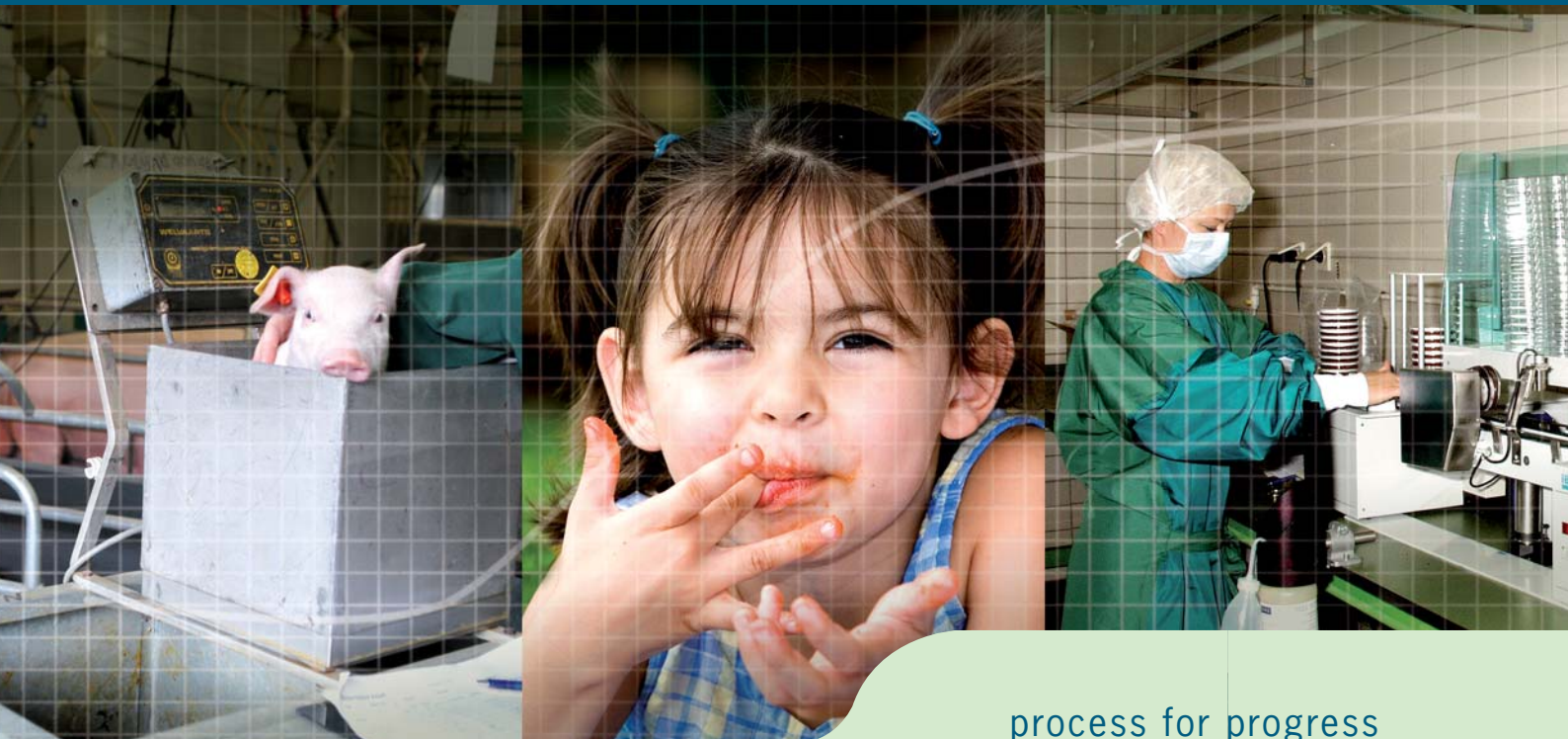


Animal Sciences Group

Divisie Veehouderij, kennispartner voor de toekomst



process for progress

Rapport 74

Vergelijking theorie en praktijk emissiereductie
van chemische luchtwasser met
bypassventilatoren

Oktober 2007



ANIMAL SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR

Dit onderzoek is gefinancierd door:

- Productschappen Vee, Vlees en Eieren (PVE)
- Provincie Limburg
- LLTB
- LIB (Provincie Noord Brabant/ZLTO)
- Bovema-S-Air
- Fancom

Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group van Wageningen UR
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail Info.veehouderij.ASG@wur.nl
Internet <http://www.asg.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Aansprakelijkheid

Animal Sciences Group aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Liability

Animal Sciences Group does not accept any liability for damages, if any, arising from the use of the results of this study or the application of the recommendations.

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



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

Abstract

Measurements were performed to determine the reduction in ammonia emission obtained when using bypass ventilation in combination with an air scrubber in practice. The measured ammonia emission reduction was lower than what was expected from a theoretical point of view. Reduced ventilation through the air scrubber in combination with blocking of the scrubber at the end of the measurement period could be a possible explanation of the observed difference. Clear guidelines for monitoring and enforcement are needed in order to make application of this technique on farms applicable.

Keywords: environment, ammonia, odour, fine dust, emission reduction, air scrubber

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s): H.H. Ellen, J.M.G. Hol, A.I.J. Hoofs, J. Mosquera

Titel: Vergelijking theorie en praktijk emissiereductie van chemische luchtwasser met bypassventilatoren
Rapport 74

Samenvatting


De theorie van de beperkte afname van de emissiereductie door het toepassen van bypassventilatoren bij een chemische luchtwasser is vergeleken met praktijkmetingen aan een vleesvarkensstal op PraktijkCentrum Sterksel. Door een lager debiet door de luchtwasser is niet de theoretisch berekende reductie gehaald. De theorie wordt echter wel onderschreven door de metingen voor ammoniak. De techniek is toepasbaar met duidelijke richtlijnen voor controle en handhaving.

Trefwoorden: milieu, ammoniak, geur, fijn stof, emissiereductie, emissie, luchtwassers



ANIMAL SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR



provincie limburg 



Bovema *S/air*



Rapport 74

Vergelijking theorie en praktijk emissiereductie van chemische luchtwasser met bypassventilatoren

H.H. Ellen
J.M.G. Hol
A.I.J. Hoofs
J. Mosquera

Oktober 2007

Voorwoord

Vanuit de ministeries LNV en VROM wordt het gebruik van luchtwassers gestimuleerd. Dit vanwege de hoge reducties van ammoniak, fijn stof en geur bij het toepassen van deze techniek bij varkens- en pluimveestallen. Ten opzichte van andere reductietechnieken kunnen de kosten voor deze techniek voor de bedrijven echter hoger uitpakken. Om deze kosten te beperken is de gedachte ontstaan om niet alle lucht uit de stal door de luchtwasser te leiden. Dit zou een behoorlijke besparing op de kosten betekenen, met slechts een geringe afname van de totale reductie. In dit verslag worden de resultaten van de metingen aan een dergelijke uitvoering vergeleken met de theorie. Dit verslag kan daarmee een bijdrage leveren aan de verdere optimalisering van het gebruik van luchtwassers.

Ing. H.H. (Hilko) Ellen
Projectleider

Samenvatting

Bij de Animal Sciences Group van WUR is onderzoek gedaan naar het effect op de emissies van ammoniak, fijn stof en geur van het toepassen van bypassventilatoren bij een chemische luchtwasser. Dit onderzoek is gefinancierd door de Productschappen Vee, Vlees en Eieren, Provincie Limburg, Limburgse Land- en Tuinbouwbond (LLTB) en het Landbouw Innovatiesteunpunt Noord-Brabant (LIB). Daarnaast hebben de firma's Fancom en Bovema-S-Air een bijdrage geleverd in de vorm van materiaal en kennis om het project uit te kunnen voeren.

Door het toepassen van chemische luchtwasser op varkens- of pluimveebedrijven kan de emissie van ammoniak sterk worden gereduceerd. Ook de emissies van geur en fijn stof nemen hierdoor af. De investeringen en jaarlijkse kosten van een luchtwasser kunnen echter hoog uitvallen in vergelijking met andere reducerende technieken. Door Melse en Ogink (2004) is berekend dat door een aangepast ontwerp de kosten van luchtwassers kunnen worden verlaagd zonder substantiële reductie van het milieurendement. De geïnstalleerde capaciteit van een luchtwassysteem wordt (zeker bij groeiende dieren) maar gedurende een korte tijd van het jaar benut. Melse en Ogink (2004) hebben berekend dat de besparing op kosten kan worden bereikt door een veel kleinere wasser te plaatsen en te accepteren dat niet alle af te voeren stallucht door de wasser wordt geleid: het principe van een luchtwasser met bypassventilatoren. De totale ammoniakemissie reductie zou in deze situatie afnemen met 7-10% bij vleesvarkens en 4-5% bij vleeskuikens ten opzichte van de oorspronkelijke (niet aangepaste) dimensionering van de wasser. Voor de onderbouwing van deze theoretische benadering is een onderzoek gedaan op het Praktijkcentrum te Sterksel. In dit onderzoek zijn zes afdelingen met vleesvarkens (totaal 864 plaatsen) aangesloten op een centraal luchtafvoersysteem. De ventilatoren waren zodanig geregeld dat minimaal 50% van de totale ventilatiecapaciteit via een chemische wasser afgevoerd zou worden. Als meer ventilatie nodig was werden bypassventilatoren ingeschakeld.

In de periode van 7 juni 2006 tot en met 30 november 2006 werd het ventilatiedebiet en de ammoniakconcentratie bij zowel de ingaande als de uitgaande lucht bij de wasser, en bij de bypassventilatoren semicontinu gemeten. In diezelfde periode zijn ook zes metingen (24-uurs verzamelmonsters; natchemische methode) volgens het nieuwe meetprotocol voor NH_3 uitgevoerd. Tegelijkertijd werden de concentraties van geur (2-uurs verzamelmonsters volgens het huidige meetprotocol voor geur) en fijn stof (24-uurs verzamelmonsters) gemeten.

Tijdens het onderzoek bleek dat het debiet van de wasserventilatoren tijdelijk afnam als de bypassventilatoren werden ingeschakeld. Daarnaast nam het debiet door de wasser gedurende het onderzoek langzaam af. Uit een oriënterende meting na afloop van het onderzoek bleek dat het wasserpakket vervuild was. Hierdoor kon minder worden geventileerd door de wasser en kwamen de bypassventilatoren eerder in werking. Gevolg van voorgaande was dat er minder lucht door de luchtwasser is gegaan dan aanvankelijk berekent. Daardoor is de totale reductie van ammoniak ook minder dan berekent volgens de theoretische benadering van Melse en Ogink (2004). De vervuiling had geen negatieve invloed op het verwijderingsrendement van de chemische luchtwasser voor NH_3 . Dit was gemiddeld 98% over het gehele meetperiode. Ten opzichte van de berekende emissie uit de stal (1,62 kg NH_3 /dierplaats/jaar) was de totale reductie van het toegepaste systeem (chemische wasser en bypass) 75%. Dit is lager dan de verwachte reductie (85-88%) volgens de theoretische benadering van Melse en Ogink (2004).

De geuremissie was in het onderhavige onderzoek 12,5 OUE s-1 per dierplaats, niet significant lager dan de geuremissie van een conventionele systeem (23,0 OUE s-1 per dierplaats). De gemiddelde rendement van de chemische wasser voor geur was 33%. Voor fijn stof was het gemiddelde rendement van de wasser 55% voor PM10 en 32% voor PM2.5.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

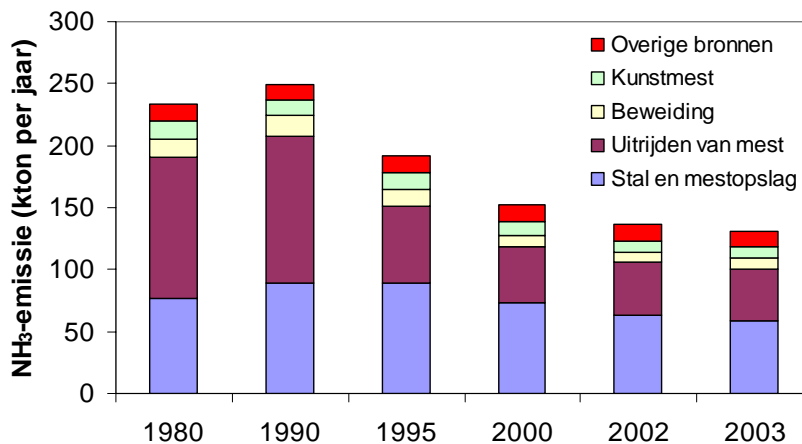
Inhoudsopgave	5
1 Inleiding	1
2 Metingen	3
2.1 Meetlocatie	3
2.2 Luchtwater met bypassventilatoren: capaciteit en regeling	4
2.3 Metingen.....	5
2.3.1 Algemeen	5
2.3.2 Klimaat	6
2.3.3 Ventilatie-debiet.....	6
2.3.4 Ammoniakconcentratie.....	6
2.3.5 Geurconcentratie	7
2.3.6 Fijn stofconcentratie.....	8
2.4 Dataverwerking.....	8
2.4.1 Klimaat en ventilatie-debiet	8
2.4.2 NH ₃ -concentraties (semicontinu metingen).....	8
2.4.3 Emissie huisvestingsstelsel.....	9
2.4.4 Rendementsmetingen.....	9
2.4.5 Vergelijking theoretische benadering met praktijkmetingen	10
3 Resultaten metingen	11
3.1 Klimaat en ventilatie-debiet	11
3.2 Spuiwater.....	12
3.3 Ammoniakconcentratie en -rendement	12
3.4 Geurconcentratie en -rendement.....	13
3.5 Stofconcentratie en -rendement.....	14
3.6 Technisch functioneren van het systeem	15
4 Vergelijking theoretische benadering met praktijkmetingen	16
4.1 Varkens	16
4.2 Pluimvee (vleeskuikens)	18
5 Discussie	20
6 Conclusies en aanbevelingen	22
6.1 Conclusies	22
6.2 Aanbevelingen	22
Literatuur	23

Bijlagen	25
Bijlage A Principe en kalibratieresultaten NO _x -monitor	25
Bijlage B Omzettingspercentages converters	26
Bijlage C Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	27
Bijlage D Ventilatie-debiet	28
Bijlage E Ammoniakconcentratie	29
Bijlage F Voorstel voor controle en handhaving luchtwassers met bypassventilatoren	30

1 Inleiding

De landbouw is de belangrijkste bron van ammoniakemissies (NH₃) in Nederland. De uitstoot van NH₃ resulteert in een aantal milieuproblemen, zoals verzuring, vermist, vervuiling van grond- en oppervlaktewateren, en afname van de biodiversiteit van de natuur (van Dam *et al.*, 1986; Binkley en Richter, 1987; Heil en Bruggink, 1987; van Breemen en van Dijk, 1988; Schulze *et al.*, 1989; Heij en Schneider, 1991; Bobbink *et al.*, 1992). In 2003 droeg de landbouw voor 91% bij aan de nationale uitstoot van NH₃ (MNP, 2005). De meeste emissie vindt plaats vanuit bronnen uit stallen en bij het aanwenden van mest, samen verantwoordelijk voor 80% van de totale uitstoot (figuur 1). Om deze emissies terug te dringen heeft de EU ammoniakemissieplafonds per land vastgesteld. Voor Nederland betekent dit een maximale ammoniakemissie van 128 Kton in 2010 (EU, 2001). Om natuurgebieden te beschermen heeft de Nederlandse overheid voor 2010 tot doel gesteld de ammoniakemissie tot 100 Kton te reduceren (VROM, 2001). De bijdrage van de landbouw aan de NH₃ emissie moet dan gedaald zijn tot 86 Kton (Sliggers, 2001). De bescherming van natuurgebieden met betrekking tot de emissie van ammoniak is verder geregeld in de Wet ammoniak en veehouderij (Wav) die in een gewijzigde vorm sinds mei 2007 van kracht is. Om de tot doel gestelde emissiereductie te kunnen realiseren is onder andere invoering van emissiebeperkende staltechnieken en -systemen noodzakelijk. Hiertoe zullen bedrijven moeten voldoen aan de grenswaarden voor de emissie van ammoniak die zijn gesteld in de AMvB-Huisvesting. Deze is in concept gepubliceerd. Systemen die toepasbaar zijn staan in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav); een lijst met stalsystemen met bijbehorende emissiefactor voor ammoniak.

