238	152	185	111	165	177
	Windsnelheid [m/s; KNMI; 10 m]	4,8	3,3	2,1	1,2	2,6	4,0
	Ventilatieopening (gordijnen, % open)	50	77	100	82	20	93
	Luchtsnelheid (midden in de stal; m/s)	0,38	0,32	0,54	0,15	0,07	0,91
	CO ₂ stalconcentratie [ppm]	568	625	572	986	1669	575
	CO ₂ achtergrond [ppm]	439	427	392	403	415	415

* geschatte opname doordat opname van gras bij weidegang onbekend is.

** n.b.: data niet beschikbaar

In Figuur 4 wordt per meting de gemiddelde luchtsnelheid in de stal weergegeven. Het luchtsnelheidspatroon is voor al de drie plaatsen in de stal (ingaaende lucht (zijkant), uitgaande lucht (zijkant), midden in de stal (centraal onder de nok, op drie meter hoogte vanuit de vloer; stal midden) vergelijkbaar. De luchtsnelheid is, met uitzondering van meting 4, altijd lager wanneer het ACNV-systeem is ingeschakeld (ACNV aan). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het verschil in opening

van de gordijnen die de lucht in- en uitlaat reguleren. Zoals in Tabel 5 weergegeven zijn de gordijnen altijd meer gesloten indien het ACNV-systeem is ingeschakeld, met uitzondering van meting 4.

Figuur 4 Gemiddelde NH_3 -emissie op alle verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: ACNV aan; Open symbolen: ACNV uit.

De gemiddelde luchtsnelheden door de hele stal zijn gemiddeld lager wanneer het ACNV-systeem aan is. Deze verschillen (zie Tabel 6) zijn echter niet significant ($P > 0,10$).

Tabel 6 Overzicht van de gemiddelde luchtsnelheden in m/s.

Meetpunt	ACNV Aan	ACNV Uit
Zijkant inlaat	0,33	0,42
Nok	0,30	0,39
Zijkant uitlaat	0,33	0,42
Gemiddeld	0,38	0,49

In Tabel 7 en Figuur 5 worden de ammoniakemissies op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens werd een gemiddelde ammoniakemissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $11,3 \pm 2,3$ kg/dierplaats per jaar voor de optie ACNV aan (ACNV-systeem ingeschakeld), en $11,0 \pm 1,6$ kg per dierplaats per jaar voor de optie ACNV uit (instellingen van de boer). Voor melkvee wordt geen leegstand verrekend (Groenestein en Aarnink, 2008). Voor deze locatie waren de emissies voor het ACNV systeem (ACNV aan) gemiddeld 2,8% hoger dan bij het referentiesysteem (ACNV uit). De verschillen in ammoniakemissie waren echter niet significant ($P > 0,10$).

Tabel 7 Emissies per meetdag bij meetlocatie 1.

		Meting					
Kenmerken		1	2	3	4	5	6
ACNV AAN	Datum	11-4-2013	16-5-2013	15-7-2013	25-9-2013	11-12-2013	28-10-2014
	Dag in het jaar	101	136	196	268	345	301
	NH ₃ stal [ppm]	10,58	2,47	1,55	2,58	8,06	2,45
	NH ₃ buiten [ppm]	0,05	0,06	0,12	0,11	0,02	0,05
	NH ₃ emissie [kg/dpl/jaar]	13,2	13,9	8,0	12,3	9,5	11,0
ACNV UIT	Datum	12-4-2013	15-5-2013	14-7-2013	24-9-2013	10-12-2013	27-10-2014
	Dag in het jaar	102	135	195	267	344	300
	NH ₃ stal [ppm]	1,12	1,64	2,01	5,38	7,07	1,73
	NH ₃ buiten [ppm]	0,02	0,06	0,13	0,12	0,09	0,05
	NH ₃ emissie [kg/dpl/jaar]	11,8	11,0	12,3	10,9	7,9	12,1

Figuur 5 Gemiddelde NH₃-emissie op alle verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: ACNV aan; Open symbolen: ACNV uit.

