

Animal Sciences Group

Divisie Veehouderij, kennispartner voor de toekomst



process for progress

Rapport 66

Reductie van fijn stofemissie door combiwasser van Big Dutchman

Augustus 2007



ANIMAL SCIENCES GROUP

WAGENINGEN UR

Dit onderzoek is mogelijk gemaakt door financiering vanuit de Ministeries van LNV en VROM.

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

Abstract

This report describes the efficiency of the MagixX multi-stage air scrubber of the Big Dutchman company to reduce fine dust emissions from pig houses.

Keywords: fine dust, multi-stage scrubber, emission, pig houses

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s): A.J.A. Aarnink, T. van Hattum, A. Hol, Y. Zhao

Titel: TReductie van fijn stofemissie door combiwasser van Big DutchmanT
Rapport 66

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de fijn stofreductie uit varkensstallen door de MagixX combiwasser van Big Dutchman.

Trefwoorden: fijn stof, combiwasser, emissie, varkensstal



Rapport 66

Reductie van fijn stofemissie door combiwasser van Big Dutchman

Reduction of fine dust emission by combi-scrubber of Big Dutchman

A.J.A. Aarnink

T. van Hattum

A. Hol

Y. Zhao

Augustus 2007

Samenvatting

De ministeries van VROM en LNV starten dit jaar een programma om de toepassing van gecombineerde luchtwassers voor intensieve veehouderijen te stimuleren. Combiwassers verwijderen zowel ammoniak, geur als fijn stof uit de stallucht. Op dit moment is echter nog niet bekend wat het rendement is van deze wassers voor de reductie van fijn stofemissie (PM10 en PM2.5). Daarom moest een versneld meetprogramma worden uitgevoerd om dit rendement te bepalen. De metingen moeten als indicatief worden gezien, aangezien o.a. geen seizoenseffecten zijn meegenomen. In dit rapport worden de metingen beschreven die gedaan zijn aan de MagixX combiwasser van de firma Big Dutchman.

Metingen werden gedaan aan een luchtwasser die alle lucht reinigde van een stal voor 520 vleesvarkens. De stal bestond uit 5 afdelingen en de ventilatielucht van deze afdelingen werd via een centraal luchtkanaal en via de luchtwasser afgevoerd naar buiten. De gecombineerde wasser bestond uit drie lagen: een wasstap met alleen water, een wasstap met zuur en een wortelhoutfilter. De eerste wasstap vangt het merendeel van het stof af, de zure wasstap vangt vooral de ammoniak af, terwijl het wortelhoutfilter vooral zorgt voor binding en afbraak van geurcomponenten. De in- en uitgaande lucht van de wasser werd zes maal gedurende perioden van 24 uur bemonsterd voor bepaling van de concentraties fijn stof (PM10 en PM2.5). De hoeveelheid stof in de bemonsterde lucht werd via weging bepaald. De zwaardere stofdeeltjes werden door de bemonsteringsapparatuur afgescheiden via de methode van impactie. Voor het aanzuigen van de lucht werden 'constant flow' pompen gebruikt.

De gemiddelde ingaande PM10 concentratie was $711 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De gemiddelde concentratie van de uitgaande lucht was $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Op basis van deze gegevens kan een gemiddelde reductie voor PM10 worden berekend van 93%. De PM2.5 concentraties van de ingaande lucht in de wasser moesten gecorrigeerd worden vanwege overbelading van de impactie-voorafscheider. De gecorrigeerde PM2.5 concentratie van de ingaande lucht was gemiddeld $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De PM2.5 concentratie van de uitgaande lucht was gemiddeld $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hieruit kan een gemiddelde reductie voor PM2.5 worden berekend van 90%.

Uit dit onderzoek kan worden geconcludeerd dat de MagixX combiwasser van Big Dutchman een hoog rendement heeft voor het verwijderen van stofdeeltjes uit de stallucht met diameters kleiner dan $10 \mu\text{m}$ (verwijdering $93 \pm 1\%$) en kleiner dan $2,5 \mu\text{m}$ (verwijdering $90 \pm 2\%$). Opgemerkt dient te worden dat het onderzoek is gedaan in de winter bij een laag ventilatiedebiet (15% van het maximum), dus bij een lage belasting van de combiwasser.