Figuur 1 NH₃ emissies in Nederland. Bron: MNP (2005)



Naast de problematiek van de emissies van ammoniak speelt ook de geurhinder, die wordt veroorzaakt door landbouwactiviteiten, een steeds belangrijkere rol in de wet- en regelgeving. De landbouwsector is, samen met de industrie en het wegverkeer, een belangrijke bron van geurhinder in Nederland (VROM, 1998). In het Nationaal Milieubeleidsplan van 1989 is hierover opgenomen dat maximaal 750.000 woningen in 2000 geurbelast mogen zijn. Voor het jaar 2010 geldt als doelstelling "geen ernstige hinder" (VROM, 1989). Geurhinder in de landbouw wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door twee bronnen, namelijk het toedienen van dierlijke mest en het vrijkomen van geur uit de veehouderijgebouwen. Sinds 1 januari 2007 is de Wet geurhinder en veehouderij (Wgv) van toepassing als het om geuremissie gaat.

De landbouw is ook een belangrijke bron van stof. De totale primaire emissie van fijn stof in Nederland bedroeg in het jaar 2000 ca. 50 Kton. Hiervan was ca. 10 Kton ofwel 20% afkomstig uit de landbouw (Chardon en Van der Hoek, 2002). Het voorgaande getal is exclusief de bijdrage van winderosie. Van de fijnstofemissie uit de landbouw is het overgrote deel afkomstig van stallen (9,3 Kton in 1998; Chardon en Van der Hoek, 2002). Pluimvee- en varkensstallen, met een bijdrage van 8,4 Kton, zijn hiervan veruit de grootste bron van stofemissies. Nederland zal de komende jaren actie moeten ondernemen om te kunnen voldoen aan de huidige EU-normen.

Binnen de Regeling Ammoniak Veehouderij (Rav) zijn naast de verschillende emissiereducerende stalsystemen ook luchtwassystemen opgenomen. Het NH₃ reductiepercentage van de opgenomen luchtwassers (biologisch en chemisch) varieert tussen de 70 en 95%. Wanneer met een wasser een reductiepercentage van 70% wordt beoogd, dan kan deze door middel van een theoretische berekening worden beoordeeld en op basis daarvan worden ingevoegd als emissiereducerend systeem. Wanneer meer dan 70% reductie wordt beoogd, wordt door

het ministerie van VROM een meetinspanning gevraagd waaruit het reductiepercentage kan worden vastgesteld. In de regelgeving wordt gesteld dat een chemische luchtwasser de emissie van geur met 30% reduceert en biologische luchtwassers met 45%. Luchtwassers lijken eveneens zeer effectief te zijn om de uitstoot van fijn stof te verminderen (Aarnink *et al.*, 2007).

Op dit moment worden luchtwassers niet in grote mate toegepast, mede omdat de investerings- en exploitatiekosten zeer hoog zijn. Reguliere luchtwassers moeten namelijk in staat zijn om het volledige ventilatiedebiet van de stal te behandelen. Daarom worden deze wassers gedimensioneerd op het maximale ventilatiedebiet van de stal. Aangezien het grootste gedeelte van de tijd de werkelijke ventilatiehoeveelheid lager is, worden de wassers de meeste tijd onderbelast. Luchtwassers met bypass maken gebruik van een aangepast ontwerp, waardoor de wasser op een lager ventilatiedebiet wordt gedimensioneerd (dimensioneringsdebiet). Wanneer het ventilatiedebiet van de stal lager is dan het dimensioneringsdebiet, wordt alle stallucht door de wasser behandeld. Is het ventilatiedebiet van de stal hoger dan het dimensioneringsdebiet, dan wordt het meerdere boven het dimensioneringsdebiet ongezuiverd (via de bypassventilatoren) uit de stal geblazen.

Uit recent onderzoek (Melse en Ogink, 2004) is gebleken dat dit aangepast ontwerp van luchtwassers in principe in staat is om de kosten van luchtwassing (€ / kg NH₃ verwijdering) sterk te verlagen. Melse en Ogink (2004) kwamen tot de conclusie dat een halvering van de grootte van de chemische wasser tot een daling van het totale ammoniakverwijderingsrendement van slechts 7-10% bij vleesvarkens en van 4-5% bij vleeskuikens kan leiden. Dit onderzoek is een bureaustudie die gebaseerd was op de analyse van bestaande datasets. In de praktijk moet aangetoond worden of het berekende effect op de verlaging van de kosten zo sterk is en de daling van het ammoniakverwijderingsrendement van het systeem vast te stellen (in vergelijking met het onderzoek van Melse en Ogink (2004)).

Om dit te toetsen is op Praktijkcentrum Sterksel een luchtwasser met bypass geïnstalleerd in een vleesvarkenstal met 6 afdelingen met centraal afzuiging, en door de Animal Sciences Group onderzoek verricht naar de emissies van ammoniak, geur en fijn stof uit de stal. De doelstelling van dit onderzoek is tweeledig:

1. Aantonen dat de relatie tussen de ammoniakreductie (op jaarbasis) en beperkte dimensionering van een luchtwasser in de praktijk overeenkomt met de verwachtingen gerapporteerd in Melse en Ogink (2004).
2. De emissies van NH₃, geur en stof uit een stal met een chemische luchtwasser met bypassventilatoren te meten volgens het nieuwe protocol voor NH₃ (Ogink *et al.*, 2007), het huidige meetprotocol voor geur (Ogink en Mol, 2002), en het toekomstige protocol voor stof (Hofschreuder *et al.*, 2007).

Het onderzoek is gefinancierd door:

- Productschappen Vee, Vlees en Eieren (PVE)
- Provincie Limburg
- LLTB
- LIB (Provincie Noord Brabant/ZLTO)
- Bovema-S-Air
- Fancom

Laatstgenoemde firma's hebben materiaal en kennis beschikbaar gesteld om dit onderzoek uit te kunnen voeren.

2 Metingen

2.1 Meetlocatie

Het onderzoek is uitgevoerd op Praktijkcentrum Sterksel in zes vleesvarkenafdelingen (N1 t/m N 6) in de periode van april 2006 tot januari 2007. Deze stal is in 1999 gebouwd en sinds 2000 continue in gebruik geweest. De afzuiging van de stallucht vanuit deze zes afdelingen vindt plaats via een centraal afzuigkanaal.

De afdelingen N1 en N6 zijn vrijwel identiek aan elkaar en omvatten elk 144 vleesvarkenplaatsen (totaal 864 vleesvarkenplaatsen). Alle afdelingen voldoen aan de regelgeving met betrekking tot dierenwelzijn zoals die in 2006 gelden. In het midden van de afdeling bevindt zich een controlegang met aan weerszijden steeds 6 vleesvarkenshokken met 12 vleesvarkens per hok. Het beschikbaar vloeroppervlak per vleesvarken is 1,0 m² en het aandeel dichte vloer bedraagt 40 - 50 %. Alle hokken zijn 5,0 m diep en 2,5 m breed. De vloeruitvoering in de hokken is, gezien vanuit de controle gang, achtereenvolgens betonnen roosters, bolle dichte vloer van beton en metalen driekantroosters inclusief een mestspleet aan de muurzijde. De afdelingen zijn emissiearm ingericht met het IC-V-systeem (D 3.2.7.1.1, BB97.07.056V2). Dit systeem heeft een emissiefactor van 1,0 kg ammoniak per dierplaats per jaar. Bij het toepassen van dit systeem is men verplicht de mest uit de afdelingen af te voeren voordat een emitterend mestoppervlak bereikt wordt van 0,18 m² per dier. Gedurende de looptijd van dit onderzoek is de mest in de betreffende afdelingen bewust afgevoerd wanneer het mestkanaal vol was. Ook is de mest bij elke afvoer niet geheel uit de afdeling verwijderd zodat het emitterend mestoppervlak in de afdelingen gedurende de looptijd van dit onderzoek gemiddeld circa 0,25 m² per dier bedroeg.

De verse lucht komt direct van buiten via een luchtinlaatbak binnen aan de kopse kant van de afdeling. De ruimte onder de bolle vloer wordt als luchtinlaatkanaal gebruikt. De lucht wordt via, over de gehele lengte gelijk verdeelde, openingen in de draagmuur van de bolle vloer onder het waterkanaal doorgetrokken en stroomt via openingen in de vloer van de controlegang naar de dieren. De vloer van de controlegang bestaat uit betonnen roosters waaronder twee deltapijpen voor verwarming van de binnenkomende lucht zijn gemonteerd. De ligvloer is voorzien van vloerverwarming. Op basis van deze uitvoering is volgens de adviezen van het Klimaatplatform Varkenshouderij (2006) de maximale ventilatiebehoefte per dier 60 m³/uur. De af te voeren lucht wordt centraal afgezogen. Per afdeling zijn twee afvoerkokers aanwezig met een diafragmaaklep en meetventilator voor het regelen van de ventilatiehoeveelheid. Met betrekking tot de klimaatsinstellingen worden de standaardnormen gehanteerd zoals gebruikelijk op het proefbedrijf. De klimaatsinstellingen in de afdelingen zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 1 Klimaatinstellingen

Dagnummer	1	50	100
Afdelingstemperatuur °C	24	22	21
Bandbreedte °C	6	6	6
Min. ventilatie m ³ /h/dier	6	11	14
Max. ventilatie m ³ /h/dier	20	40	60

De vleesvarkens zijn van het kruisingstype (GYxNL)x Tempo of (NLxGY)x Tempo. De vleesvarkens worden opgelegd op een gemiddeld gewicht van circa 25 kg (leeftijd circa 70 dagen) en geslacht op een gemiddeld gewicht van circa 110 kg (circa 110 mestdagen). De vleesvarkens worden volgens het all in-all out principe per afdeling opgelegd. Na elke ronde wordt de afdeling gereinigd en gedesinfecteerd. In tabel 2 zijn de oplegdata van de afdelingen weergegeven.

Tabel 2 Oplegdata vleesvarkens in de afdelingen relevant voor het onderzoek

	oplegdatum	oplegdatum	oplegdatum	oplegdatum
Afdeling N1		18-04-2006	16-08-2006	
Afdeling N2		14-02-2006	15-06-2006	
Afdeling N3		08-03-2006	06-07-2006	08-11-2006
Afdeling N4	29-12-2005	15-06-2006	18-10-2006	
Afdeling N5	21-02-2006	07-06-2006	10-11-2006	
Afdeling N6	08-02-2006	06-06-2006	19-10-2006	

De vleesvarkens zijn vanaf opleg tot 5 weken na opleg gevoerd met een standaard startkruimel en daarna tot afleveren met een standaard afmestkorrel. Het ruw-eiwitgehalte van het startvoer is 175,0 g/kg en van het afmestvoer 160,0 g/kg. De varkens kregen onbeperkt drinkwater via een drinkbakje.

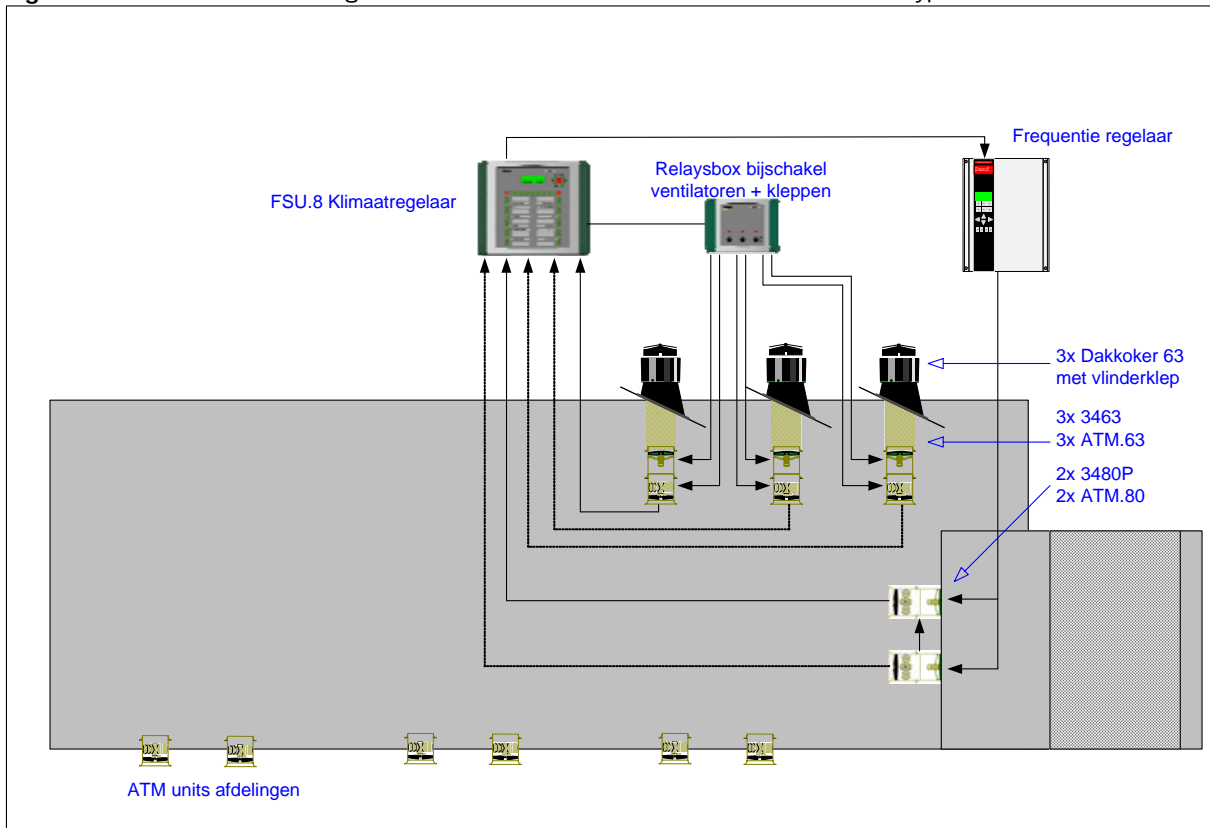
2.2 Luchtwater met bypassventilatoren: capaciteit en regeling

De ventilatielucht uit de afdelingen wordt afgevoerd door middel van een centraal afzuigkanaal dat ligt boven de centrale gang tussen de afdelingen. Op het centrale afzuigkanaal is een chemische luchtwasser aangesloten van de firma Bovema. Deze water is opgenomen in de Rav onder diverse diercategorieën met het GroenLabel-nummer BB 99.06.076 en heeft een verwijderingsrendement van 95% voor ammoniak. De water is volledig automatisch bestuurd door middel van een PLC.