Figuur 6 laat zien dat hoe groter het (proportionele) verschil in ventilatieopening is (de mate van openstaan van de gordijnen die de lucht in de in- en uitlaatopeningen reguleert), des te groter het (proportionele) verschil in luchtsnelheid tussen de standen ACNV-aan en ACNV-uit is. De patronen zijn voor alle drie plaatsen in de stal waar de luchtsnelheid is gemeten, vergelijkbaar. Dit resulteert echter niet in hogere ammoniakemissies voor grotere (opener) ventilatieopeningen. Figuur 7 laat zien dat zelfs bij een factor 4 hogere luchtsnelheid midden in de stal, lagere ammoniakemissies kunnen ontstaan. Er zijn verschillende factoren die de ammoniakemissie kunnen beïnvloeden, waardoor het beperken van het effect van een bepaalde factor (in dit geval de luchtsnelheid in de stal) niet direct tot lagere ammoniakemissies hoeft te leiden.

Figuur 6 Proportioneel verschil in luchtsnelheid, gemeten op verschillende plaatsen in de stal, ten opzichte van de opening van de gordijnen.

Figuur 7 Gemiddelde NH_3 -emissie op alle verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: ACNV aan; Open symbolen: ACNV uit.

3.2 Meetlocatie 2

In Tabel 8 worden de omstandigheden weergegeven waaronder de metingen zijn verricht. De metingen zijn over een periode van 128 dagen over 5 maanden verdeeld (Figuur 8 links). Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 265 dagen. De onderbezetting in de stal (aantal aanwezige dieren ten opzichte van aantal ligboxen) varieerde tussen 10% en 17%, met een gemiddelde van 15% en waren vergelijkbaar voor de beide omstandigheden (ACNV-aan en ACNV-uit). Er zijn geen ligboxen afgedekt tijdens de metingen. Het aantal droogstaande dieren was voor alle meetdagen lager dan 25% (gemiddeld: 9%). Het aantal drachtig jongvee was altijd lager dan 30% (gemiddeld van alle metingen: 11%) van het aantal melkkoeien (droogstaand plus melkgevend). De (daggemiddelde) CO_2 -concentratie in de stal lag gedurende alle meetdagen onder de 3000 ppm. Het ureumgehalte in melk tijdens de metingen lag tussen 19 en 25 mg/100g (gemiddeld: 21) en was lager dan de waarden (24 variërend van 14 tot 35 mg/100 ml) gerapporteerd in Mosquera et al. (2010). De gemiddelde melkgift per koe was tijdens de metingen altijd hoger dan 20 kg melk/dag (gemiddeld: 27 kg melk/koe/dag) en was vergelijkbaar met de waarden (29 variërend van 22 tot 34 kg/koe/dag) gerapporteerd in Mosquera et al. (2010). Het rantsoen bestond gedurende alle metingen voor meer dan 50% uit ruwvoer. Tijdens de metingen werd geen (drijf)mest uit de mestput verwijderd. De metingen hadden betrekking tot permanent opstallen (dieren continue in de stal tijdens de meetdagen).

In figuur 8 (rechts) worden de gemeten buitentemperaturen vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation De Bilt. De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten (15,7 °C bij ACNV aan; 14,2 °C bij ACNV uit) is voor ACNV aan hoger dan en voor ACNV uit vergelijkbaar met het langjarige gemiddelde in Nederland over die bepaalde periode (14,2 °C).

Figuur 8 Verdeling van de metingen over het jaar (links), en de buitentemperatuur (rechts) vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation De Bilt (www.knmi.nl; als stippellijn weergegeven). Gesloten symbolen: ACNV aan; Open symbolen: ACNV uit.

Tabel 8 Algemene bedrijfsgegevens van bedrijfslocatie 2 met de meetomstandigheden bij ACNV in werking (ACNV AAN, middendeel tabel) en ACNV niet in werking (ACNV UIT, onderste deel tabel).