Summary

The Ministries of VROM and LNV are going to start a program to stimulate the use of multi-stage air scrubbers on intensive animal production farms. At this moment it is unknown what the efficiency is of these scrubbers for the removal of fine dust (PM10 and PM2.5). Therefore a shortened measuring program was performed to determine this efficiency. Measurements described in this report should therefore be considered as indicative, because no seasonal effects were taken into account. This report describes the measurements that were performed on the MagixX multi-stage air scrubber of the Big Dutchman company.

Measurements were done on an air scrubber that washed all the air from an animal house with 520 fattening pigs. The pig house had 5 compartments and the ventilated air was removed from the building via a central ventilation shaft and via the multi-stage air scrubber. The scrubber consisted of three layers: a scrubbing step with water, a scrubbing step with acid and a root wood filter. The wash step with water removes the main part of the dust from the air; the washing step with acid mainly removes ammonia from the air, while the root wood filter mainly removes and converts odorous compounds in the air. Incoming and outgoing air of the scrubber were sampled 6 times during periods of 24 h for determining concentrations of fine dust (PM10 and PM2.5). The amount of dust in the sampled air was determined gravimetrically. Course dust was separated from fine dust by the impaction method. Constant flow pumps were used for sucking in the air.

Mean PM10 concentration of ingoing air into the scrubber was $711 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mean concentration of the outgoing air was $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. This gives a mean reduction for PM10 of 93%. PM2.5 concentrations of the incoming air of the scrubber had to be corrected for overloading of the impaction plate. The corrected mean PM2.5 concentration of the incoming air was $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The mean PM2.5 concentration of the outgoing air was $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. This gives a mean reduction for PM2.5 of 90%.

From this study it can be concluded that the MagixX combi-scrubber of Big Dutchman had high efficiencies for removal of dust particles with diameters smaller than $10 \mu\text{m}$ (removal rate $93 \pm 1\%$) and for particles smaller than $2.5 \mu\text{m}$ (removal rate $90 \pm 2\%$). It should be noticed that this study was performed in the winter period at a relatively low ventilation rate (15% of maximum), thus at a low loading rate of the multi-stage air scrubber.

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methode	2
	2.1 Beschrijving van de combiwasser	2
	2.2 Meetmethode	4
	2.2.1 Pompen	4
	2.2.2 Impactor-voorafscheider	4
	2.2.3 Filter	5
	2.2.4 Metingen	5
3	Resultaten	7
4	Discussie	9
	Conclusie	10
	Literatuur	11

1 Inleiding

Uit verschillende publicaties is bekend dat fijn stof (PM10¹) gezondheidsproblemen en vroegtijdige sterfte kan veroorzaken bij de mens. Het is op dit moment nog onduidelijk welke componenten binnen het fijn stof hiervoor verantwoordelijk zijn. Grenswaarden voor fijn stofconcentraties in de buitenlucht zijn vastgelegd in Europese wetgeving, de zogenaamde 'eerste dochterrichtlijn luchtkwaliteit' (Breugel et al., 2001). De huidige normen zijn:

- Jaargemiddeld: max. 40 µg/m³
- Daggemiddeld: max. 50 µg/m³ met 35 overschrijdingen per jaar.

De huidige gemeten jaargemiddelde achtergrond concentraties liggen voor Nederland rond de 32 µg/m³; in het landelijke gebied is dit 26 µg/m³ (Anonymous, 2006). Deeltjes kleiner dan 2,5 µm (PM2.5) lijken een grotere relatie te hebben met de gezondheid van mensen dan de deeltjes tussen 2,5 en 10 µm (Anonymous, 2005). Dit kan een reden zijn om in de (nabije) toekomst regelgeving te baseren op PM2.5 concentraties.

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 and Van der Hoek, 2002). Het voorgaande getal is exclusief de bijdrage van winderosie. Van de fijn stofemissie 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.