Op basis van de richtlijnen van het Klimaatplatform Varkenshouderij van juni 2006 is de totale gewenste ventilatiecapaciteit van de afdelingen is 51.840 m³/uur. Bij de opzet van het onderzoek is echter gerekend met een maximale ventilatiebehoefte van 65 m³/dier/uur. Hierdoor is de totale ventilatiebehoefte van de afdelingen 56.160 m³/uur. De luchtwasser bestaat uit pakketten met een normale ventilatiecapaciteit van 15.000 m³/uur/pakket. In dit onderzoek zijn twee pakketten toegepast met een totale capaciteit van 30.000 m³/uur. Dit ligt boven de 50% van de ventilatiebehoefte waarvan Melse en Ogink (2004) zijn uitgegaan in hun berekeningen. De capaciteit van de ventilatoren die de lucht door de water sturen is beperkt tot deze 30.000 m³/uur. Als er meer dan 30.000 m³/uur geventileerd moet worden, gaan bypassventilatoren aan. Voor dit onderzoek zijn drie bypassventilatoren geïnstalleerd met een capaciteit van 12.000 m³/uur. De totale geïnstalleerde capaciteit komt daardoor op 66.000 m³/uur.

In figuur 2 is de plaats van de luchtwasser en bypassventilatoren schematisch weergegeven, samen met de regelapparatuur.

Figuur 2 Schematische weergave centraal luchtafvoerkanaal met luchtwasser en bypassventilatoren



Normaal worden alle ventilatoren in een centraal afzuigstelsel parallel aangesloten op de frequentieregelaar. Dit betekent dat alle ventilatoren op hetzelfde toerental worden gestuurd en dat daarmee door alle ventilatoren eenzelfde hoeveelheid lucht wordt verplaatst. Bij een luchtwasser met bypassventilatoren is er behoefte om een deel van de lucht via de luchtwasser te sturen en een deel direct naar buiten af te voeren. Dit betekent dat het

niet mogelijk is om alle ventilatoren op één regelaar aan te sluiten en hetzelfde toerental te laten draaien. Het regelen van de bypassventilatoren met een frequentieregelaar is niet mogelijk omdat dit geen zekerheid biedt met betrekking tot de hoeveelheid afgevoerde lucht in de lage toerentallen. De ventilatoren bij de wasser geven een dermate hoge onderdruk dat de kans groot is dat lucht via de bypassventilatoren wordt aangezogen naar het centrale kanaal. Er is daarom gekozen om de ventilatoren die lucht door de luchtwasser drukken met een frequentieregelaar te regelen en de bypassventilatoren aan / uit te schakelen. De ventilatiehoeveelheid uit de afdelingen wordt geregeld met behulp van de ATM-units. Een meetventilator geeft door hoeveel er wordt geventileerd. Daarbij was het maximum debiet per afdeling begrensd op 65 m³/dier/uur. De kokers van de bypassventilatoren worden afgesloten met een vlinderklep als de ventilatoren uit staan. Hiermee wordt aanzuigen van lucht door de kokers voorkomen. De regeling van beide groepen ventilatoren is als volgt:

- Ventilatie door de luchtwasser
Vanaf minimum ventilatiebehoefte worden de beide ventilatoren door een frequentieregelaar lineair in capaciteit geregeld naar het maximum debiet van 30.000 m³/uur. Aansturing van de ventilatoren gebeurt op basis van de ventilatievraag van de afdelingen.
- Bypassventilatoren
Wanneer de ventilatievraag vanuit de afdelingen niet meer ingevuld kan worden met behulp van de frequentiegestuurde ventilatoren die de lucht door de wasser drukken, worden stuk voor stuk de bypassventilatoren ingeschakeld. Deze ventilatoren draaien altijd op het maximum toerental. Omdat de extra capaciteit die wordt ingeschakeld veelal groter is dan de extra benodigde capaciteit, wordt gelijktijdig het toerental van de frequentiegeregelde ventilatoren verlaagd. Inherent aan dit systeem is dat de hoeveelheid lucht door de wasser wordt verlaagd. Het inschakelpunt voor de bypassventilatoren wordt bepaald aan de hand van de benodigde ventilatie in de afdelingen. De ventilatiebehoefte van de varkens is immers bepalend.

2.3 Metingen

2.3.1 Algemeen

De metingen zijn uitgevoerd in de periode van 7 juni 2006 tot 1 december 2006 (tabel 3). In deze periode werden verschillende parameters met een verschillende intensiteit gemeten. Voor vergelijking van de praktijksituatie met de theoretische opzet van het bypassprincipe zijn continue metingen uitgevoerd. Gedurende een aaneengesloten periode werden gegevens met behulp van een datalogger geregistreerd. De volgende variabelen zijn semicontinu gemeten:

- Klimaat in de centrale afzuigkanaal en buiten (§ 2.3.3);
- Ventilatie-debiet voor de wasser en van de 3 ventilatoren van de bypass (§ 2.3.4);
- Ammoniakconcentratie van de ingaande lucht van de afdelingen, de ingaande lucht van de wasser en de uitgaande lucht van de bypass (§ 2.3.5).

De meetapparatuur voor continue metingen werd bestuurd door een programmeerbare datalogger. Alle verzamelde gegevens werden hierin opgeslagen. Eenmaal in de drie minuten werden alle variabelen gemeten en opgeslagen. Wekelijks werd de meetapparatuur gecontroleerd en gekalibreerd. Alle veranderingen en werkzaamheden werden in een logboek bijgehouden.

De werking van de wasser werd gemeten met rendementsmetingen voor NH₃, geur en fijn stof (fracties PM10 en PM 2,5). Voor de metingen van NH₃ en fijn stof was het concept meetprotocol voor NH₃ (Ogink et al., 2007) leidend. Hierin wordt uitgegaan van 6 metingen van 24 uur (verzamelmonsters) verdeeld over 1 jaar. De meetperiode is echter ingekort tot 6 maanden. Voor geurmetingen was het meetprotocol voor geurmetingen leidend (Ogink en Mol, 2002), waarbij de meetduur is overgenomen (altijd bemonsteren gedurende 2 uur en tussen 10:00 en 12:00 uur) en waarbij de meetfrequentie is overgenomen van het concept meetprotocol voor NH₃.

De volgende variabelen werden gedurende een korte vaste periode als verzamelmonster gemeten:

- Ammoniakconcentratie van de uitgaande lucht van de chemische wasser;
- Geurconcentratie van ingaande en uitgaande lucht van de chemische wasser en de uitgaande lucht van de bypass;
- Fijn stofconcentratie voor de fracties PM10 en PM2,5 van de ingaande en uitgaande lucht van de chemische wasser, de uitgaande lucht van de bypass en de ingaande lucht van de afdelingen.

Tabel 3 Begin- en startdata metingen. NH₃ en stof: 24 uur; geur: 2 uur, tussen 10:00-12:00

	Meetdag	Metingen	Start	Eind
Semi-continu	—	NH ₃	7 juni 2006	30 november 2006
Verzamelmuster	1	NH ₃ , geur	8 juni 2006	9 juni 2006
	2	NH ₃ , geur	17 juli 2006	18 juli 2006
	3	NH ₃ , geur	9 augustus 2006	10 augustus 2006
	4	NH ₃ , geur, stof	13 september 2006	14 september 2006
	5	Stof	10 oktober 2006	11 oktober 2006
	6	NH ₃ , geur	7 november 2006	8 november 2006
	7	Stof	20 november 2006	21 november 2006
	8	Stof	21 november 2006	22 november 2006
	9	Stof	27 november 2006	28 november 2006
	10	Stof	28 november 2006	29 november 2006
	11	NH ₃ , geur	30 november 2006	1 december 2006

De spuiwaterhoeveelheid werd gemeten met een watermeter met pulsgever. Daarnaast werd handmatig m.b.v. een pijlstok eenmaal per maand een monster genomen, dat geanalyseerd werd op N-totaal, NH₄⁺-N, P, K, droge stof en pH. Deze analyses werden in het chemisch lab van AFSG uitgevoerd. De veranderingen en werkzaamheden gedurende de meetperioden werden in een logboek bijgehouden.

2.3.2 Klimaat

De temperatuur (°C) en de relatieve luchtvochtigheid (%) werden continu gemeten met temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic Hygromer®). De nauwkeurigheid van deze sensoren was resp. ± 1,0 °C en ± 2 %. Twee sensoren hingen in het centrale afzuigkanaal waarvan een bij de ventilatoren van de ingaande lucht van de chemische wasser hing en de ander bij één van de ventilatoren van de bypass hing. De sensor voor de buitenlucht hing in de schaduw aan de noordzijde van de stal. De sensoren werden vóór en na de metingen gecontroleerd.

2.3.3 Ventilatie-debiet

Het ventilatie-debiet (m³/uur) werd met meetventilatoren gemeten (Van Ouwerkerk, 1993). Meetventilatoren zijn groot formaat anemometers met een diameter gelijk aan de diameter van de ventilatiekoker. De meetventilator wordt aangedreven door de luchtstroom in de ventilatiekoker en is daardoor niet gekoppeld aan de motor van de ventilator. Alle 3 bypassventilatoren werden op deze manier gemeten en 1 van de 2 ventilatoren voor de chemische wasser. Door een technische storing werden de gegevens van de 2^e ventilator niet geregistreerd. Door de meetventilator te kalibreren bij verschillende ventilatie-debiet instellingen wordt de relatie tussen het ventilatie-debiet en het aantal pulsen per minuut vastgesteld. De ijklijnen voor de 2 type ventilatoren (wasser Ø 80 cm en bypass Ø 63 cm) zijn aangeleverd door de leverancier van de ventilatoren. De relatie tussen de geregistreerde pulsen per seconde en het debiet was voor de 2 type meetventilatoren als volgt:

- wasser Ø 80 cm; debiet (m³/uur) = 9,11 * (aantal pulsen/seconde /60/4)
- bypass Ø 63 cm; debiet (m³/uur) = 14,12 * (aantal pulsen/seconde /60/4)

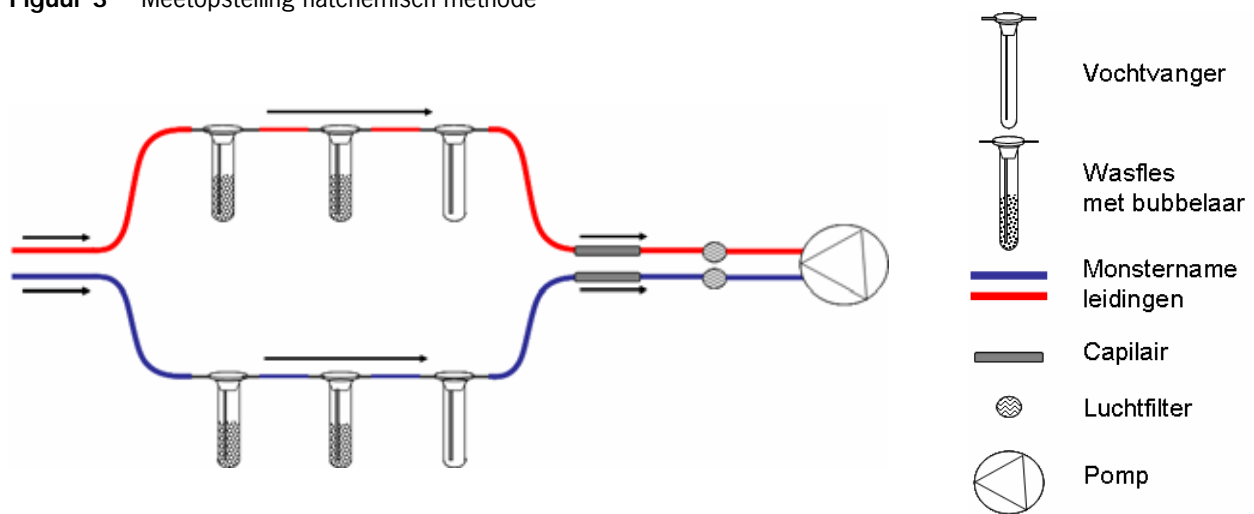
2.3.4 Ammoniakconcentratie

De ammoniakconcentratie werd semicontinu gemeten met behulp van een NO_x-monitor (Advanced Pollution Instrumentation Inc., model 200A). Deze methode is door Scholtens (1993) beschreven en een korte omschrijving is in Bijlage A opgenomen. Continu wordt op de 3 meetpunten (stal, bypass en achtergrond) lucht aangezogen (in de luchtstroom van het meetpunt) die zo snel mogelijk door een converter wordt geleid. Daarna wordt de lucht naar de meetkast getransporteerd waar via het aansturingprogramma de verschillende meetpunten met een vaste frequentie worden gemeten. Iedere meting wordt opgeslagen in de logger. Iedere week werd de monitor gekalibreerd met NO-gas in stikstof van 10,2 ppm (van 7 juni tot 23 augustus) en 41,0 ppm (23 augustus tot 30 november). De resultaten van de kalibraties van de monitor zijn vermeld in Bijlage A. Bij het gebruikte meetprincipe is het signaal van de monitor lineair met de ammoniakconcentratie. De gemiddelde omzettingpercentages van de converters zijn vermeld in Bijlage B. Bij de berekeningen van de gemiddelde

concentraties in de kokers van de bypass ventilatoren is alleen gebruik gemaakt van die gegevens waarbij de bypassventilator ook daadwerkelijk ventileerde.

Na de chemische wasser werden gaswasflessen ingezet om de concentraties van NH_3 met de natchemische methode te bepalen (Wintjens, 1993). Bij deze meetmethode wordt de lucht via een monsternaleiding met een constante luchtstroom aangezogen met behulp van een pomp met capillair. Alle lucht wordt via een vochtvanger door een impinger (geplaatst in een wasfles met zuur) geleid, waarbij de NH_3 wordt opgevangen. Om rekening mee te houden met eventuele doorslag wordt een tweede fles in serie geplaatst. De metingen worden per meetplek in duplo uitgevoerd (figuur 3). De molariteit van de zure oplossing in de wasflessen is afhankelijk van het aanbod van NH_3 dat moet worden gebonden. Na de bemonsteringstijd (24 uur) wordt de hoeveelheid gebonden NH_3 spectrofotometrisch bepaald. Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH_4^+ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH_3 -concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald. Voordeel van deze meetmethode is dat het onder alle omstandigheden de juiste bepaling geeft. Met name bij zeer vochtige omstandigheden biedt de methode uitkomst. Nadeel is dat alleen een verzamelmonster kan worden genomen en geen informatie beschikbaar komt over het verloop van de NH_3 -concentratie gedurende de bemonsteringsperiode.

Figuur 3 Meetopstelling natchemisch methode



De volgende punten werden op een waarnemingsformulier genoteerd:

- codering van de wasflessen per meetlocatie
- flow per capillair (start en einde meting)
- start en eindtijd van de metingen

Door de analist werd in het laboratorium de volgende resultaten genoteerd:

- start en eindgewicht van alle wasflessen (inclusief vochtvanger)
- de hoeveelheid ingevangen NH_4^+ per wasfles (inclusief vochtvanger wanneer hier vocht in zit) (spectrofotometrische bepaling)
- aanwezigheid van sulfaat (ja/nee).