		Meting					
Kenmerken		1	2	3	4	5	6
BEDRIJFSGEGEVENS	Aantal ligboxen / dierplaatsen	217	217	217	217	217	217
	Melkkoeien	174	165	164	163	163	165
	melkgevende koeien	167	146	147	146	146	149
	droge koeien	7	19	17	17	17	16
	Drachtig jongvee	21	18	18	18	19	16
	Niet drachtig jongvee > 6mnd	15	17	17	17	16	19
	Weide (aantal uren)	0	0	0	0	0	0
	Afgedekte ligboxen	0	0	0	0	0	0
	Bezettingsgraad	90	84	84	83	84	83
	Aandeel jongvee	12	11	11	11	12	10
	Aandeel droge koeien	4	12	10	10	10	10
	Melkproductie [kg/dier/dag]	30	27	27	26	26	24
	Melk [% eiwit]	3,4	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5
	Melk [% vet]	4,1	4,0	4,0	4,1	4,2	4,7
	Ureumgehalte [mg/100g]	21	25	21	20	21	19
	Voergift (kg ds /dier/dag)	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2
	Aandeel ruwvoer (op ds basis)	66	66	66	66	66	66
	Verhouding kuilvoer : mais	64-36	64-36	64-36	64-36	64-36	64-36
	Aandeel vers gras (op ds basis)	0	0	0	0	0	0
ACNV AAN	Datum	8-7-2014	15-9-2014	24-9-2014	30-9-2014	9-10-2014	13-11-2014
	Dag in het jaar	189	258	267	273	282	317
	T-buiten [°C; KNMI; 1,5m]	14,6	17,7	13,4	14,8	14,8	9,8
	RV-buiten [%; KNMI; 1,5m]	93,0	85,3	83,7	90,9	88,9	84,1
	T-binnen [°C]	20,6	21,3	15,7	19,1	10,7	2,2
	RV-binnen [%]	100,3	88,5	92,1	93,9	92,2	80,0
	Windrichting [KNMI; 10 m]	320	71	253	202	185	131
	Windsnelheid [m/s; KNMI; 10 m]	4,2	1,6	3,0	2,0	4,5	4,5
	Ventilatieopening (gordijnen, % open)	n.b.*	n.b.*	n.b.*	50	n.b.*	50
	Gemiddelde lichtsnelheid (nok; m/s)	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*
	CO ₂ stalconcentratie [ppm]	730	1047	705	860	579	845
	CO ₂ achtergrond [ppm]	417	417	417	417	417	417
ACNV UIT	Datum	9-7-2014	16-9-2014	25-9-2014	1-10-2014	5-10-2014	14-11-2014
	Dag in het jaar	190	259	268	274	278	318
	T-buiten [°C; KNMI; 1,5m]	20,6	17,6	15,8	16,6	13,3	10,1
	RV-buiten [%; KNMI; 1,5m]	86,7	84,5	86,9	91,9	85,8	94,3
	T-binnen [°C]	22,7	21,2	17,2	19,7	16,3	1,8
	RV-binnen [%]	95,3	85,9	92,0	95,0	87,6	86,5
	Windrichting [KNMI; 10 m]	248	87	233	232	85	140
	Windsnelheid [m/s; KNMI; 10 m]	2,4	1,8	3,8	1,3	2,4	2,5
	Ventilatieopening (gordijnen, % open)	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*
	Gemiddelde lichtsnelheid (nok; m/s)	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*
	CO ₂ stalconcentratie [ppm]	710	1096	626	760	729	750
	CO ₂ achtergrond [ppm]	417	417	417	417	417	417

* n.b.: data niet beschikbaar

In Tabel 9 en Figuur 9 worden de ammoniakemissies op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens werd een gemiddelde ammoniakemissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $11,4 \pm 5,1$ kg per dierplaats per jaar voor de optie ACNV aan (ACNV-systeem ingeschakeld), en $9,6 \pm 1,7$ kg per dierplaats per jaar voor de optie ACNV uit (instellingen van de boer). Voor melkvee wordt geen leegstand verrekend (Groenestein en Aarnink, 2008). Voor deze locatie waren de emissies voor het ACNV systeem (ACNV aan) gemiddeld 19,0% hoger dan bij het referentiesysteem (ACNV uit). De verschillen in ammoniakemissie waren echter niet significant ($P > 0,10$).

Tabel 9 Emissies per meetdag bij meetlocatie 2.