Luchtwassers lijken zeer effectief te zijn om de uitstoot van fijn stof uit stallen te verminderen. Het voordeel van luchtwassers is dat ze ook de emissie van ammoniak (en geur) belangrijk verminderen. Om die reden worden luchtwassers al toegepast in de praktijk. De ministeries van VROM en LNV starten dit jaar een programma om de toepassing van gecombineerde luchtwassers voor intensieve veehouderijen te stimuleren. Combiwassers verwijderen zowel ammoniak, geur als fijn stof uit de stallucht. Op dit moment is echter nog niet bekend wat het rendement is van deze gecombineerde wassers voor de reductie van fijn stofemissie (PM10 stof). In Duitsland moeten luchtwassers voldoen aan een minimale reductie van totaal stof van 70% (DLG, 2004; Hahne, 2005). Tot nu toe worden in Duitsland echter hogere reducties voor totaal stof gemeten (ca. 90%). De vraag is of voor PM10 en PM2.5 stof vergelijkbare reducties worden gehaald. Hiertoe moest een versneld meetprogramma worden uitgevoerd om rendementen van gecombineerde luchtwassersystemen voor fijn stofreductie te bepalen. Vanwege de haast die geboden was, voldeed het gevolgde meetprotocol niet aan het concept meetprotocol zoals opgesteld door Hofschreuder et al. (2006). Het belangrijkste verschil was dat de doorlooptijd van de meetperiode verkort is van 1 jaar naar ca. twee weken. De metingen moeten daarom als indicatief worden gezien, aangezien o.a. geen seizoenseffecten zijn meegenomen. In dit rapport worden de metingen beschreven die gedaan zijn aan de MagixX combiwasser van de firma Big Dutchman.

¹ Fijn stof is stof dat voor het merendeel bestaat uit deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 µm. Dit stof wordt aangeduid als PM10. De aerodynamische diameter van een deeltje is de diameter van een bolvormig deeltje met een dichtheid van 1 kg/m³ dat dezelfde valsnelheid heeft als het betreffende deeltje.

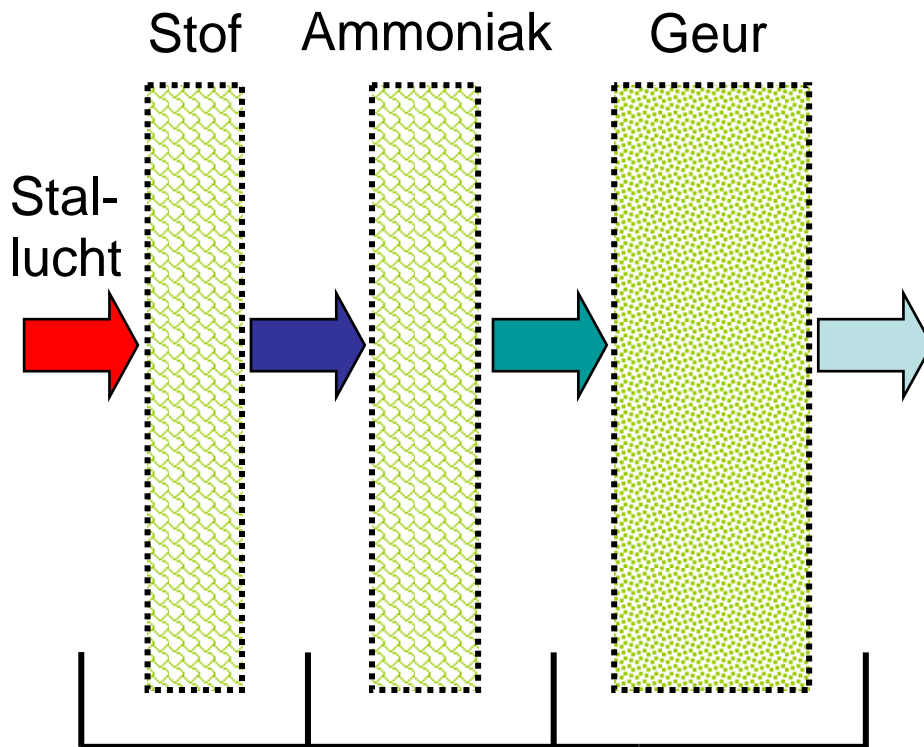
2 Materiaal en methode

2.1 Beschrijving van de combiwasser

De metingen aan de gecombineerde luchtwasser van de firma Big Dutchman werden gedaan op het bedrijf van dhr. Determann in Petersfeld. De vleesvarkensstal met de wasser had 5 afdelingen met in totaal 520 dierplaatsen. Het gemiddelde gewicht van de dieren gedurende de metingen was ca. 70 kg. De ventilatielucht van de afdelingen werd via een centraal afzuigkanaal afgevoerd. Aan het einde van dit kanaal waren 3 ventilatoren geplaatst met een diameter van ca. 80 cm. Elke ventilator had een maximale capaciteit van 19.500 m³/uur. De ventilatoren waren naast elkaar geplaatst en werden tegelijk traploos geregeld. In een ruimte na de ventilatoren was de gecombineerde wasser geplaatst. Alle stallucht werd door deze wasser afgevoerd. Op dit bedrijf werden de dieren gevoerd met droogvoer.