2.3.5 Geurconcentratie

Het geurmonster werd tussen 10:00 en 12:00 uur aangezogen door een pomp bij de meetapparatuur. De bemonstering werd uitgevoerd volgens de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002). Hierbij werd een leeg teflon monsterzak, die zich in een gesloten vat bevond, via een teflon slang gevuld met stallucht. Door lucht uit het vat te zuigen (0,5 l/min), ontstond in het vat onderdruk en werd door een stoffilter (1-2 μm) stallucht aangezogen in de zak. Om condensvorming te voorkomen werd verwarmingslint langs de monsternaleiding aangebracht.

Het monster werd direct na bemonstering naar het geurlaboratorium van Animal Sciences Group vervoerd om binnen 30 uur te worden geanalyseerd. De geuranalyses werden uitgevoerd door het geurlaboratorium van Animal Sciences Group volgens de Europese norm EN 13725 (CEN, 2003). Het geurlaboratorium van Animal

Sciences Group is onder nummer L313 geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses. Aan de geuranalyses werd deelgenomen door een groep van 4 tot 6 panelleden in wisselende samenstelling. De gevoeligheid van de panelleden werd voor de metingen getest met butanol. De geurconcentraties en –emissies worden vermeld in resp. OU_E/m^3 en OU_E/s . De eenheid 'OU_E' staat hierbij voor 'European Odour Units'. Deze aan de EN 13725 ontleende terminologie sluit aan bij de internationale literatuur op dit vakgebied.

2.3.6 Fijn stofconcentratie

Stofconcentraties werden met de gravimetrische methode gemeten. Uit de twee geselecteerde meetpunten in de stal (1: vóór de chemische wasser; 2: na de chemische wasser) wordt lucht (ca. $2,3 m^3 \text{ uur}^{-1}$) met een programmeerbare constant flow pomp (Bravo H plus, Ravebo Supply bv) door twee stofmonsternamenkoppen aangezogen. De werkelijke flow wordt elke 10 minuten gemeten en de data wordt opgeslagen. Één monsternamenkop had een voorafscheiding van deeltjes groter dan $10 \mu m$ (LVS PM10, Ravebo Supply bv), de andere een voorafscheiding van deeltjes groter dan $2,5 \mu m$ (LVS PM10 met 8 nozzles voor PM2.5 afscheiding, Ravebo Supply bv). De rest van de stofdeeltjes wordt uit de lucht gefilterd m.b.v. een glasvezelfilter ($\varnothing 47 \text{ mm}$). Filters worden vooraf en achteraf gewogen in een geconditioneerde ruimte bij $20^\circ C$ en 50% RV met een analytische balans (Mettler Toledo, nauwkeurigheid: 0,01 mg). Vóór beide wegingen worden de filters gedurende tenminste 24 uur geconditioneerd in voorgenoemde ruimte. Voorgaande procedure is geheel volgens de NEN-EN 12341 standaard. De stofconcentratie kan vervolgens bepaald worden door het gewichtsverschil van de filters voor en na de monsternamen te delen door de totaal hoeveelheid aangezogen lucht. De concentratie stof wordt uitgedrukt in mg stof per m^3 lucht.

Gedurende de eerste twee meetperioden werden impactoren gebruikt om stofdeeltjes op te vangen. Een impactor bestaat uit een voorafscheider en een filterhouder. De voorafscheider wordt gebruikt om de deeltjes die groter zijn dan de gewenste fijnstof fractie te verzamelen. Deze impactoren staan beschreven in de NEN-EN 12341 (1998) voor PM10 en in NEN-EN 14907 (2005) voor PM2,5. Na deze twee perioden werden zogenaamde cyclonen toegepast. Het voordeel van de cycloon voorafscheider is dat deze betrouwbaarder resultaten geeft bij een hoog stofaanbod. Het afscheidingssysteem vangt de grotere stofdeeltjes op in een beker. Hierin kunnen grote hoeveelheden stof worden opgeslagen.

2.4 Dataverwerking

2.4.1 Klimaat en ventilatiedebiet

Op basis van semicontinu metingen (elke 5 minuten) werden voor relatieve luchtvochtigheid en temperatuur zowel uur- als daggemiddelden bepaald. Uur- en daggemiddelden bepaald op basis van minder dan 80% van de data (<10 waarnemingen voor uurgemiddelden en <231 waarnemingen voor daggemiddelden) werden als missend beschouwd. Gemeten pulsen werden met behulp van een ijklijn omgerekend naar ventilatiedebiet ($m^3 \text{ uur}^{-1}$). Missende waarnemingen van ventilatiedebiet, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid door kalibraties of technische storingen werden niet geïnterpoleerd. Daggemiddelden van de relatieve luchtvochtigheid en temperatuur buiten de stal en in de centrale afzuigkanaal in de stal voor de wasser en bij de bypass worden in Bijlage C als figuren weergegeven. Uurgemiddelden van het totale ventilatiedebiet en het ventilatiedebiet door de wasser en door het bypass worden in Bijlage D als figuren weergegeven.

2.4.2 NH_3 -concentraties (semicontinu metingen)

Geregistreerde meetwaarden werden gecorrigeerd voor de rendementen van de converters en voor het verloop van de NO_x -monitor dat uit de kalibraties met ijkgas volgde. NH_3 -concentraties [ppm] werden dan met een factor 0,71 (bij $20^\circ C$ en 1 atm.) omgerekend naar mg NH_3 per m^3 lucht (Weast *et al*, 1986). Deze waarden werden gebruikt om uur- en daggemiddelden te bepalen. Indien deze gemiddelden uit minder dan 80% van de data (<10 waarnemingen voor uurgemiddelden en <231 waarnemingen voor daggemiddelden) bestond werden de concentraties als missend beschouwd. Missende waarnemingen door kalibraties of technische storingen werden niet geïnterpoleerd. Wanneer de bypass ventilatoren niet draaiden werden de gemeten concentraties bij de bypass als nul beschouwd. Deze concentraties werden niet meegenomen in de berekeningen. Uurgemiddelden

van de NH₃-concentraties in de afdeling (uitgaande lucht) en buiten de afdeling (ingående lucht) worden in Bijlage E als figuren weergegeven.

2.4.3 Emissie huisvestingssysteem

Om een indruk te krijgen van het NH₃-emissieniveau van de afdeling (d.w.z. zonder de wasser) werd de emissie als volgt bepaald:

$$E_{\text{NH}_3}^{\text{niveau}} = C_{\text{NH}_3}^{\text{bypass}} \cdot V^{\text{bypass}} + C_{\text{NH}_3}^{\text{voor wasser}} \cdot V^{\text{wasser}}$$

De werkelijke emissie van het huisvestingssysteem werd (op basis van semicontinu metingen) als volgt bepaald:

$$E_{\text{NH}_3}^{\text{cont}} = C_{\text{NH}_3}^{\text{bypass}} \cdot V^{\text{bypass}} + C_{\text{NH}_3}^{\text{voor wasser}} \cdot 0.05 \cdot V^{\text{wasser}}$$

En op basis van verzamelmonsters:

$$E_{\text{NH}_3\text{f}}^{\text{verz}} = C_{\text{NH}_3}^{\text{bypass}} \cdot V^{\text{bypass}} + C_{\text{NH}_3}^{\text{na wasser}} \cdot V^{\text{wasser}}$$

Hier werd de gemeten (verzamelmonsters) NH₃-concentratie vóór de wasser als beste schatting voor de NH₃-concentratie bij de bypass beschouwd.

Voor geur en stof werd de emissie van het huisvestingssysteem op basis van verzamelmonsters als volgt bepaald:

$$E_{\text{geur, stof}}^{\text{verz}} = C_{\text{geur, stof}}^{\text{bypass}} \cdot V^{\text{bypass}} + C_{\text{geur, stof}}^{\text{na wasser}} \cdot V^{\text{wasser}}$$

Voor alle meetdagen werd de geuremissie (OU_E s⁻¹) berekend als het product van geurconcentratie (OU_E m⁻³) en het totale ventilatie-debiet. Per geuremissie werd het natuurlijk logaritme (LN) berekend en gemiddeld. Dit geometrisch gemiddelde per periode is vervolgens weer door omzetting via de exponentiële functie op normale schaal uitgedrukt. Tenslotte is de geometrisch gemiddelde geuremissie per dier voor het gehele huisvestingssysteem berekend.

2.4.4 Rendementsmetingen

Het rendement van de wasser voor NH₃, geur en stof werd berekend door de gemeten concentraties van de behandelde lucht (na de wasser) te vergelijken met de concentraties van de ingaande lucht van de wasser. Hierbij werd de volgende formule gebruikt:

$$\text{Rendement} [\%] = \frac{C_{\text{ingaaand}} - C_{\text{uitgaand}}}{C_{\text{ingaaand}}} \times 100$$

C_{ingaaand} en C_{uitgaand} zijn de concentraties van NH₃, geur of stof van respectievelijk de ingaande en uitgaande lucht. Voor NH₃ wordt C_{ingaaand} bepaald op basis van continue metingen, en C_{uitgaand} direct gemeten (verzamelmonsters, natchemische methode). Voor geur en stof werden de gemeten verzamelmonsters (C_{ingaaand}, vóór de wasser; C_{uitgaand} na de wasser) gebruikt.

2.4.5 *Vergelijking theoretische benadering met praktijkmetingen*

Voor vergelijking van de praktijksituatie met de theoretische opzet van het bypassprincipe werden semicontinu metingen (elke 5-minuten een waarneming) gebruikt. Hieronder volgt een puntsgewijs overzicht hoe bij de berekeningen te werk is gegaan.

- Voor alle 5-minuten ventilatiedebiet waarnemingen (uitgedrukt in $\text{m}^3 \text{uur}^{-1} \text{dier}^{-1}$) werd berekend hoeveel lucht door de wasser de afdeling verliet t.o.v. van het totale ventilatiedebiet
- Deze waarnemingen werden in klassen van $0,5 \text{ m}^3 \text{uur}^{-1} \text{dier}^{-1}$ gegroepeerd, en per klasse werd een gemiddelde (hoeveelheid lucht door de wasser als % van het totale debiet) bepaald (praktijklijn)
- Op basis van de gerealiseerde dimensioneringsdebiet van de wasser ($30000/864=34,7 \text{ m}^3 \text{uur}^{-1} \text{dier}^{-1}$) werd berekend (per ventilatiedebietklasse) hoeveel lucht (theoretisch) door de wasser de stal zou moeten verlaten (theorielij)
- De praktijklijn en de theorielij werden met elkaar in een figuur vergeleken

Voor de vergelijking tussen de praktijkmetingen en de theoretische benadering van Melse en Ogink (2004) werden de volgende stappen gevolgd:

- Per dimensioneringsdebiet ($0-76 \text{ m}^3 \text{uur}^{-1} \text{dier}^{-1}$), en op basis van de gemeten waarnemingen wordt (theoretisch) bepaald hoeveel lucht (uitgedrukt als % van het totale ventilatiedebiet) de afdeling door de wasser zou moeten verlaten (lijn bypass theorie)
- Voor de gerealiseerde dimensioneringsdebiet van de wasser ($34,7 \text{ m}^3 \text{uur}^{-1} \text{dier}^{-1}$) werd op basis van alle waarnemingen de werkelijk gemiddelde hoeveelheid lucht door de wasser bepaald (1 waarneming: bypass gemeten)
- Deze twee praktijkberekeningen werden met elkaar en met de theoretische benadering van Melse en Ogink (2004) in een figuur vergeleken

3 Resultaten metingen

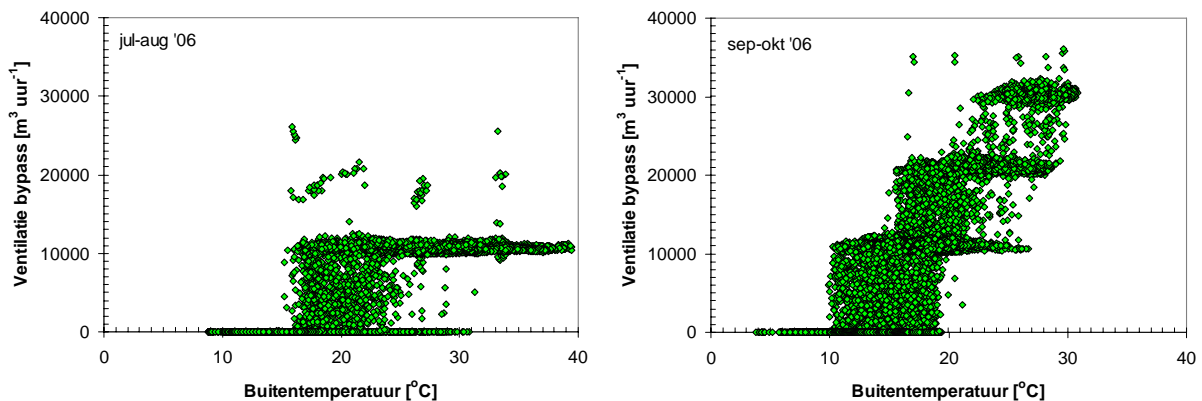
3.1 Klimaat en ventilatie-debiet

In tabel 4 worden de gemiddelde temperatuur en relatieve luchtvochtigheid buiten de stal weergegeven voor perioden met draaiende bypassventilatoren (bypass aan) of zonder bypassventilatoren (bypass uit). De waarden in de tabel kunnen niet met elkaar worden vergeleken, omdat ze over andere perioden zijn gemeten. Gemiddeld over de gehele meetperiode werden de bypassventilatoren alleen boven een buitentemperatuur van 13,5 °C aangezet. Echter, in de eerste twee maanden van het onderzoek (juli-augustus 2006) begon de eerste bypassventilator pas te draaien wanneer de buitentemperatuur boven de 15 °C was (figuur 4). In de periode september-oktober 2006 gebeurde dit al boven een buitentemperatuur van 10 °C (figuur 4), en boven de 15 °C begon de tweede bypassventilator te draaien. In tabel 5 wordt het gemiddelde ventilatie-debiet door de wasser en door de bypassventilatoren voor de gehele meetperiode weergegeven.

Tabel 4 Gemiddelde, minimale en maximale temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de buiten-, ingaande lucht chemische wasser, bypassventilatoren

	Temperatuur [°C]	Relatieve luchtvochtigheid [%]
Buiten		
Bypassventilatoren aan	21,4	73,3
Bypassventilatoren uit	13,5	89,6
Binnen (centrale afzuigkanaal)		
Voor de wasser	25,3	60,4
Bypass	24,6	66,5

Figuur 4 Ventilatie-debiet door de bypassventilatoren ten opzichte van de buitentemperatuur



Tabel 5 Ventilatie-debiet door de wasser en de bypassventilatoren

	Ventilatie-debiet [m³ uur⁻¹ dier⁻¹]
Bypass (totaal) ⁽²⁾	12,11
Ventilator 1 ⁽¹⁾	9,97
Ventilator 2 ⁽¹⁾	6,80
Ventilator 3 ⁽¹⁾	4,36
Wasser	20,31
Totaal (bypassventilatoren + wasser)	26,55

⁽¹⁾ Berekend op basis van meetgegevens waarbij de bypassventilator ook daadwerkelijk werkte

⁽²⁾ Berekend op basis van meetgegevens waarbij minimaal 1 van de bypassventilatoren aan stond

In Bijlage D staat het ventilatie-debiet van de chemische wasser en de bypassventilatoren tijdens de meetperiode grafisch gegeven.