Kenmerken		Meting					
		1	2	3	4	5	6
ACNV AAN	Datum	8-7-2014	15-9-2014	24-9-2014	30-9-2014	9-10-2014	13-11-2014
	Dag in het jaar	189	258	267	273	282	317
	NH ₃ stal [ppm]	4,48	4,56	2,81	3,92	0,90	2,72*
	NH ₃ buiten [ppm]	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
	NH ₃ emissie [kg/dpl/jaar]	20,9	9,3	12,6	11,1	6,4	8,3
ACNV UIT	Datum	9-7-2014	16-9-2014	25-9-2014	1-10-2014	5-10-2014	14-11-2014
	Dag in het jaar	190	259	268	274	278	318
	NH ₃ stal [ppm]	2,50	4,86	1,75	2,45	2,58	1,84*
	NH ₃ buiten [ppm]	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
	NH ₃ emissie [kg/dpl/jaar]	12,0	9,3	10,4	8,7	10,2	7,0

*Door een technische storing was tijdens deze metingen geen bruikbare data uit de laser, en werd data uit de NOx-monitor (verzamelleiding van 5 punten verdeeld over de lengte van de stal) gebruikt

Figuur 9 Gemiddelde NH₃-emissie op alle verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: ACNV aan; Open symbolen: ACNV uit.

In meetlocatie 2 zijn geen luchtsnelheidsmetingen uitgevoerd zodat geen relatie tussen luchtbeweging in de stal en ammoniakemissie of mengverhouding gelegd kan worden.

3.3 Discussie

Op basis van de beschikbare meetgegevens werd een gemiddelde ammoniakemissie (gemiddelde emissie $\pm$ standaarddeviatie tussen meetlocaties) berekend van $11,4 \pm 0,1$ kg per dierplaats per jaar voor de optie ACNV aan (ACNV-systeem ingeschakeld), en $10,3 \pm 1,0$ kg per dierplaats per jaar voor de optie ACNV uit (instellingen van de boer). De emissies voor het ACNV systeem (ACNV aan) waren gemiddeld 10,0% hoger dan bij het referentiesysteem (ACNV uit). De verschillen in ammoniakemissie waren echter niet significant ($P > 0,10$). Het onderscheidingsvermogen van het systeem, gebaseerd op de gemeten emissiewaarden gerapporteerd in deze studie, is 16%. Dat betekent dat bij een significantieniveau (overschrijdingskans) van 5% ($P = 0,05$) het effect op de ammoniakemissie wanneer

het ACNV-systeem aan staat minimaal 16% moet verschillen van de ammoniakemissie wanneer het ACNV-systeem uit staat.

De gemiddelde emissie wanneer het ACNV-systeem ingeschakeld is wijkt ook niet significant ($P > 0,10$) af van de emissiefactor voor overige huisvestingsystemen (13 kg NH_3 per dierplaats per jaar) zoals opgenomen in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav). De emissie in de referentiesituatie is echter lager en wijkt wel significant af van deze emissiefactor voor overige huisvestingsystemen ($P < 0,001$).

De verwachting op basis van inschattingen vooraf was dat het ACNV-systeem een reductie in NH_3 -emissie tot 10% zou kunnen bereiken. Dat wordt binnen dit onderzoek niet aangetoond. Ook verschillen in de achterliggende aanname dat het ventilatiedebiet bij toepassing van ACNV lager is dan zonder toepassing van ACNV is niet aangetoond. Het gemiddelde ventilatiedebiet bij ingeschakeld ACNV ($746 \pm 111 \text{ m}^3$ per dier per uur) was weliswaar lager dan bij uitgeschakeld ACNV-systeem ($985 \pm 252 \text{ m}^3$ per dier per uur) maar het verschil was niet significant ($P > 0,10$).

Een mogelijke verklaring voor het ontbreken van een significant verschil in ammoniakemissie en ventilatiedebiet, zou (deels) kunnen liggen in het feit dat er bij deze praktijkmetingen weinig verschil in gordijnstand tussen 'case' (ACNV aan) en 'control' (instellingen van de veehouder) is geconstateerd. Op sommige momenten leiden de instellingen van de veehouder zelfs tot kleinere ventilatieopeningen dan de richtlijnen van ACNV aangegeven. Hierdoor ontstaan problemen bij het (nauwkeurig) vaststellen van de emissiereductie door gebruik van ACNV. Achterliggende oorzaak is het ontbreken van een goed omschreven referentie. Gekozen is voor een 'subjectieve' referentie, namelijk de gordijnstand die de veehouder zou hebben gekozen als er geen ACNV systeem aanwezig zou zijn geweest. Het kan zijn dat deze inschatting al beïnvloed is door de ervaringen met het ACNV systeem in de tijd voorafgaand aan de metingen.