De gecombineerde wasser van Big Dutchman bestond achtereenvolgens uit een wasstap met alleen water, een wasstap met zuur en een wortelhoutfilter. De wasstap met water vangt het merendeel van het stof af, de zure wasser vangt vooral de ammoniak af, terwijl het wortelhoutfilter vooral zorgt voor binding en afbraak van geurcomponenten. De gecombineerde wasser was meer dan 1 jaar in gebruik. Deze gecombineerde wasser is beschreven in de stalbeschrijving onder nummer BWL 2006.15 (www.infomil.nl). De eerste waslaag bestond uit een filterpakket waar continu water doorheen stroomde. Aan de voorkant van het kunststof filterpakket (0,15 m dik) waren tevens sproeiers geïnstalleerd die iedere 5 minuten 1 minuut sproeiden om het grove stof te verwijderen. Onder deze waslaag was een opvangbak geplaatst voor recirculatie van het water. Tussen de wasstap met water en de wasstap met zuur was een afstand van ca. 0,9 m. De zure wasser was opgebouwd van hetzelfde materiaal en even dik als de waterwasser alleen stroomde er continu aangezuurd water doorheen. Het water werd aangezuurd met zwavelzuur. Onder de wasser was een opvangbak geplaatst voor recirculatie van het aangezuurde water. De pH van de zwavelzuuroplossing werd continu gemeten, wanneer deze boven een waarde van 4,0 kwam werd zuur toegevoegd tot een pH-waarde van 1,5. Bij beide waslagen werd één maal per 3 maanden de volledige hoeveelheid waswater gespuid, waarna beide waslagen weer werden gevuld met vers water. Het water van de zure wasser werd aangezuurd tot een pH-waarde van 1,5. Tussen de zure wasser en het wortelhoutfilter was een afstand van 1,3 m met als doel te voorkomen dat zure druppels in het wortelhoutfilter terecht kwamen. Dit laatste filter bestond uit een kolom van wortelhout van 0.6 m dik, dat regelmatig werd bevochtigd via sproeikoppen die boven de kolom waren geplaatst. Onder het pakket was een kleine opvangbak gemaakt waar het overtollige water in werd opgevangen. In figuur 1 is de werking van de gecombineerde luchtwasser schematisch weergegeven. In tabel 1 zijn de beschikbare technische gegevens van de gecombineerde wasser weergegeven.

Figuur 1 Schematische weergave van de gecombineerde luchtwasser van de firma Big Dutchman. Stof, ammoniak en geur worden in drie stappen verwijderd uit de stallucht.



Tabel 1 Technische eigenschappen van de gecombineerde luchtwasser van Big Dutchman uit dit onderzoek

	Complete systeem	Wasstap met water	Wasstap met zuur	Wortelhoutfilter
Afmetingen van de verschillende waslagen van de gecombineerde wasser en van het totale systeem (l x b x h) [m x m x m]	4,6 x 9,6 x 2,5	0,15 x 9,6 x 2	0,15 x 9,6 x 2	0,6 x 8,4 x 2,5
Inhoud drukkamer (l x h x diepte) [m x m x m]	9,6 x 2,5 x 3,3	-	-	-
Afstand tussen twee wascomponenten [m]	-	-	0,9	1,3
Maximaal luchtdebiet [m ³ /uur ¹]	58.800	-	-	-
Oppervlakte van de uitlaat [m ²]	21	-	-	-
Drukval [Pa] (maximaal)	135	-	-	-
Capaciteit opvangbak [m ³]	-	11,5	4,8	n.b.
Netto aanstroom oppervlak [m ²]	-	19,2	19,2	21,0
Luchtbeweging t.o.v. waterbeweging	-	Dwarsstroom	Dwarsstroom	Dwarsstroom
Hoeveelheid water(circulatie) [m ³ /uur]	-	1,20	2,25	n.b. ¹⁾
Hoeveelheid spuiwater totaal [m ³ /uur]	-	0,1-2	0,01-0,2	-
Gebruikte sproeiers [per m ²]	-	4	n.b.	n.b.
Pakkingsmateriaal	-	2H kunststof	2H kunststof	Wortelhout
Merksnaam	-	FKP 158	FKP 158	-
Type	-	FKP 158	FKP 158	-
Specifiek opp [m ² /m ³]	-	320	320	-