3.2 Spuiwater

In tabel 6 worden de hoeveelheid en de samenstelling van het spuiwater weergegeven. De resultaten laten een stabiel beeld zien voor alle gemeten parameters, wat aanleiding geeft tot de conclusie dat de wasser goed gefunctioneerd heeft (spuien op het juiste moment). Opvallend in tabel 6 is het hogere gehalte aan $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ten opzichte van N-totaal. Deze verschillen zijn echter niet significant en worden voornamelijk veroorzaakt door de meetfout van de gebruikte analysemethoden: het gehalte aan N-totaal werd volgens Kjeldahl-methode bepaald, terwijl het gehalte aan $\text{NH}_4^+\text{-N}$ met een fotometrische methode na een 25-voudige massaverdunning werd bepaald.

Tabel 6 Datum spuien, hoeveelheid en samenstelling spuiwater

Datum	Hoeveelheid (liter)	N-totaal [g kg ⁻¹]	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ [g kg ⁻¹]	Drogestof [g kg ⁻¹]	pH
24-07-06	520	51,1	52,3	288	4,4
27-07-06	517	51,6	51,1	286	4,0
11-08-06	584	54,3	55,1	297	4,2
27-08-06	563	53,7	53,9	264	4,2
11-09-06	544	56,5	57,2	313	4,1
19-09-06	476	50,9	52,1	275	4,1
03-10-06	446	51,3	54,7	279	4,1
12-10-06	556	54,9	58,6	277	4,2
23-10-06	547	52,3	54,9	267	4,1
06-11-06	499	54,1	55,3	271	4,0
16-11-06	425	53,7	55,7	286	4,0

3.3 Ammoniakconcentratie en –rendement

De resultaten van de NH_3 -metingen (concentraties en rendement) staan in tabel 7. De metingen waarbij sulfaat in de wasfles werd aangetroffen zijn niet meegenomen in het gemiddelde. Het rendement van de wasser was voor alle metingen ruim boven de gewenste 95%. Het gemiddelde was 98%.

De totale (gemiddelde) emissie uit de stal (tabel 8) was 0,42 kg dierplaats⁻¹ jaar⁻¹ (op basis van semi-continue metingen en een geschatte rendement van 95% voor de chemische wasser (volgens Rav)). Dit betekent een reductie van ca. 75% ten opzichte van de geschatte emissie uit de afdeling zonder wasser (1,62 kg dierplaats⁻¹ jaar⁻¹). Op basis van verzamelmonsters (volgens nieuw meetprotocol voor NH_3) is een totale emissie van 0,36 kg dierplaats⁻¹ jaar⁻¹ berekend. Een reductie van 77%.

Tabel 7 Lengte meetperiode, aantal bruikbare meetdagen, NH_3 -concentraties (ingaaende lucht, voor wasser, na wasser, bypassventilatoren) en NH_3 -rendement van de chemische wasser over de meetperiode

	Continue metingen	Verzamelmetingen
Aantal dierplaatsen	864	864
Aantal meetdagen	181	6
Aantal bruikbare meetdagen	151	6
NH_3 -concentratie		
Ingaande lucht afdeling [mg m ⁻³]	0,10	–
Ingaande lucht wasser [mg m ⁻³]	7,38	6,92 ⁽²⁾
Uitgaande lucht wasser [mg m ⁻³]	–	0,13
Uitgaande lucht bypassventilatoren [mg m ⁻³] ⁽¹⁾	6,52	–
Rendement NH_3 chemische wasser [%]	–	98

⁽¹⁾ Berekend op basis van meetgegevens waarbij minimaal 1 van de bypassventilatoren aan stond

⁽²⁾ Berekend op basis van continue metingen over de meetperiode van de bijbehorende verzamelmonster

Tabel 8 NH₃-emissies (wasser, bypass en totaal) over de gehele meetperiode

	NH ₃ -emissie	
	[g uur ⁻¹]	[kg dierplaats ⁻¹ jaar ⁻¹] ⁽²⁾
Semi-continu metingen		
Uitgaande lucht bypassventilatoren ⁽¹⁾	34,98	0,35
Uitgaande lucht chemische wasser ⁽³⁾	6,22	0,06
Totaal	41,20	0,42
Verzamelmetingen		
Uitgaande lucht bypassventilatoren ⁽⁴⁾	32,69	0,33
Uitgaande lucht chemische wasser	2,48	0,03
Totaal	35,17	0,36

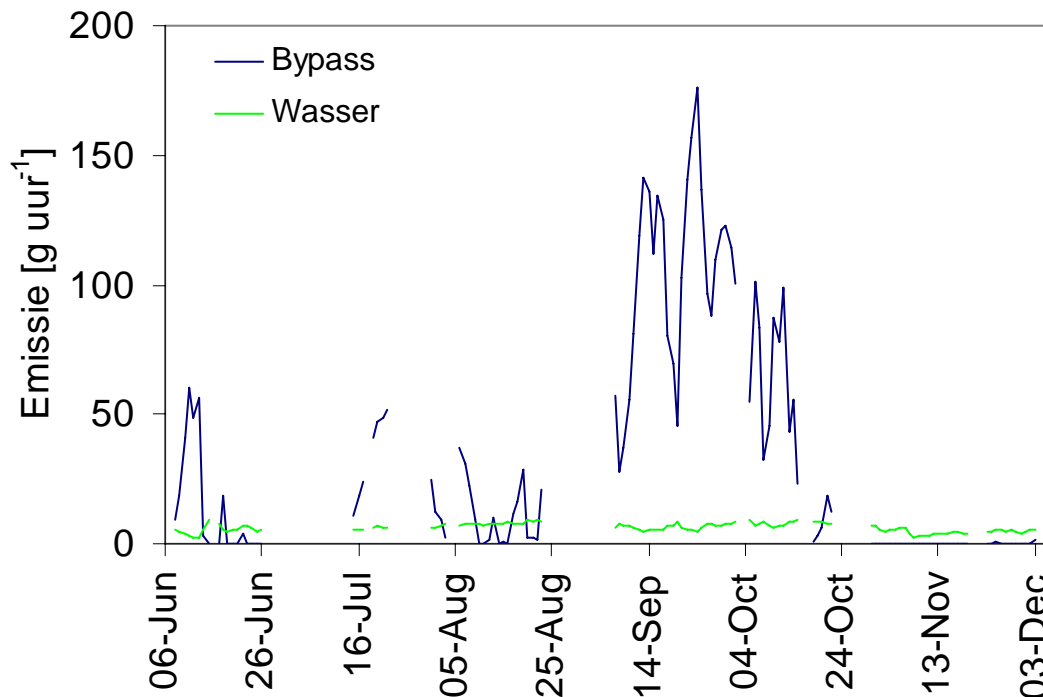
⁽¹⁾ Berekend over de totale meetperiode

⁽²⁾ 864 dierplaatsen, 10% leegstand niet berekend

⁽³⁾ Berekend op basis van een NH₃-rendement van 95% (volgens Rav)

⁽⁴⁾ NH₃-concentratie bij de bypassventilatoren niet gemeten met verzamelmonsters, voor de berekening de NH₃-concentratie vóór de wasser gebruikt

Figuur 5 laat zien dat de NH₃-emissie door de wasser consistent laag over de gehele periode is, met waarden over het algemeen kleiner dan 5 g uur⁻¹. De NH₃-emissie door de bypassventilatoren toont een grote variatie met de tijd.

Figuur 5 NH₃-emissie door de bypassventilatoren en door de wasser (semicontinu metingen)

3.4 Geurconcentratie en -rendement

In Tabel 9 wordt de geurconcentratie en -emissie per dierplaats bij de wasser en de bypassventilatoren weergegeven. Door technische problemen zijn er twee verzamelmetingen van de ingaande lucht vóór de wasser uitgevallen, waardoor deze geurconcentratie op basis van vier metingen werd bepaald. De totale geuremissie uit de stal werd bepaald als de som van de emissie door de wasser en de gewogen emissie door de bypassventilatoren. Aangenomen wordt dat de emissie door de bypassventilatoren nul is wanneer de bypassventilatoren buiten werking zijn. Voor de in werking zijnde bypassventilatoren wordt een emissie van 8,59 OU_E s⁻¹ per dierplaats (tabel 9) toegepast. De geuremissie was in het onderhavige onderzoek (12,5 OU_E s⁻¹ per dierplaats) lager dan de gemiddelde geuremissie voor een vleesvarken (23 OU_E s⁻¹), hoewel de verschillen niet significant waren. Het geschatte rendement van de wasser, uitgaande van de 4 beschikbare meetperioden, bedroeg gemiddeld 18%. De variatie tussen meetperioden was groot, waarbij in één van de perioden zelfs een

significant hogere geurconcentratie na de wasser ten opzichte van de geurconcentratie vóór de wasser gemeten werd. Wanneer deze meetperiode niet meegenomen wordt in de berekeningen is de geschatte geurreductie van de wasser (op basis van de gemiddelde rendementen) ruim 33%.

Tabel 9 Aantal metingen, de geurconcentratie voor en na de chemische wasser en bij de bypassventilatoren, en het geurrendement over de chemische wasser

	Wasser	Bypass
Aantal verzamelmetingen	6	4 ⁽¹⁾
Geurconcentratie ingaande lucht [OU _E m ⁻³]	2718 ⁽²⁾	–
Geurconcentratie uitgaande lucht [OU _E m ⁻³]	1758	1784 ⁽¹⁾
Geuremissie [OU _E s ⁻¹ per dierplaats]	8,04	8,59 ⁽¹⁾
Rendement chemische wasser (%)	33	

⁽¹⁾ Verzamelmetingen waarbij de bypassventilatoren overwegend ingeschakeld waren gedurende de metingen

⁽²⁾ Op basis van 4 verzamelmetingen

3.5 Stofconcentratie en -rendement

Fijn stof is stof dat voor het merendeel bestaat uit deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 µm, dit wordt aangeduid als PM10. Gezondheidsproblemen lijken vooral te worden veroorzaakt door deeltjes kleiner dan 2,5 µm. Deze grootte wordt aangeduid als PM2,5 (Aarnink en van der Hoek, 2004). Volgens het Milieu en natuur planbureau (Anonymus, 2005) is de gemiddelde concentratie fijnstof (PM10) 34 µg m⁻³.

In Tabel 10 worden de gemeten concentraties van fijn stof weergegeven. Zoals in hoofdstuk 2.3.6 aangegeven, werden de eerste twee metingen met impactoren uitgevoerd. Dit meetprincipe wordt voornamelijk toegepast bij metingen in de buitenlucht. Echter, bij hoge stofconcentraties (zoals in de stal kunnen voorkomen) en met name voor PM2,5 zouden de stofconcentraties hoger uit kunnen vallen ten opzichte van metingen met cyclonen (NB: de cyclonen waren gedurende de eerste twee meetperioden nog niet beschikbaar) omdat de scheiding van stofdeeltjes niet meer nauwkeurig verloopt (Aarnink, persoonlijke mededeling). Dit is in tabel 10 duidelijk te zien. De concentraties in het onderhavige onderzoek zijn lager dan de concentraties (1,26 mg m⁻³ voor PM10) gerapporteerd in Chardon en van der Hoek (2002).

Uitgaande van alleen de metingen met cyclonen bedroeg het gemiddelde rendement van de wasser 55% voor PM10 en 32% voor PM2,5. Aangezien niet duidelijk is wat de werkelijke stofconcentraties waren wanneer de impactor werd gebruikt, moeten alleen de concentraties die gemeten werden met cyclonen worden gebruikt om de stofemissie uit de stal (door de wasser en de bypassventilatoren) te bepalen. Echter, gedurende die twee perioden zijn geen gegevens beschikbaar van de concentraties/emissies door de bypassventilatoren (de bypassventilatoren stonden namelijk uit tijdens die metingen). Daardoor is het niet mogelijk om een nauwkeurige schatting van de stofemissies te maken.

Tabel 10 Stofconcentraties voor de wasser, bij de bypassventilatoren, na de wasser en buiten

	PM10 Impactor	PM10 Cycloon	PM2,5 Impactor	PM2,5 Cycloon
Aantal metingen	2	2	2	2
Concentratie [mg m ⁻³]				
Stal, vóór wasser en bypassventilatoren	0,28	0,30	0,12	0,03
Na wasser	0,12	0,13	0,03	0,02
Buiten	0,04	0,01	0,03	0,01
Emissie [g dierplaats ⁻¹ dag ⁻¹]				
Stal (zonder wasser)	0,20	0,08	0,08	0,01
Wasser	0,03	0,03	0,00	0,00
Bypassventilatoren	0,12	– ⁽¹⁾	0,05	– ⁽¹⁾
Rendement wasser [%]	61	55	69	32

⁽¹⁾ Bypassventilatoren uit

3.6 Technisch functioneren van het systeem

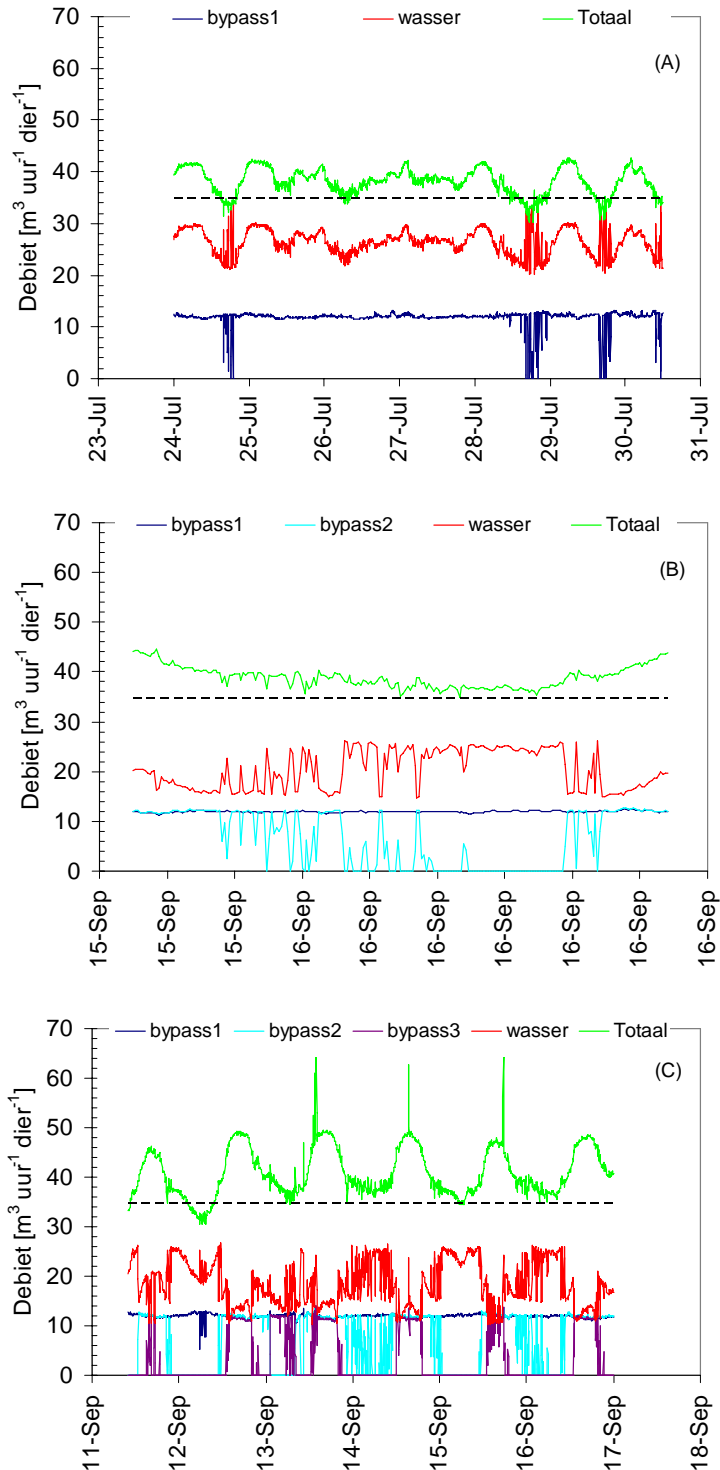
Tijdens het onderzoek hebben zowel de wasser als de bypassventilatoren geen storingen gegeven. De enige storing die zich heeft voorgedaan is het drooglopen van de pomp van de wasser. De oorzaak hiervan was eenmaal een te lage waterdruk in de watertoevoerleiding en een andere keer vuil op de meetsensor. Aan het eind van het onderzoek bleek de wasser vervuild. Bij het handmatig op maximum instellen van de ventilatoren bij de wasser werd een maximum debiet gehaald van 23.000 m³/uur, in plaats van 30.000 m³/uur. Door het openen van de deur naar buiten, lucht gaat niet meer via de wasser, werd wel weer 30.000 m³/uur geventileerd.

