

Animal Sciences Group

Kennispartner voor de toekomst



process for progress

Rapport 203

Maatregelen ter vermindering van
fijnstofemissie uit pluimveehouderij: indicatieve
evaluatie van het droogfiltersysteem Stuffnix
van Big Dutchman

Januari 2009



ANIMAL SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR

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 gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

In this study the StuffNix system of Big Dutchman is indicatively evaluated for its ability to remove fine dust from exhaust air. Results are inconclusive and indicate a removal efficiency in the range of 20 to 60%. Further research and validation measurements in practice are needed to determine removal with certainty.

Keywords

Poultry, environment, fine dust, emission reduction, dust filtration, StuffNix

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink en A. Winkel

Titel

Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: indicatieve evaluatie van het droogfiltersysteem StuffNix van Big Dutchman Rapport 203

Samenvatting

In deze studie wordt het StuffNix systeem van de firma Big Dutchman indicatief beoordeeld op het vermogen om stallucht te zuiveren van fijnstof. De resultaten zijn niet eenduidig; het potentiële verwijderingsrendement ligt in de range van 20 tot 60%. Een vervolgstudie met validatiemetingen kan het verwijderingsrendement met zekerheid vaststellen.

Trefwoorden

Pluimvee, milieu, fijnstof, emissie, emissiereductie, stoffiltratie, StuffNix



Rapport 203

Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: indicatieve evaluatie van het droogfiltersysteem StuffNix van Big Dutchman

Measures to reduce fine dust emission from poultry facilities: indicative evaluation of the Stuffnix system of Big Dutchman

N.W.M. Ogink
A.J.A. Aarnink
A. Winkel

Januari 2009

Samenvatting

Het doel van deze studie is het beoordelen van de haalbaarheid en de potentiële effectiviteit van perspectievolle nieuwe systeemconcepten voor fijnstofverwijdering in de pluimveehouderij. Het gaat hierbij om concepten die zowel nog in de ontwikkelingsfase kunnen verkeren als die technisch reeds uitgewerkt zijn en die door het bedrijfsleven worden aangeboden. Systemen worden beschreven met een toelichting van de onderliggende scheidingsmechanismen die daarbij van belang zijn. De inzetbaarheid en potentiële effectiviteit in de praktijk wordt beoordeeld aan de hand van een zevental parameters.

In deze studie wordt het StuffNix systeem van het Duitse bedrijf Big Dutchman beoordeeld. Het betreft hier een droogfilter dat ingezet kan worden in stallen met lengteventilatie. In de filterwand wordt stofafscheiding door middel van inertiedepositie tot stand gebracht. Het systeem vraagt weinig onderhoud, kent geen mechanische risico's of risico's wat betreft de besturing, levert geen moeilijk te verwerken spuistroom op met extra kosten en de daadwerkelijke toepassing is verifieerbaar voor derden. Het is relatief eenvoudig in stallen met lengteventilatie in te passen en is op dit moment reeds beschikbaar voor pluimveehouders. De jaarkosten zullen geringer zijn dan de kosten van eenvoudige waterwassers of wassers die in de Rav zijn opgenomen. Deze eigenschappen maken het concept droogfilter aantrekkelijk voor toepassing in de praktijk.

Er bestaat echter onduidelijkheid over het verwijderingsrendement voor PM10 en PM2,5. Testmetingen door de universiteit van Bonn suggereren een hoog rendement (60-80%). Het lijkt echter onwaarschijnlijk dat een dergelijk rendement gehaald kan worden gezien de relatief lage snelheid waarmee de lucht binnenstroomt, waarbij de depositie dient plaats te vinden via een eenmalige passage van de filterwand. In deze studie wordt het verwijderingsrendement voor PM10 op grond van een modelberekening ingeschat op 10-25%. Een oriënterende meting in een leghennenstal uitgerust met het StuffNix systeem liet een verwijderingsrendement zien van 22,4% (bij 32% ventilatieniveau) en 17,5% (bij 20% ventilatieniveau). Een oriënterende meting van het Duitse instituut LUFA enige tijd later in dezelfde leghennenstal leverde echter een verwijderingsrendement voor PM10 op van 57,6% (bij 20% ventilatieniveau).

Geconcludeerd kan worden dat het potentiële verwijderingsrendement van de filterwand zich bevindt in de range van ongeveer 20 tot 60%. Aanbevolen wordt om in een vervolgstudie te onderzoeken waarom de resultaten van de twee metingen niet goed op elkaar aansluiten. Met validatiemetingen op praktijkniveau kan zekerheid worden verkregen over het daadwerkelijk verwijderingsrendement. Hierbij kan op basis van een gestandaardiseerd meetprotocol een fijnstofemissiefactor worden vastgesteld die kan worden gebruikt voor vergunningverleningspraktijk.

Summary

This study aims to evaluate the feasibility and potential effectiveness of new systems that may prove to be successful concepts for fine dust removal from exhaust air of poultry houses. These concepts include systems that are still in the research and development process as well as systems that are already technically fully developed and available on the market. In this study, descriptions of these systems are given and dust removal principles are explained. Their usability and potential effectiveness in practice are evaluated by means of seven parameters.

In this report the StuffNix system of the German company Big Dutchman is evaluated. The StuffNix is a dry filter wall that is particularly applicable in poultry houses with exhaust ventilators in one of the walls. In the filter wall dust particles are removed through impaction and subsequent deposition. The system requires a minimum of maintenance, risks of mechanical failure are low, there is no production of discharge water and the actual use of the system can easily be checked. Furthermore, the system is easy to build-in in current poultry houses with exhaust ventilators in one of the walls and is available on the market. Yearly costs are expected to be lower than those of air scrubbers. These properties make this filter an attractive system for application in poultry farming.