- niet van toepassing

n.b. niet beschikbaar

¹⁾ alleen om uitdroging tegen te gaan a.g.v. zonnestraling of windinvloeden

2.2 Meetmethode

Voor de bepaling van het rendement van de verschillende luchtwassystemen voor fijn stof werd de ingaande en de uitgaande lucht van de wasser bemonsterd voor bepaling van de concentratie fijn stof (P10 en PM2.5). Deze metingen werden zes maal uitgevoerd gedurende perioden van 24 uur. De metingen aan PM10 en PM2.5 werden tegelijkertijd uitgevoerd. In tabel 2 worden de meetdagen (de dag waarop de metingen zijn gestart) gegeven.

Tabel 2 Meetprogramma fijn stofconcentraties

Meting	Datum
1	15 januari 2007
2	17 januari 2007
3	19 januari 2007
4	22 januari 2007
5	24 januari 2007
6	29 januari 2007
7	31 januari 2007

De bepaling van de concentratie fijn stof werd uitgevoerd door een bekende hoeveelheid lucht met een vaste luchtsnelheid door specifieke monsternametekoppen te zuigen. In de monsternametekoppen bevonden zich voorafscheiders om de grotere stofdeeltjes te scheiden van de gevraagde stoffracties (PM10 of PM 2.5). Voor beide stoffracties werd een impactor-voorafscheider gebruikt. De impactor-voorafscheiders voldeden aan de eisen die gesteld worden aan het bemonsteren van de buitenlucht (NEN-EN 12341, 1998; NEN-EN 14907, 2005). Het stof dat na voorafschieding uiteindelijk overbleef werd op een filter verzameld. Het filter werd voorafgaand aan en na de monsternametekop onder geconditioneerde omstandigheden gewogen. De wegingen zijn uitgevoerd volgens de gehanteerde normen voor de buitenlucht (NEN-EN 12341, 1998; NEN-EN 14907, 2005).

2.2.1 Pompen

Voor de metingen werd gebruik gemaakt van pompen van het type Charlie HV (roterend 6 m³/h; Ravebo Supply b.v., Brielle) monsternametekop. Deze 'constant flow' pompen regelen het debiet automatisch in op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternametekop. Het debiet van deze pompen blijft ook constant bij toename van de drukval over het filter. Hierdoor werd een stabiele luchtstroom verkregen binnen 2% van de nominale waarde. De pompen werden geprogrammeerd op start en einde van de monsternametekopperiode. De hoeveelheid lucht die bij de monsternametekop punten werd aangezogen werd met een gasmeter gemeten en omgerekend naar standaard condities (1 atmosfeer, 0 °C).

2.2.2 Impactor-voorafscheider

Voor de bepaling van de concentratie fijn stof van de lucht voor en na de gecombineerde luchtwasser werd gebruik gemaakt van impactor monsternametekoppen. Deze impactors staan beschreven in de NEN-EN 12341 (1998) voor PM10 en in NEN-EN 14907 (2005) voor PM2.5. Figuur 2 laat de gebruikte impactoren voor beide stoffracties zien.

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. Hiervoor wordt een platte, met een laagje vet voorziene, plaat onder de luchtaanvoerpijpjes geplaatst (zie figuur 2). Door de luchtsnelheid en de traagheid van de grotere deeltjes impacteren de grotere deeltjes op deze plaat. Het luchtdebiet door de monsternametekop met impactor was 2,3 m³/uur.

Figuur 2 Links de complete meetset en rechts het verschil in de openingen van de luchtinlaten boven de impactieplaat (grotere openingen voor PM10)



2.2.3 Filter

Het stof werd verzameld op glasvezelfilters met een doorsnee van 47 mm. De filters werden voor en na de metingen gewogen onder standaard condities: temperatuur $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ en $50\% \pm 1\%$ relatieve luchtvochtigheid. Deze voorwaarden staan beschreven in NEN-EN 14907 (2005). Het verschil in gewicht voor en na de metingen werd gebruikt om de hoeveelheid verzameld stof te bepalen.