4 Vergelijking theoretische benadering met praktijkmetingen

4.1 Varkens

Om een indruk te krijgen van het samenspel tussen luchtafvoer door de chemische wasser en de luchtafvoer door de bypassventilatoren worden 3 figuren gepresenteerd. Figuur 6a t/m 6c geven zicht op de verdeling van de ventilatie wanneer respectievelijk 1, 2 of 3 bypassventilatoren in werking zijn.

Figuur 6 Ventilatie-debiet door de wasser, bypassventilatoren en totale ventilatie-debiet voor perioden met 1, 2 of 3 draaiende bypassventilatoren

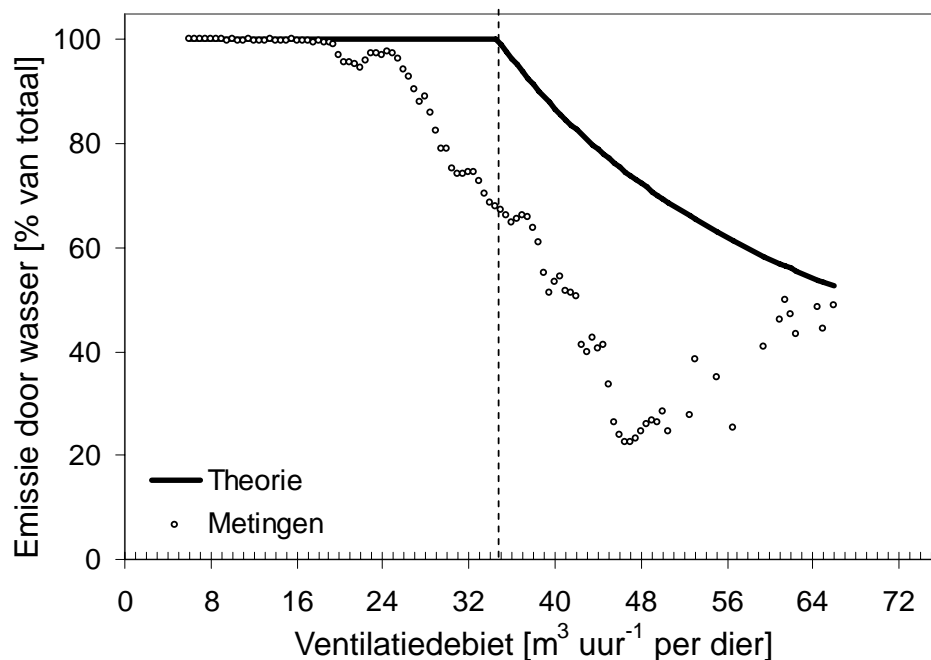


De theoretische dimensionering van de chemische wasser is dat 50% van het maximale ventilatiedebiet door de chemische wasser gaat en dat de bypassventilatoren alleen in werking zijn wanneer het ventilatieaanbod boven deze 50% komt. In dit onderzoek was het niet mogelijk om deze instelling zo strak uit te voeren. Het maximale ventilatiedebiet door de chemische wasser is 30.000 m³/uur, dit is 34,7 m³/uur per dierplaats. Het totale debiet dat kan worden afgevoerd door het centrale afzuigkanaal is 66.000 m³/uur, dit is 76,4 m³/uur per dierplaats. Daarnaast was het niet mogelijk de bypassventilatoren traploos te regelen, deze springen met een aan/uit regeling bij wanneer de ventilatiebehoefte boven de 34,7 m³/uur per dierplaats is (zie paragraaf 2.2). Uit de figuren blijkt echter dat het ventilatiedebiet door de chemische wasser afneemt naarmate er meer bypassventilatoren worden ingeschakeld.

In figuur 7 wordt een vergelijking gemaakt tussen de theoretische opzet van het bypassprincipe en de resultaten uit de metingen van dit onderzoek (NH₃-emissie door de wasser uitgedrukt als % van de totale emissie). Uitgangspunt is een dimensioneringsdebiet van 34,7 m³ uur⁻¹ dier⁻¹ (30.000 m³ uur⁻¹ door de wasser). De theoretische benadering gaat er vanuit dat alle uitgaande lucht door de wasser gaat wanneer het totale ventilatiedebiet onder het dimensioneringsdebiet (34,7 m³ uur⁻¹ dier⁻¹) ligt. Is het ventilatiedebiet groter dan het dimensioneringsdebiet, dan gaat 34,7 m³ uur⁻¹ dier⁻¹ door de wasser, en de rest via de bypassventilatoren. Bijvoorbeeld, voor een ventilatiedebiet van 48 m³ uur⁻¹ dier⁻¹ zal 34,7 m³ uur⁻¹ dier⁻¹ door de wasser gaan. Dit betekent dat ca. 72% (100 * 34,7/48) van de emissie wordt behandeld door de wasser (uitgaande van een vergelijkbare concentratie vóór de wasser en bij de bypassventilatoren).

Voor de praktijksituatie worden de gemeten data van dit onderzoek gebruikt. Er wordt dus gekeken naar het werkelijke ventilatiedebiet en naar de werkelijke gemeten emissie door de wasser en door de bypassventilatoren. Uit figuur 7 blijkt dat er een verschil is tussen de theoretische benadering en de metingen. De metingen geven aan dat al boven een debiet van ~29 m³ uur⁻¹ dier⁻¹ een deel van de emissie door de bypassventilatoren gaat. En dat voor een debiet van 34,7 m³ uur⁻¹ dier⁻¹ (dimensioneringsdebiet), 65% van de emissie door de wasser wordt behandeld.

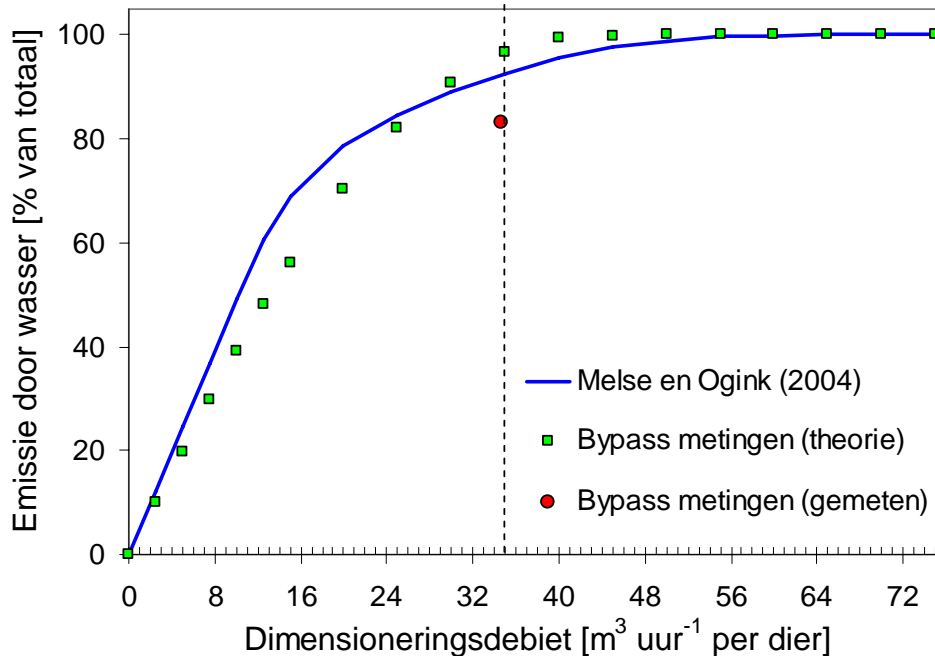
Figuur 7 Vergelijking tussen de verwachte (theorie) en gemeten (metingen) emissie door de wasser (als percentage van de totale emissie) voor het systeemcombinatie chemische wasser met bypass



Figuur 8 laat de resultaten zien van de vergelijking tussen de metingen van dit onderzoek (praktijk) en de theoretische benadering van Melse en Ogink (2004). Uit figuur 8 blijkt dat de ammoniakemissie door de wasser (% van totale emissie), geschat (per dimensioneringsdebiet) op basis van praktijkmetingen (bypass theorie), kwalitatief vergelijkbaar is met de theoretische benadering van Melse en Ogink (2004). Er zijn wel kwantitatieve verschillen tussen de twee theoretische benaderingen. Uitgangspunt voor Melse en Ogink (2004) was een centrale afzuiging voor 6 afdelingen (theoretische benadering op basis van data afkomstig van 6 verschillende afdelingen, in werkelijkheid zonder een centrale afzuiging). Voor de praktijkmetingen wordt de gemeten data

binnen het onderhavige onderzoek gebruikt. Figuur 8 laat zien dat de praktijkmetingen (voor het werkelijke dimensioneringsdebiet van $34,7 \text{ m}^3 \text{ uur}^{-1} \text{ dier}^{-1}$) onder de verwachting van de theoretische benadering liggen; Melse en Ogink (2004): 93% emissie door de wasser; bypass dit onderzoek (theorie): 97% emissie door de wasser; bypass dit onderzoek (gemeten): 83% emissie door de wasser).

Figuur 8 Vergelijking tussen de theoretische benadering van Melse en Ogink (2004) en metingen voor het systeemcombinatie chemische wasser met bypass



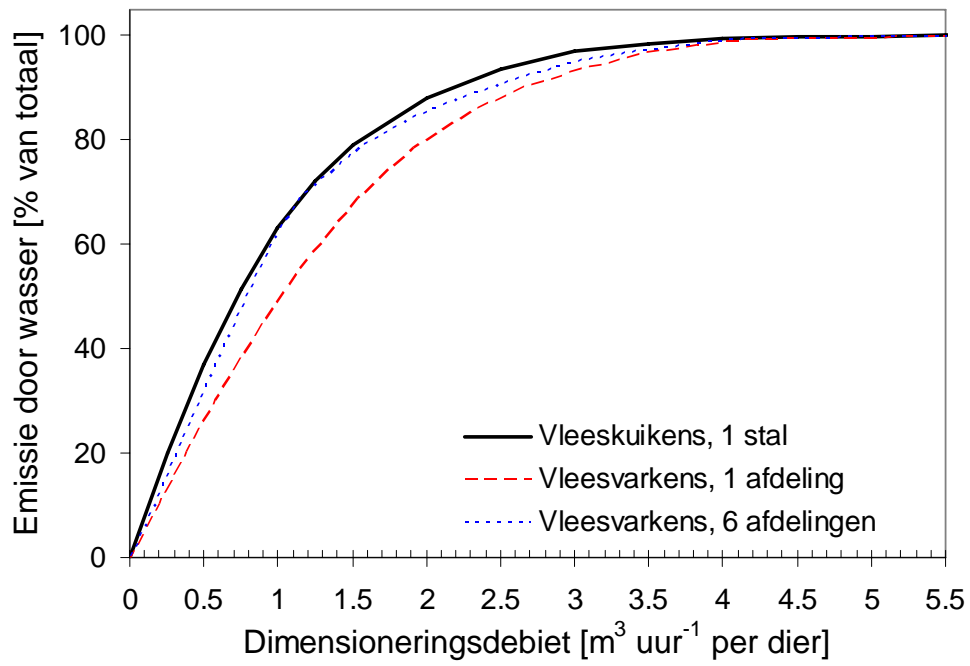
4.2 Pluimvee (vleeskuikens)

Voor pluimvee zijn er geen datasets beschikbaar met emissiemetingen aan stallen met bypassventilatoren naast een chemische wasser. Daardoor is het niet mogelijk om de analyse die gedaan werd voor varkens (hoofdstuk 4.1) ook voor pluimvee uit te voeren. Om toch een beeld te krijgen van het verwachte effect wanneer het bypass-systeem toegepast zou worden voor pluimveebedrijven zijn de theoretische benaderingen voor vleesvarkens en voor vleeskuikens met elkaar vergeleken (figuur 9). Aangezien het maximale ventilatiedebiet (per dier) voor vleesvarkens veel hoger is dan voor vleeskuikens ($72 \text{ m}^3 \text{ uur}^{-1} \text{ dier}^{-1}$ voor vleesvarkens, $5,5 \text{ m}^3 \text{ uur}^{-1} \text{ dier}^{-1}$ voor vleeskuikens) is een directe vergelijking niet mogelijk. Voor de vergelijking wordt daardoor het ventilatiedebiet (dimensioneringsdebiet) voor vleesvarkens aangepast, zodat de schalen voor vleesvarkens en vleeskuikens vergelijkbaar zijn:

$$\text{Aangepast dimensioneringsdebiet (vleesvarkens)} = \text{dimensioneringsdebiet (vleesvarkens)} * 5,5 / 72$$

Figuur 9 laat zien dat, theoretisch gezien, de verwachtingen voor de toepassing van het bypass voor vleeskuikens en vleesvarkens vergelijkbaar zijn. Het is echter niet bekend wat het werkelijke effect in de praktijk zal zijn, aangezien voor vleesvarkens de theoretische benadering en de praktijk niet altijd vergelijkbaar waren.

Figuur 9 Emissie door de wasser (% van totale emissie) vs. het dimensioneringsdebiet voor vleeskuikens en vs. een aangepast dimensioneringsdebiet (zie tekst) voor vleesvarkens



5 Discussie

Onderstaand worden een aantal aspecten van de metingen besproken die een relatie hebben met de vergelijking tussen de theoretische benadering (Melse en Ogink, 2004) en de praktijkmetingen (dit onderzoek).