Ook de vertaling van de criteria voor ACNV zoals opgenomen in de Maatlat Duurzame Veehouderij naar een concreet regelalgoritme voor de klimaatcomputer kan een rol spelen. Achteraf is geconstateerd dat de gerealiseerde gordijnstanden niet altijd overeen kwamen met de, bij de heersende weersomstandigheden voorgeschreven ventilatieopening volgens MDV. Vrijwel altijd stonden de gordijnen te ver open. Dit vermindert het verschil in ammoniakemissie tussen behandeling en referentie.

Bovendien kan een veranderende gordijnstand, zelfs bij gelijkblijvend ventilatiedebiet, leiden tot een andere luchtbewegingspatroon in de stal. Doordat bijvoorbeeld de luchtsnelheid in de ventilatieopeningen toeneemt dringt de verse lucht verder de stal in. Bij roostervloeren kan dat ook gevolgen hebben voor de mate van uitwisseling tussen lucht uit de kelder en de rest van de stal.

Hoewel er dus door te weinig onderscheid tussen de behandelingen (ACNV-aan en ACNV-uit) geen significant effect op de ammoniakemissie kon worden aangetoond kan het achterliggende reductieprincipe (vermindering van het ventilatiedebiet leidt tot lagere ammoniakemissie) nog steeds geldig zijn. Daarom zijn eerdere metingen op meetlocatie 2 (waarvan de data niet gepubliceerd zijn) onderzocht. Daaruit bleek een positieve relatie ($R^2: 0,43$) tussen ammoniakemissie ($\text{kg/dierplaats/jaar}$) en ventilatiedebiet ($\text{m}^3/\text{dier/uur}$): de ammoniakemissie was over het algemeen lager bij een lager ventilatiedebiet:

$$\text{Ln}(\text{emissie}) = 0,36 * \text{Ln}(\text{ventilatiedebiet}) + 0,03$$

Deze (niet eerder gepubliceerde) metingen op locatie 2 laten ook zien dat een grote verandering in ventilatiedebiet nodig is om een significant verschil in ammoniakemissies te kunnen krijgen. Het onderscheidingsvermogen van de huidige meetopzet is 16%. Om een verschil in ammoniakemissie van 16% te kunnen krijgen zou het verschil in mengverhouding 38% moeten zijn. In onderhavige studie waren de verschillen tussen de gordijnstand bij ACNV-aan en ACNV-uit (instellingen van de veehouderij) te klein.

Alleen wanneer de instellingen van het ACNV-systeem zodanig zijn dat grote verschillen in ventilatiedebiet ontstaan zal het ACNV-systeem tot een significante reductie in ammoniakemissie

leiden. De verwachte emissiereductie van 10% wordt pas gerealiseerd bij een vermindering van het ventilatiedebiet met 25%.

4 Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport worden de resultaten gerapporteerd van de metingen die in het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) zijn uitgevoerd om het effect van het ACNV-systeem (Automatische Controle Natuurlijke Ventilatie; de stand van de gordijnen wordt automatisch geregeld met een procescomputer voorzien van een regelalgoritme) op de ammoniakemissie uit melkveestallen te bepalen. Als referentie is gekozen voor een gordijnstand die door de betreffende veehouderij gehanteerd zou zijn wanneer er geen ACNV systeem aanwezig zou zijn.

Uit de in dit rapport gepresenteerde gegevens is geen vermindering van de ammoniakemissie als gevolg van het ACNV-systeem af te leiden. De gemiddelde ammoniakemissie (gemiddelde emissie $\pm$ standaarddeviatie tussen meetlocaties) was $11,4 \pm 0,1$ kg per dierplaats per jaar voor de optie ACNV aan (ACNV-systeem ingeschakeld), en $10,3 \pm 1,0$ kg per dierplaats per jaar voor de optie ACNV uit (instellingen van de boer). De emissieverschillen tussen behandeling (ACNV-aan) en referentie (ACNV-uit) waren niet significant ($P > 0,10$).

Het onderscheidingsvermogen van de gebruikte meetopzet is 16%. Dit betekent dat om een significant effect in ammoniakemissie van het ACNV systeem met 95% betrouwbaarheid aan te kunnen tonen, het emissieverschil ten minste 16% zou moeten zijn.