2.2.4 Metingen

De ingaande lucht in de wasser werd in het centrale afzuigkanaal in de stal bemonsterd (zie figuur 3). De uitgaande lucht werd bemonsterd in een koker die tegen het biofilter was geïnstalleerd (zie figuur 3). Randvoorwaarde voor een goede bepaling van de stofconcentratie is dat de luchtsnelheid van de te bemonsteren lucht niet hoger is dan ca. 2 m/s.

Figuur 3 Links: bemonstering van de ingaande stallucht in het centrale luchtkanaal; rechts: bemonstering van de uitgaande stallucht aan de buitenkant van het biofilter



Naast de bepaling van de fijn stofconcentraties zijn op dezelfde monsternamenpunten (in- en uitgaande lucht van de wasser) aanvullende metingen uitgevoerd. Tabel 3 geeft een overzicht van de metingen, de meetfrequentie en de meetmethode.

Tabel 3 Overzicht van aanvullende metingen aan in- en uitgaande lucht van de wasser

	Frequentie	Methode
NH ₃ concentratie (ppm)	Start en einde van de 24 uursmeting	Puntmeting met gasdetectiebuis (Kitagawa)
CO ₂ concentratie (ppm)	Start en einde van de 24 uursmeting	Puntmeting met gasdetectiebuis (Kitagawa)
Luchtsnelheid (m/s)	Start en einde van de 24 uursmeting	Verschillende meetpunten met hittedraadanemometer
Temperatuur (°C)	Continu gedurende 24 uur	Rotronic met datalogger
Relatieve luchtvochtigheid (%)	Continu gedurende 24 uur	Rotronic met datalogger

3 Resultaten

In tabel 4 worden de gemeten PM10 concentraties van de in- en uitgaande lucht van de gecombineerde wasser van Big Dutchman gegeven. De gemiddelde ingaande PM10 concentratie gemeten met de impactor-voorafscheider was 711 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De gemiddelde concentratie van de uitgaande lucht, gemeten met de impactor, was 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Op basis van deze gegevens kan een gemiddelde reductie voor deze wasser voor PM10 worden berekend van 93%.

In tabel 5 worden de gemeten concentraties voor PM2.5 gegeven. De gemiddelde ingaande PM2.5 concentratie, gemeten met de impactor, was 409 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In de uitgaande lucht, gemeten met de impactor-voorafscheider, was dit gemiddeld 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Deze cijfers geven een gemiddelde reductie op basis van een impactor-voorafscheider van 98%. Uit lopend nog niet gepubliceerd onderzoek (Y. Zhao, ASG; pers. mededeling) blijkt dat de PM2.5 impactieplaat zeer snel overbeladen wordt met stof. Hierdoor wordt bij hoge stofconcentraties, zoals van de lucht die naar de luchtwasser gaat, de PM2.5 concentratie overschat. Bij metingen aan andere luchtwassers is de PM2.5 concentratie zowel gemeten met behulp van de methode met impactor-voorafscheiding als met de methode met cycloon-voorafscheiding. Uit de literatuur is bekend dat de cycloonmethode veel minder gevoelig is voor overbelading (Hofscreuder et al., 2007). Op basis van de metingen bij de andere luchtwassers is de volgende relatie vastgesteld tussen PM2.5 concentraties gemeten met de impactor-voorafscheiding en de concentraties gemeten met de cycloon-voorafscheiding:

$$\text{PM2.5}_{\text{cycloon}} = 20,7 + 0,156 \cdot \text{PM2.5}_{\text{impactor}} \quad (R^2 = 0,55) \quad (1)$$

In tabel 5 zijn de, met voorgaande vergelijking, omgerekende waarden tevens weergegeven. De gecorrigeerde PM2.5 concentratie was gemiddeld 84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en de gemiddelde gecorrigeerde reductie was 90%.

Tabel 4 Concentraties PM10 van de ingaande en uitgaande lucht van de wasser, gemeten met de impactor-voorafscheider

Datum	Voor wasser ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Na wasser ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Reductie (%)
15/01/07	823	84	90
17/01/07	643	46	93
19/01/07	627	41	94
30/01/07	810	49	94
31/01/07	695	41	94
01/02/06	670	44	94
Gemiddeld	711	51	93 (± 1)

Tabel 5 Concentraties PM2.5 van de ingaande en uitgaande lucht van de wasser, gemeten met de impactor-voorafscheider, en de gecorrigeerde waarden op basis van formule 1