Ammoniakemissie

Uit de resultaten blijkt dat er minder ammoniakemissie naar de wasser is gegaan dan vooraf aangenomen. Volgens de theorie zou bij een dimensionering op 50% van de capaciteit ongeveer 93% van de emissie naar de wasser gaan (Melse en Ogink, 2004). Dit is uiteindelijk 83% geworden. Oorzaak is het terugvallen van het debiet door de wasser als de bypassventilatoren aan gaan en het afnemende debiet door de wasser door de vervuiling.

Uit de metingen blijkt dat de wasser, ondanks de vervuiling, altijd een hoog verwijderingsrendement heeft gehaald van boven de 95%. De vervuiling heeft alleen invloed gehad op het luchtdebiet door de wasser en niet op het afvangen van de ammoniak uit de stallucht. De uiteindelijke berekende emissie is 0,42 kg NH₃/dierplaats/jaar op basis van de semicontinu metingen en 0,36 kg NH₃/dierplaats/jaar op basis van de verzamelmetingen (tabel 8). Uit de zes afdelingen is een emissie berekend op basis van de concentratie en het debiet van 1,62 kg NH₃/dierplaats/jaar. Dit is hoger dan de in de Rav opgenomen emissiefactor van 1 kg NH₃/dierplaats/jaar voor het IC-V-systeem, maar lager dan de emissiefactor van 3,5 kg NH₃/dierplaats/jaar van traditionele huisvesting. De totale reductie ten opzichte van de berekende emissie uit de afdelingen, op basis van een verwijderingsrendement van 95% van de luchtwasser, is 75%. Op basis van het nieuwe meetprotocol is de reductie 77%. Beide percentages vallen buiten de verlaging van 7-10% zoals berekend door Melse en Ogink (2004). De belangrijkste oorzaak van dit verschil is het lagere debiet door de luchtwasser.

Geuremissie

Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de gemeten geuremissies in het onderhavige onderzoek (12,5 OU_E s⁻¹), en de geuremissie van een traditioneel systeem (23,0 OU_E s⁻¹ per dierplaats). Het gemiddelde verwijderingsrendement van de wasser was 33% (tabel 7).

Fijn stof emissie

Tijdens dit onderzoek werd gebruik gemaakt van twee verschillende meetinstrumenten (impactoren en cyclonen) voor het bepalen van de concentraties fijn stof (PM10 en PM2,5). Echter, impactoren kunnen de concentraties PM10 en met name PM2.5 bij hoge stofconcentraties overschatten. Daardoor is het gekozen om alleen de data van de metingen met cyclonen te gebruiken voor het bepalen van stofconcentraties en -emissies. De resultaten van de metingen geven een emissie van PM10 uit de stal (zonder wasser) van 0,08 g dag⁻¹ per dierplaats (29,2 g jaar⁻¹ per dierplaats). Dit is veel lager dan de in Chardon en Van der Hoek (2002) gerapporteerde emissie van 305 g jaar⁻¹ per dierplaats. Voor PM2,5 werd een emissie van 0,01 g dag⁻¹ per dierplaats (2,4 g jaar⁻¹ per dierplaats) gemeten. Het gemiddelde rendement van de wasser was 55% voor PM10 en 32% voor PM2,5.

Ventilatiedebiet door luchtwasser

Uitgangspunt van het onderzoek was dat er op de momenten dat de bypassventilatoren aan zijn, minimaal 30.000 m³/uur door de wasser zou worden geventileerd (de capaciteit van de wasser). Dit is echter niet gerealiseerd. Uit de metingen van het ventilatiedebiet komt duidelijk de regeling van de ventilatoren tot uiting. Bij het inschakelen van de bypassventilatoren neemt het debiet van de wasser ventilatoren tijdelijk af. Vanwege dit aspect zijn er momenten dat niet geheel voldaan aan het uitgangspunt. Dit is het gevolg van de keuze van de ventilatoren in samenhang met de regeling er van. Door het af te voeren debiet door de bypassventilatoren in kleinere stappen in te delen, zal het debiet door de wasser minder afnemen en in totaal meer ammoniak naar de wasser gaan. Een andere regeling van de ventilatoren is nauwelijks mogelijk zonder grote gevolgen voor het klimaat in de afdelingen of kans op aanzuigen van leklucht via de kokers van de bypassventilatoren.

Naast het effect van de regeling van de bypassventilatoren op het ventilatiedebiet door de wasser ventilatoren heeft ook de vervuiling van de wasser bijgedragen aan een lager debiet door de wasser. Bij oriënterende metingen na afloop van de meetperiode werd geconstateerd dat, door de wasser handmatig op maximum te zetten, slechts maximaal 23.000 m³/uur door de wasser ging in plaats van de te verwachten 30.000 m³/uur. Bij het openen van de deur bij de wasser waardoor de ventilatielucht niet meer door de wasser gaat, werd de 30.000 m³/uur wel gehaald. Dat de wasser ventilatoren een afnemend debiet hadden tijdens het onderzoek blijkt ook uit figuur 4. In de periode september - oktober zijn bij gelijke buitentemperaturen de bypassventilatoren vaker ingeschakeld. Het lagere debiet door de wasser heeft bijgedragen tot het lagere percentage van de totale ammoniakemissie dat door de wasser is gegaan.

Pluimvee

Voor de pluimveehouderij is een vergelijking gemaakt op basis van een omgerekend ventilatiedebiet bij vleeskuikens. Uit de metingen van het ventilatiedebiet in dit onderzoek werd duidelijk dat een belangrijk aspect de regeling van de bypass- en wasserventilatoren is. In pluimveestallen wordt de laatste jaren vrijwel standaard lengteventilatie toegepast. De regeling die bij dit systeem wordt toegepast is gelijk aan de regeling van de ventilatoren in dit onderzoek: een aantal frequentie gestuurde ventilatoren met aanvullend, vanaf ca 40% van de totale ventilatiebehoefte, aan/uit geregelde ventilatoren. Op basis van deze regeling is het aannemelijk dat als in deze situatie het aandeel frequentie geregelde ventilatoren wordt verhoogd naar minimaal 50%, de uiteindelijke emissiereductie vergelijkbaar zal zijn aan die in dit onderzoek.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Dit onderzoek is opgezet om de theoretische benadering van de emissiereductie van een chemische luchtwasser met bypassventilatoren te toetsen. Op basis van de resultaten komen we tot de volgende conclusies:

- Het verwijderingsrendement van een chemische luchtwasser voor NH₃ wordt niet beïnvloed door het feit dat slechts een deel van de ventilatielucht door de wasser gaat.
- De theoretische benadering door Melse en Ogink (2004) wordt deels onderschreven door dit onderzoek ten aanzien van de reductie van ammoniakemissie. De techniek van een luchtwasser met bypassventilatoren biedt perspectieven om de NH₃-emissie te reduceren, mits voldaan wordt aan bepaalde randvoorwaarden.
- De ammoniakemissiereductie van een luchtwasser met bypassventilatoren is afhankelijk van het debiet dat door de wasser gaat. In het onderhavige onderzoek was de totale reductie 75% bij een chemische wasser met een verwijderingsrendement van 95% voor NH₃.
- Doordat de luchtwasser zwaarder wordt belast treedt mogelijk eerder vervuiling op van het waspakket ten opzichte van een wasser die wordt ingezet voor het maximale debiet. Dit heeft geen invloed op het verwijderingsrendement. Wel op de luchthoeveelheid die door de wasser kan.
- Er zijn geen onderscheidende verschillen gevonden tussen de geuremissie in het onderhavige onderzoek en de geuremissie van een traditionele systeem. Het rendement van de wasser voor geur was gemiddeld 33%.
- Voor fijn stof was het rendement van de wasser 55% voor PM10, en 32% voor PM2,5.
- Theoretisch gezien zijn de resultaten van dit onderzoek vertaalbaar naar de pluimveesector. Het is echter niet bekend wat het werkelijke effect in de praktijk zal zijn. Om dit aan te tonen zijn praktijkmetingen nodig.

6.2 Aanbevelingen

Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat de techniek van een luchtwasser met bypassventilatoren een bijdrage kan leveren aan het reduceren van de emissies uit de veehouderij, met waarschijnlijk lagere kosten. Belangrijk is om bij de installatie van de techniek goede keuzes te maken ten aanzien van de capaciteiten van de ventilatoren en de regeling er van. De capaciteit van de bypassventilatoren moet niet te hoog zijn in verhouding tot de capaciteit die door de wasser gaat, gegeven de toegepaste regeling waarbij de capaciteit van de wasser ventilatoren wordt verlaagd bij het aangaan van de bypassventilatoren. Een eerste richtlijn is om de totale capaciteit van de bypassventilatoren in minimaal drie stappen te verdelen.

Voor controle en handhaving is registratie van het debiet door de luchtwasser essentieel. Doordat de wasser gemiddeld zwaarder wordt belast, is er eerder kans op vervuiling met als gevolg een afname van het debiet. Om dit te voorkomen moet de wasser op tijd worden schoongemaakt. Hiervoor kan een standaardtermijn worden ingesteld, maar beter is om dit te laten doen op basis van het debiet door het waspakket. Dit kan zodanig worden geautomatiseerd dat de gebruiker wordt gewaarschuwd als het debiet bij maximale aansturing van de ventilatoren beneden een bepaalde waarde komt. Dit aspect moet worden opgenomen in de beschrijvingen voor controle en handhaving. Een voorstel hiervoor is opgenomen in bijlage F.

Voor het vaststellen van een emissiefactor die kan worden opgenomen in de Rav zijn aanvullende metingen nodig op zowel varkens- als pluimveebedrijven. Hierbij rekening houden met het hiervoor genoemde aspect van vervuiling.

Literatuur

- Aarnink, A.J.A. en K.W. van der Hoek, 2004. Opties voor reductie van fijn stof emissie uit de veehouderij. Agrotechnology & Food Innovations, Wageningen / RIVM, Bilthoven.
- Aarnink, A., Z. Yang, T. van Hattum en J.M.G. Hol (2007). Reductie fijn stofemissie uit varkensstallen door combiwassers. ASG Rapport (in voorbereiding).
- Anonymous (2005). Fijn stof nader bekeken. De stand van zaken in het dossier fijn stof. MNP Rapport 500037008, Milieu en Natuur Planbureau, Bilthoven.
- Binkley, D. en D. Richter (1987). Nutrient cycles and H⁺ budgets of forest ecosystems. *Advances in Ecological Research* 16, 1–51.
- Bobbink, R., D. Boxman, E. Fremstad, G. Heil, A. Houdijk en J. Roelofs (1992). Critical loads for nitrogen eutrophication of terrestrial and wetland ecosystems based upon changes in vegetation and fauna. In *Critical loads for nitrogen* (eds. Grennfelt, P. and E. Thörnelöf), p.41. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- CEN, 2003. Air quality: Determination of odour concentration by dynamic olfactometry (EN 13725). Brussels, Belgium: European Committee for Standardization.
- Chardon, W. J., and K. W. Van der Hoek. 2002. Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw. Rapport 682, Alterra / RIVM, Wageningen.
- EU (2001). Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. *Official Journal L* 309, 27/11/2001, pp. 22-30
- Heij, G.J., en T. Schneider (1991). Acidification research in the Netherlands. In *Studies in Environmental Science* 46 (eds. Heij, G.J. and Schneider, T.), pp. 3-24, Elsevier, Amsterdam.
- Heil, G.W. en M. Bruggink (1987). Competition for nutrients between *Calluna vulgaris* (L.) Hull and *Molinia caerulea* (L.) Moench. *Oecologia* 73, 105–107.
- Hofschreuder, P., A. J. A. Aarnink, Y. Zhao, and N. W. M. Ogink. 2007. Measurement protocol for determining fine dust emission factors of animal housing systems. In: *DustConf 2007, How to improve air quality. International Conference, 23-24 April, Maastricht, The Netherlands*
- Klimaatplatform Varkenshouderij. 2006. Normen klimaatinstellingen juni 2006.
- Melse, R.W. en N.W.M. Ogink (2004). Toepassing van luchtbehandelingstechnieken binnen de intensieve veehouderij. Fase 2: Mogelijkheden tot kostenverlaging van wassers. A&F Rapport 271.
- MNP (2005). Milieucompendium 2005: Milieu en Natuur in cijfers.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - bepaling van de pm 10 fractie van zwevend stof - referentiemethode en veldonderzoek om de referentie gelijkwaardigheid aan te tonen van meetmethoden., Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- NEN-EN 14907. 2005. Ambient air quality - standard gravimetric measurement method for the determination of the pm2,5 mass fraction of suspended particulate matter., Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- Ogink, N.W.M. en G. Mol (2002). Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. IMAG nota P 2002-57, 31 pp.
- Ogink, N.W.M., J.M.G. Hol, J. Mosquera en H.M. Vermeer (2007). Aanpassing van het meetprotocol NH₃-emissiemetingen in de veehouderij. Rapport in druk, Animal Sciences Group, Wageningen.
- Schulze, E.D., W. de Vries, M. Hauhs, K. Rosén, L. Rasmussen, S.O. Tamm en J. Nilsson (1989). Critical loads for nitrogen deposition on forest ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution* 48, 451–456.
- Sliggers, J. (Ed) (2001). Op weg naar duurzame niveaus voor gezondheid en natuur. Overzichtspublicatie thema verzuring en grootschalige luchtverontreiniging. Rapport VROM 010344/h/10-01 17529/187, Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), Den Haag, oktober 2001, 229 pp.
- Van Breemen, N. en H.F.G. van Dijk (1988). Ecosystem effects of atmospheric deposition of nitrogen in the Netherlands. *Environmental Pollution* 54, 249–274.
- Van Dam, D., H.F. van Dobben, C.F.J. ter Braak en T. de Wit (1986). Air pollution as a possible cause for the decline of some phanerogamic species in the Netherlands. *Vegetatio* 65, 47–52.
- Van Ouwkerk, E.N.J (ed.). 1993. Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 16. DLO, Wageningen, pp. 178.
- VROM (1989). Nationaal Milieubeleidsplan: kiezen of verliezen. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag.
- VROM (1998). Nationaal Milieubeleidsplan 3. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag.
- VROM (2001). National Environmental Policy Plan-4. VROM, The Hague, the Netherlands.
- Weast, R.C., M.J. Astle en W.H. Beyer (1986). *Handbook of chemistry and physics*, 67th Edition. Florida, CRC Press Inc.

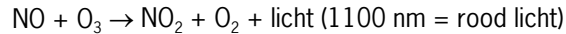
Wintjens, Y. (1993). Gaswasfles. In Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak- problematiek in de veehouderij 16 (eds E.N.J. van Ouwerkerk), pp. 38-40. DLO, Wageningen.