Eerdere (niet gepubliceerde) metingen op meetlocatie 2 tonen een positieve relatie tussen ammoniakemissie en ventilatiedebiet aan. Vermindering van het ventilatiedebiet kan leiden tot lagere ammoniakemissies.

Op basis van deze relatie zou het ventilatiedebiet in een melkveestal met 25% moeten afnemen om de vooraf verwachte emissiereductie door het ACNV-systeem van 10% te realiseren. Het ventilatiedebiet en de lichtsnelheid in de stal waren echter niet significant verschillend tussen de behandelingen (ACNV-aan en ACNV-uit). Vertaling van de eisen ten aanzien van ventilatieopening naar regelalgoritme zouden daarbij kunnen een rol spelen.

Aanbevolen wordt om de relatie tussen ventilatiedebiet (en bijbehorende gordijnstand) en ammoniakemissie verder te onderbouwen en als uitgangspunt te nemen voor inschatting van het effect van ACNV.

De vertaling van de ventilatiecriteria in een concreet regelalgoritme zou in een praktijkstudie verder onderzocht kunnen worden.

Literatuur

- CIGR. 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S.; K. Sällvik).
- Groenestein, C.M. en A.J.A. Aarnink. 2008. Notitie over leegstand ten behoeve van het berekenen van een emissiefactor van een stal. Intern rapport 200808, Animal Science Group van Wageningen UR, Lelystad, The Netherlands.
- Klooster, C.E. van 't, B.P. Heitlager en J.P.B.F. van Gastel. 1992. Measurement systems for emissions of ammonia and other gasses at the Research Institute for Pig Husbandry. Rosmalen: Research Institute for Pig Husbandry, Report P3.92.
- Mosquera, J., P. Hofschreuder, J.W. Erisman, E. Mulder, C.E. Van 't Klooster, N.W.M. Ogink, D. Swierstra en N. Verdoes, 2002. Meetmethoden gasvormige emissies uit de veehouderij. Report 2002-12. IMAG, Wageningen, the Netherlands.
- Mosquera, J., J. M. G. Hol, A. Winkel, J.W.H. Huis in 't Veld, F.A. Gerrits, N.W.M. Ogink en A.J.A. Aarnink. 2010. Fijnstofemissie uit stallen: melkvee. Rapport 296, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad, The Netherlands.
- Ogink, N.W.M., J. Mosquera en J.M.G. Hol. 2013. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013. Rapport 726, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Ogink, N.W.M., C.M. Groenestein en J. Mosquera. 2014. Actualisering ammoniakemissiefactoren rundvee: advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij. Rapport 744, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, M.J.W. Heetkamp, en A.J.A. Aarnink. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December, 2008.
- VERA, 2011, Test Protocol for Livestock Housing and Management Systems, VERA Secretariat, Denmark
- Wintjens, Y. 1993. Gaswasfles. In Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak- problematiek in de veehouderij 16 (eds E.N.J. van Ouwerkerk), pp. 38-40. DLO, Wageningen.

Bijlage 1 Foto's van de bedrijfssituatie

MEETLOCATIE 1

Positionering van de meetlocatie ten opzichte van andere bronnen.

Plattegrond van de stal en overzicht van de meetpunten

Binnenzijde stal. Links: voegang; Rechts: ligboxen en roostervloer

Strohok

Inlaatopeningen. Links: binnenzijde; Rechts: buitenzijde

Meetpunt voor ingaande lucht

Links: Opstelling lasers voor concentratiemeting stallucht. Rechts: Meetpunten uitlaat zijde.

MEETLOCATIE 2

Positionering van de meetlocatie ten opzichte van andere bronnen.

Plattegrond van de stal en overzicht van de meetpunten

Binnenzijde stal. Links: voergang; Rechts: lichtboxen en roostervloer

Mestschuif

Strohok

Inlaatopeningen. Links: binnenzijde; Rechts: buitenzijde

Bijlage 2 Beschrijving meetmethoden en praktische uitvoering

Natchemisch met wasflessen en impingers (NH₃)

Deze methode werd gebruikt om de NH₃-concentratie in de ingaande lucht (achtergrondconcentratie) te bepalen. Bij de nat-chemische methode (Wintjes, 1993) wordt de lucht via een monsternameleiding met een constante luchtstroom (~1,0 l/min) aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritische capillair die een luchtstroom geeft van ~1,0 l/min. Alle lucht wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml 0,05 M salpeterzuur) geleid, waarbij de NH₃ wordt opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag wordt een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen wordt de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid (zie foto hieronder). Na de bemonsteringstijd wordt de concentratie gebonden NH₃ spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA; zie foto hieronder). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH₄⁺ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH₃-concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald.