Datum	Voor wasser ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Na wasser ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Reductie (%)	
	impactor	gecorrigeerd		impactor	gecorrigeerd
15/01/07	353	76	14	96	81
17/01/07	383	80	6	98	93
19/01/07	363	77	7	98	91
30/01/07	501	99	9	98	91
31/01/07	433	88	4	99	95
01/02/06	423	87	8	98	91
Gemiddeld	409	84	8	98	90 (± 2)

Tabel 6 geeft de gemeten concentraties ammoniak van de in- en uitgaande lucht van de wasser. De ammoniakconcentraties zijn puntmetingen, uitgevoerd met detectiebuisjes (Kitagawa). De gemiddeld gemeten concentratie ammoniak was 23,8 ppm in de ingaande lucht en 0,13 ppm in de uitgaande lucht. Uit de tabel blijkt dat de gemiddelde CO_2 concentraties van de in- en uitgaande lucht gelijk waren, namelijk 0,18 Vol%.

In tabel 7 wordt de luchtsnelheid, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid (RV) van de in- en uitgaande lucht van de wasser gegeven. De luchtsnelheid was voor de wasser, in de omgeving van de stofbemonsteringsapparatuur, hoger dan na de wasser, gemiddeld respectievelijk 0,73 en 0,45 m/s. De temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de uitgaande lucht van de wasser zijn slechts gedurende één dag gemeten. De temperatuur van de lucht was voor de wasser hoger dan na de wasser, respectievelijk 18,2 en 12,7 °C. De relatieve luchtvochtigheid van de lucht voor de wasser was gemiddeld 66,2%, terwijl de uitgaande lucht verzadigd was met waterdamp (100% RV).

Tabel 6 Concentraties ammoniak (NH₃) en kooldioxide (CO₂) van de ingaande en uitgaande lucht van de wasser

Datum	NH ₃ (ppm)		CO ₂ (Vol%)	
	Voor	Na	Voor	Na
15/01/07	35	0,5	0,19	0,17
17/01/07	27	0,3	0,18	0,15
19/01/07	21	0,0	0,15	0,18
30/01/07	20	0,0	0,18	0,18
31/01/07	20	0,0	0,20	0,17
01/02/06	20	0,0	0,20	0,20
Gemiddeld	23,8	0,13	0,18	0,18

Tabel 7 Luchtsnelheid, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid (RV) van de ingaande en uitgaande lucht van de wasser

Datum	Luchtsnelheid		Temperatuur		RV	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
15/01/07	1,05	0,35	18,0	12,7	62,6	100
17/01/07	0,70	0,45	18,7	¹	66,9	-
19/01/07	0,70	0,47	18,8	-	65,3	-
30/01/07	0,70	0,44	17,7	-	61,6	-
31/01/07	0,65	0,47	17,8	-	69,5	-
01/02/06	0,56	0,52	18,1	-	71,3	-
Gemiddeld	0,73	0,45	18,2	12,7	66,2	100

¹ – is niet gemeten, a.g.v. defect aan apparatuur

Op basis van het aantal varkens (520) en het gemiddelde diergewicht (70 kg) kan de CO₂-productie van de dieren worden ingeschat. Hiervoor is het rekenmodel Anipro (Van Ouwkerk, 1999) gebruikt. De energieopname van varkens met dit gewicht is geschat op 2,415 EW/dag (1 EW komt overeen met een netto energie van 8820 kJ). Op basis van deze informatie werd de CO₂-productie voor de hele stal geschat op 16,1 m³/uur. De CO₂-concentratie in de uitgaande stallucht was 0,18 vol% (1800 ppm). Hieruit volgt een geschat ventilatie-debiet van 8944 m³/uur (16,1/0,0018). Dit komt overeen met een gemiddeld ventilatie-debiet van 17,2 m³/uur per varken.

4 Discussie

De luchtwasser van Big Dutchman laat een zeer goed rendement zien voor de reductie van PM10 en PM2.5 emissies uit een varkensstal, namelijk respectievelijk 93 en 90%. Hierbij moet worden opgemerkt dat de reductie voor PM2.5 een inschatting is op basis van een omrekeningsformule om te corrigeren voor overbelading van de impactor voorafscheider. Hierdoor is de gemeten ingaande hoeveelheid PM2.5 naar beneden gecorrigeerd. De hoeveelheid PM2.5 die uit de wasser kwam was zeer laag ($8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), zodat sowieso gesproken kan worden van een goed rendement, ook al zou de PM2.5 concentratie van de ingaande lucht nog te hoog zijn ingeschat. Uit lopend onderzoek blijkt dat de PM10 impactor-voorafscheider veel minder gevoelig is voor overbelading dan de PM2.5 impactor-voorafscheider (Y. Zhao, ASG; pers. mededeling). In tegenstelling tot PM2.5 hoeft daarom voor PM10 geen correctie te worden gemaakt op de gemeten concentratie stof in de stallucht naar de luchtwasser.