Bijlagen

Bijlage A Principe en kalibratieresultaten NO_x-monitor

Meetprincipe

De ammoniakconcentratie wordt continu gemeten met een NO_x-monitor (Advanced Pollution Instrumentation Inc., (model 200A). De meting is gebaseerd op de chemiluminescentiereactie tussen ozon (O₃) en stikstofmonoxide (NO). Bij deze reactie komt stikstofdioxide (NO₂), zuurstof (O₂) en licht vrij. De stroomlichtdeeltjes zijn evenredig met de NO-concentratie van de aangezogen lucht:



Om ammoniak (NH₃) te kunnen meten moet het eerst door een converter worden omgezet tot NO. In de converter wordt de lucht verhit tot circa 775°C. Bij deze temperatuur wordt NH₃ aan een roestvrijstalen katalysator geoxideerd tot NO. De luchtmonsters worden continu via verwarmde en geïsoleerde teflonslangen aangezogen. NH₃ adsorbeert namelijk makkelijk aan allerlei materialen en lost makkelijk op in water, waardoor metingen kunnen worden verstoord (Bleijenberg, R en Ploegaert, J.P.M. Handleiding meetmethoden ammoniakemissies uit mechanisch geventileerde stallen. Wageningen, IMAG-DLO, 1994; Rapport 94-1, 76 pp).

Kalibratieresultaten

Tijdens de meetperiode was de maximaal meetbare NH₃-concentratie ingesteld op 50 ppm. Iedere week werd de monitor gekalibreerd met NO-gas in stikstof van 10,2 ppm (van 7 juni tot 23 augustus) en 41,0 ppm (23 augustus tot 30 november). Tijdens deze perioden bedroeg de absolute afwijking tijdens de kalibratie gemiddeld 8,3%. Voor het verloop in ammoniakconcentratie tussen twee kalibraties zijn de concentraties lineair op basis van de duur sinds de voorafgaande kalibratie gecorrigeerd.

Bijlage B Omzettingspercentages converters

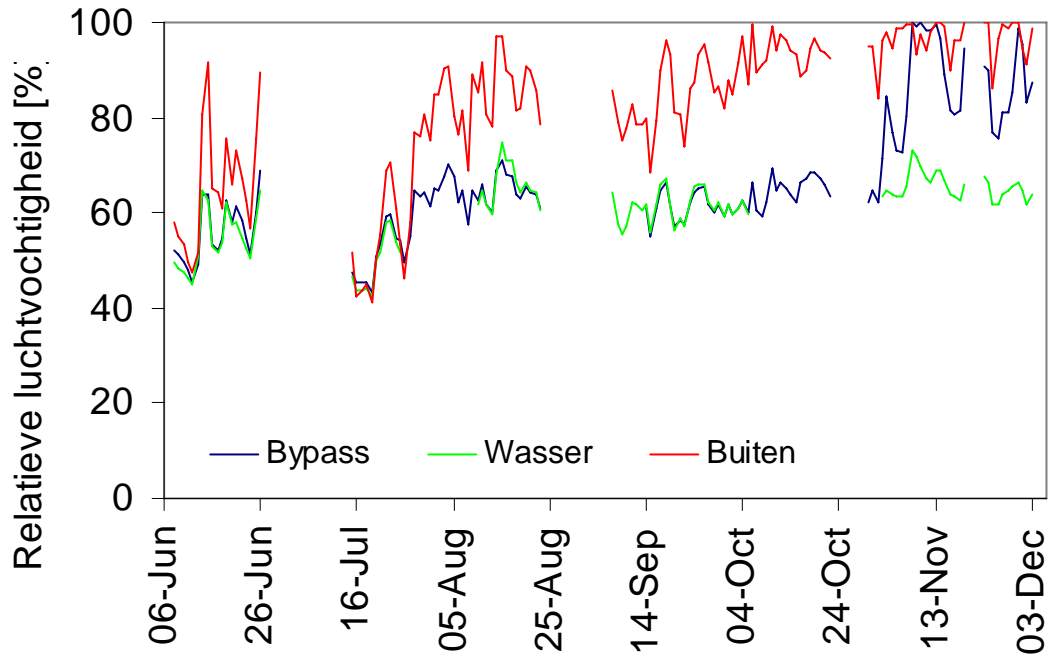
In onderstaande tabel staat per meetpunt het gemiddelde omzettingspercentage van de converters weergegeven bij aanbieding van ongeveer 10 en 30 ppm NH₃ in N₂. De omzettingspercentages van de converters zijn bepaald voor het begin en na het einde van de in de tabel aangegeven meetperiodes. Per meetpunt is het gemiddelde van de omzettingspercentages van de aanwezige converters gebruikt voor de correctie van de NH₃-concentratie.

Tabel D Gemiddeld omzettingsrendement van de converters

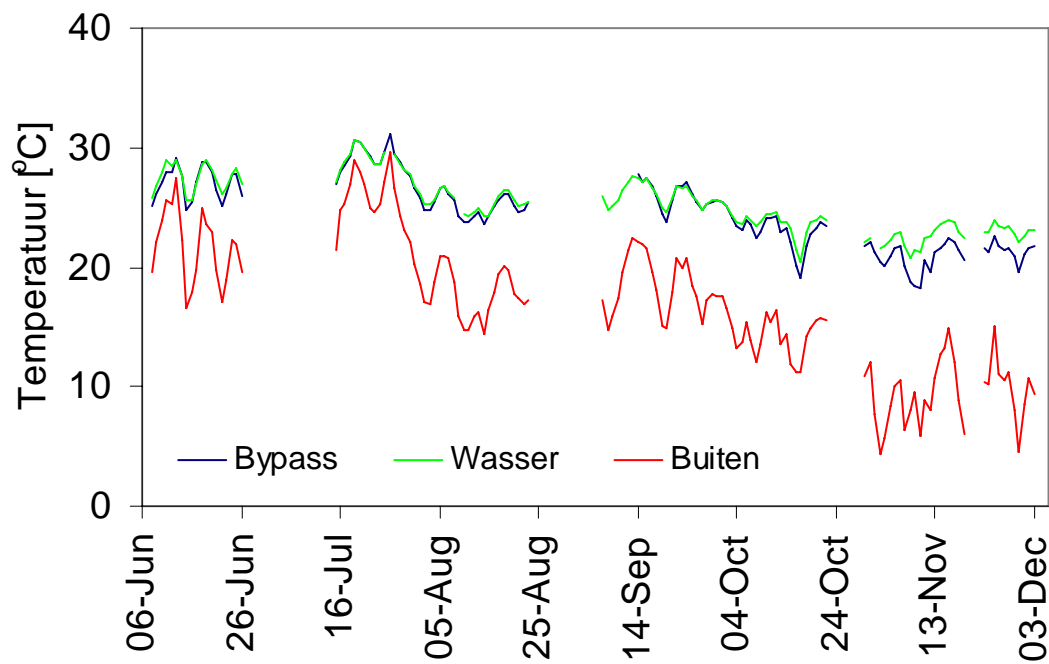
	Omzettingspercentage
Uitgaande lucht wasser	95
Uitgaande lucht bypass	93
Ingaande lucht	94

Bijlage C Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Daggemiddelden van de relatieve luchtvochtigheid [%] buiten de stal en in de centrale afzuigkanaal in de stal voor de wasser en bij de bypass

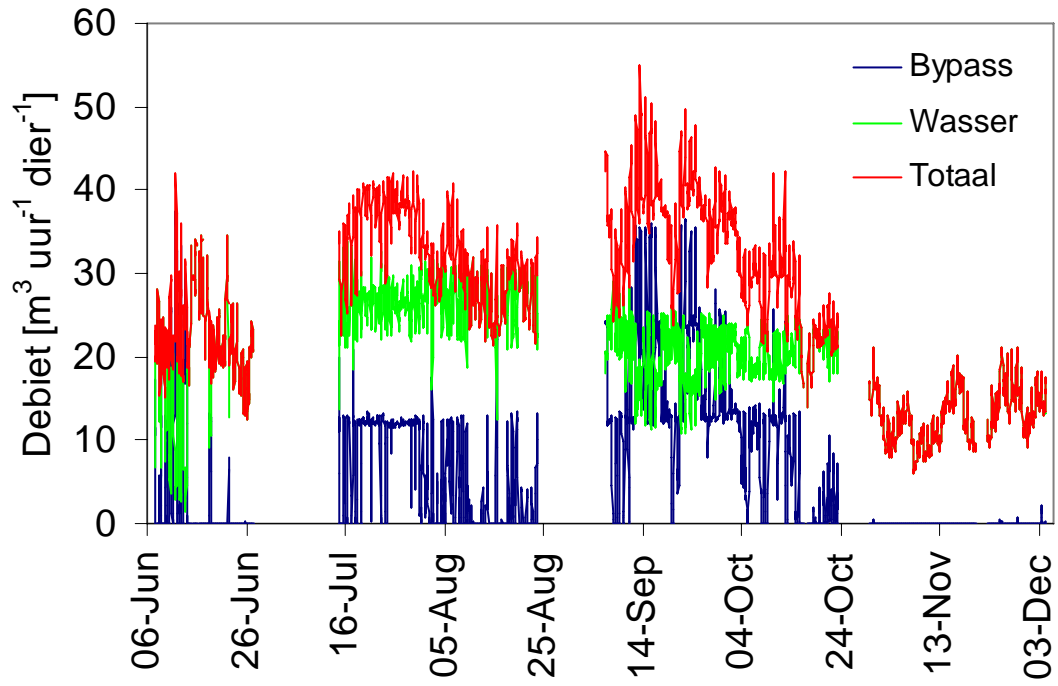


Daggemiddelden van de temperatuur [°C] buiten de stal en in de centrale afzuigkanaal in de stal voor de wasser en bij de bypass



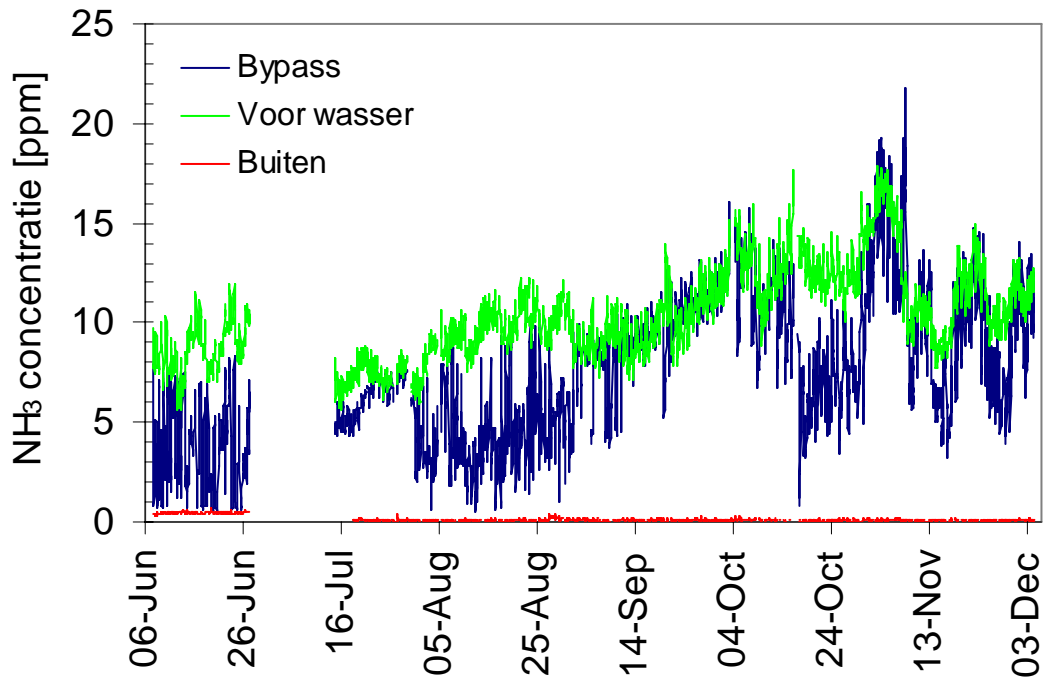
Bijlage D Ventilatie-debiet

Uurgemiddelden van het totale ventilatie-debiet en het ventilatie-debiet door de wasser en door het bypass



Bijlage E Ammoniakconcentratie

Uurgemiddelden van de NH₃-concentratie [ppm] in de afdeling (uitgaande lucht) en buiten de afdeling (ingående lucht)



Bijlage F Voorstel voor controle en handhaving luchtwassers met bypassventilatoren

Bij aanvraag/realisatie milieuvergunning

Leverancier levert bij het dimensioneringsplan van de luchtwasser (bij vergunningaanvraag) aanvullende gegevens aan, zodat het bevoegde gezag op basis van de jaarlijks aangeleverde data door de veehouder een eenvoudige controle kan uitvoeren of het systeem naar behoren draait. Deze aanvullende gegevens zijn:

- a) maximale ventilatiebehoefte van de stal
- b) maximale luchthoeveelheid door de luchtwasser en bypassventilatoren
- c) het drukverschil over het waspakket waarbij de wasser moet worden schoongemaakt
- d) het te verwachten zuurverbruik per jaar
- e) de te verwachten spuiproductie per jaar
- f) de geplande afzetroute van het spuiwater
- g) het te verwachten aantal uren dat de bypassventilatoren in werking zullen zijn en/of de verwachte hoeveelheid lucht (in m³) op basis van gegevens KNMI langjarige gemiddelden
- h) het te verwachten pH-bereik in het waswater (minimum en maximum)

Tijdens gebruik

- 1) De veehouder is verantwoordelijk en monitort het systeem. Wanneer er afwijkingen zijn moet hij uitleggen hoe dit komt. De ondernemer heeft een monitoringsmap.
- 2) De techniek is zodanig geïnstalleerd dat de bypassventilatoren in gebruik zijn als de luchtwasser maximaal is belast. Er zijn noodvoorzieningen aanwezig voor het geval er calamiteiten optreden. Veehouder zal gebruik er van vast moeten leggen in een logboek.
- 3) De veehouder stelt één keer per jaar een rapportage "functioneren luchtwasser en bypass" op. Ten behoeve van deze rapportage worden gedurende het gehele jaar onderstaande gegevens automatisch gesampled:
 - luchtstroom via wasser (m³/jaar)
 - luchtstroom via bypassventilatoren (m³/jaar)
 - drukverschil over het waspakket (Pa)
 - draaiuren pompen (toevoegen zuur en bevochtigen wasser)
 - pH waswater
 - zuurverbruikHet toeleverend bedrijfsleven maakt een standaard analyseprogramma waarin aan de hand van de gesampled gegevens inzicht verkregen wordt of de betreffende ammoniaknorm gehaald is of niet. Ook wordt aangegeven hoeveel lucht (in m³) er daadwerkelijk via de bypassventilatoren uit de stal afgevoerd is. De onderhoudsfirma maakt deze rapportage, gekoppeld aan het onderhoudscontract en zet zijn handtekening hierop. Het samplen van gegevens en het analyseprogramma is een tool die onafhankelijk is en zo goed als niet te manipuleren.
- 4) De veehouder bewaart deze rapportage in de monitoringsmap. Een samenvatting gaat naar de gemeente.
- 5) Bij controle door de gemeente kan via de genoemde rapportage inzicht in het functioneren van de luchtwasser met bypassventilatoren verkregen worden. Tevens kan de gemeente ter plekke de gesampled gegevens van het afgelopen maand/jaar bekijken via inloggen, dat a la minuut mogelijk is.

Toekomst

Mogelijk dat in de toekomst de jaarrapportage door een hiervoor gecertificeerd bedrijf (kan een lokaal installatiebedrijf) beoordeeld wordt. Deze onafhankelijke beoordeling leidt tot de conclusie: alles akkoord of niet akkoord. In deze geen monopoliepositie bij een bedrijf neerleggen. Deze conclusie gaat dan naar de gemeente.