Meetopstelling nat-chemische methode voor ammoniakemissiemetingen. Links: impingers. Midden: Flowmeter. Rechts: pomp

NO_x-monitor + convertor (NH₃)

Een chemiluminescentie detector (NO_x-monitor) kan worden gebruikt om ammoniak concentraties te meten, mits de ammoniak van tevoren wordt omgezet naar NO (met behulp van een convertor). De convertor wordt op een temperatuur van 775 °C gehouden. Roestvrij staal wordt gebruikt als katalysatormateriaal. Bij deze temperatuur worden NH₃ en NO₂ geconverteerd naar NO. Een gegenereerde overmaat ozon reageert met NO waarbij fotonen worden geproduceerd. De analyzer registreert de hoeveelheid NO gebaseerd op de volgende reactie:

De druk wordt minimaal 31 kPa onder de atmosferische druk gehouden en de temperatuur wordt op 50 °C gehouden. Bij deze omstandigheden is de NO concentratie recht evenredig met de gemeten fotonenstroom. Tijdens transport kan een deel van de NO oxideren tot NO₂. Een molycon convertor zet alle NO₂ om in NO voordat de gasstroom de reactiekamer wordt binnengeleid. Met het dual-channel systeem wordt het eerste kanaal gebruikt voor het meten van NH₃, NO₂ en NO (inclusief NH₃ convertor). In het tweede kanaal zonder de NH₃ convertor wordt de concentratie NO₂ en NO in de omgevingslucht gemeten. Het verschil tussen beide kanalen is een maat voor de NH₃ concentratie. Normaal gesproken is het tweede kanaal niet in gebruik vanwege de snelle verontreiniging van de meting met ammoniak in de omgevingslucht. De concentraties NO en NO₂ in omgevingslucht worden verwaarloosd.

NOx-monitor voor ammoniakconcentraties.

Open-pad laser (NH₃ en CO₂)

In deze methode wordt laserlicht vanuit de laser langs de emitterende oppervlakte (in dit geval de hele lengte van de stal) naar een reflector geleid, die het licht reflecteert en terug naar de laser stuurt. De golflengte van het laserlicht is specifiek voor een bepaalde gas (in dit geval NH₃ voor de open-pad NH₃-laser, of CO₂ voor de open-pad CO₂-laser). Dit betekent dat het laserlicht alleen door die specifieke moleculen wordt geabsorbeerd. Door de intensiteit van het uitgaande laserlicht en het reflecterende licht te meten is de NH₃- en CO₂-concentratie langs de hele pad te berekenen.

Opstelling laser in de stal

Opstelling laser buiten

Foto-akoestische multigasmonitor (NH₃ en CO₂)

Deze meetmethode is gebaseerd op het effect van infrarood licht op gassen. Als een gas wordt blootgesteld aan infrarood licht met een golflengte die dat gas absorbeert zal een deel van het licht worden geabsorbeerd. Als gevolg hiervan krijgt een aantal moleculen een hoger energieniveau wat leidt tot een stijging van temperatuur en druk. Valt het infrarood licht weg dan zullen de moleculen weer terugvallen naar hun oorspronkelijke energieniveau, temperatuur en druk zullen weer dalen. Wanneer een gas pulserend wordt belicht ontstaat een steeds wisselend druk die resulteert in een geluidsgolf die met behulp van microfoons kan worden gedetecteerd. De concentratie van het gas in een monster wordt dan door de sterkte van het signaal bepaald.

Innova 1312 voor NH₃- en CO₂-concentraties

Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Voor de meting van temperatuur en relatieve wordt gebruik gemaakt van Rotronic T en RV sensoren (ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS; zie foto hieronder), met een nauwkeurigheid van respectievelijk $\pm 1,0$ °C en $\pm 2\%$. Per meetpunt wordt een rotronic opgehangen. De data wordt eenmaal per uur gelogd als gemiddelde over dat uur.

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

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

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 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 10.000 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.