Dit onderzoek is in de winter gedaan. Dit betekent dat de rendementsmetingen zijn gedaan bij luchtbelastingsniveaus die beduidend onder het maximale niveau liggen. Op basis van het ingeschatte ventilatie-debiet met behulp van de CO₂-balansmethode kan berekend worden dat de rendementsmetingen zijn gedaan bij een gemiddeld ventilatieniveau van ca. 15% van het maximum. De totale verblijftijd van de lucht in de 3 waslagen was gemiddeld over de meetperiode ca. 7 s (geen rekening houdend met het volume van het vulmateriaal).

De puntmetingen van ammoniakconcentraties voor en na de combiwasser laten zien dat deze wasser een zeer hoog rendement haalt voor de verwijdering van ammoniak uit de stallucht. Uit deze puntmetingen blijkt het rendement groter te zijn dan 99%. Ook hier geldt weer dat de luchtwasser tijdens de periode van de metingen niet zwaar belast is geweest voor wat betreft de hoeveelheid ventilatielucht.

Zoals min of meer verwacht mocht worden was de CO₂-concentratie voor en na de wasser gelijk. De CO₂ wordt in de wasser niet of nauwelijks gebonden door het waswater. Alleen bij een hoge pH zou het waswater CO₂ kunnen binden.

Uit de resultaten blijkt dat de gevonden reducties voor fijn stof op de verschillende meetdagen behoorlijk consistent waren. De standaardafwijking van het gemiddelde was slechts 1% voor PM10 reductie en 2% voor reductie van PM2.5. Hierbij moet worden vermeld dat slechts gedurende een korte periode is gemeten (2 weken). Metingen over een langere periode waarin ook perioden zitten van maximale belasting zullen een vollediger inzicht moeten geven in het overall rendement en de consistentie van het rendement van de combiwasser van Big Dutchman.

Conclusie

Uit dit onderzoek kan worden geconcludeerd dat de MagixX combiwasser van Big Dutchman een hoog rendement heeft voor het verwijderen van stofdeeltjes uit de stallucht met diameters kleiner dan $10\ \mu\text{m}$ (verwijdering $93 \pm 1\%$) en kleiner dan $2,5\ \mu\text{m}$ (verwijdering $90 \pm 2\%$). Het onderzoek is gedaan in de winter gedurende twee weken bij een relatief lage luchtbelasting van de combiwasser.

Literatuur

- Anonymous. 2005. Fijn stof nader bekeken. De stand van zaken in het dossier fijn stof. MNP Rapport 500037008, Milieu en Natuur Planbureau, Bilthoven.
- Anonymous. 2006. Nieuwe inzichten in de omvang van de fijn stofproblematiek. MNP Rapport 500093003/2006, Milieu en Natuur Planbureau, Bilthoven.
- Breugel, P.B., H. Visser, and E. Buringh. 2001. Bronnen van fijn stof. Modellen en metingen dicht bij elkaar gebracht. Het Dossier No. 7. p 2-5.
- 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.
- DLG. 2004. Prüfraahmen abluftreinigungssystemen für tierhaltungsanlagen., DLG-Prüfstelle für Landmaschinen, Gr-Umstadt.
- Hahne, J. 2005. Abluftreinigungsanlagen in der tierhaltung: Leistungen - planungshilfen - betrieb - wartung. In: Fachseminar Abluftreinigung 12-13 October 2005, Cloppenburg, Germany
- 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
- Hofschreuder, P., N.W.M. Ogink and A.J.A. Aarnink. 2006. Measurement protocol for emissions of fine dust from animal housings. Considerations and draft protocol. Concept Report, Animal Sciences Group.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - bepaling van de pm 10 fractie van zwevend stof - referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegelijkwaardigheid 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 pm_{2,5} mass fraction of suspended particulate matter., Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- Ouwerkerk, E.N.J. van. 1999. Anipro: Klimaat- en energiesimulatiesoftware voor stallen. Nota V99-109, IMAG Wageningen.