However, there is uncertainty about the actual removal efficiency for PM10 and PM2.5 particles. Measurements on a small-scale model by the University of Bonn suggest a rather high removal efficiency of 60 to 80%. This level of efficiency seems unlikely in view of the fact that the air passes the filter just once with a relatively low air speed for particle impaction and deposition to take place. Model calculations performed in the current study indicate a potential removal efficiency in the order of 10 to 25%. Therefore, an exploratory measurement was carried out in a layer hen house in practice that showed a removal efficiency of 22.4% (at 32% ventilation level) and 17.5% (at 20% ventilation level). A second 48-hour measurement carried out by the German institute LUFA in the same layer hen house and filter wall however resulted in a PM10 removal efficiency of 57.6% (at 20% ventilation level).

In conclusion, the potential removal efficiency of the StuffNix filter has been found to be in the range of approximately 20 to 60%. A follow-up study is recommended to investigate why the results of the two measurements indicate such different efficiencies. Validation measurements on poultry houses in practice can provide certainty about the true removal efficiency of this system. When these measurements are carried out according to the validation measurement protocol, a fine dust emission factor can be assigned to the StuffNix system that can be used in environmental permit granting procedures.

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Theoretische achtergrond.....	2
3	Deskstudie: systeembeschrijving StuffNix filter.....	5
4	Deskstudie: beoordeling effectiviteit en inzetbaarheid voor de praktijk.....	7
4.1	Parameters voor beoordeling effectiviteit en inzetbaarheid van de techniek voor stofverwijdering.....	7
4.2	Kwalitatieve beoordeling	7
5	Metingen van fijnstofconcentraties en -reducties	10
6	Discussie en conclusies	12
	Literatuur.....	15

1 Inleiding

Om te kunnen voldoen aan de Europese norm voor fijnstofconcentraties in de buitenlucht dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de uitstoot van fijnstof uit belangrijke bronnen terugdringen. In dit kader is door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit verzocht om het uitwerken van een plan van aanpak voor het praktijkklaar maken en testen van beschikbare bedrijfsoplossingen om de fijnstofemissie uit de pluimveehouderij te reduceren. Een belangrijk uitgangspunt daarbij is dat zoveel mogelijk effectieve en praktijkrijpe maatregelen vóór 2010 gereed dienen te zijn. Binnen het plan van aanpak worden langs meerdere lijnen oplossingsrichtingen met verschillende werkingsprincipes uitgewerkt.

Het doel van deze studie is het beoordelen van de haalbaarheid en de potentiële effectiviteit van perspectiefvolle nieuwe systeemconcepten voor fijnstofverwijdering in de pluimveehouderij. Het gaat hierbij om concepten die zowel nog in ontwikkelingsfase kunnen verkeren als technisch reeds uitgewerkt zijn, en die door het bedrijfsleven worden aangeboden. Systemen worden beschreven met een toelichting van de onderliggende scheidingsmechanismen die daarbij van belang zijn. De inzetbaarheid en potentiële effectiviteit in de praktijk wordt beoordeeld aan de hand van een zevental parameters. In deze studie wordt het StuffNix systeem van het Duitse bedrijf Big Dutchman beoordeeld.

In hoofdstuk 2 wordt de theoretische achtergrond van stofafvangprincipes toegelicht. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 en 4 respectievelijk een beschrijving en een beoordeling van het systeem weergegeven die zijn gebaseerd op een deskstudie van beschikbare literatuur. Om het verkregen beeld uit de deskstudie verder te onderbouwen is voor deze studie een oriënterende meting uitgevoerd die in hoofdstuk 5 wordt beschreven. Hoofdstuk 6 besluit met een discussie van de verkregen gegevens en conclusies.

2 Theoretische achtergrond

Het basismechanisme voor het verzamelen van stof door een apparaat bestaat uit een aantal stappen:

- Afscheiding van de deeltjes van de gasstroom door depositie op een verzameloppervlak
- Het vasthouden van deze deeltjes door het verzameloppervlak (retentie)
- Verwijdering van de deeltjes van het verzameloppervlak

De mechanismen (Perry, 1984) waarmee deeltjes uit lucht afgescheiden kunnen worden zijn:

- Stroomlijndepositie
- Inertiedepositie (weerstand om van baanprojectie te veranderen, "rechtuit doorvliegen")
- Diffusiedepositie
- Gravitatie depositie
- Elektrostatische depositie

Afhankelijk van de verwijderingstechniek spelen verschillende verwijderingsmechanismen in verschillende mate een rol. Bij waterwassers voor het verwijderen van deeltjes uit een luchtstroom kunnen in volgorde van belangrijkheid inertiedepositie, stroomlijndepositie worden genoemd. Voor zeer grote deeltjes ($\gg 10 \mu\text{m}$) speelt gravitatiedepositie en voor zeer kleine deeltjes diffusiedepositie eveneens een rol. Bij droogfilters is inertiedepositie het hoofdmechanisme. De verschillende hoofdmechanismen worden hieronder nader toegelicht.

Inertiedepositie

Als een deeltje wordt meegevoerd door een luchtstroom, en deze buigt af doordat de lucht een obstakel (vezel, waterdruppel, etc.) tegenkomt, dan zal het deeltje niet exact de luchtbeweging volgen, maar als gevolg van zijn massa (inertia) een licht afwijkende, meer rechtdoor gerichte baan volgen. De mate van deeltjesafscheiding wordt gekenmerkt door scheidingsgetal N_{si} (-) in de volgende formule:

$$N_{SI} = \frac{K_m \rho_p D_p^2 v_0}{18 \mu D_b} \quad [1]$$

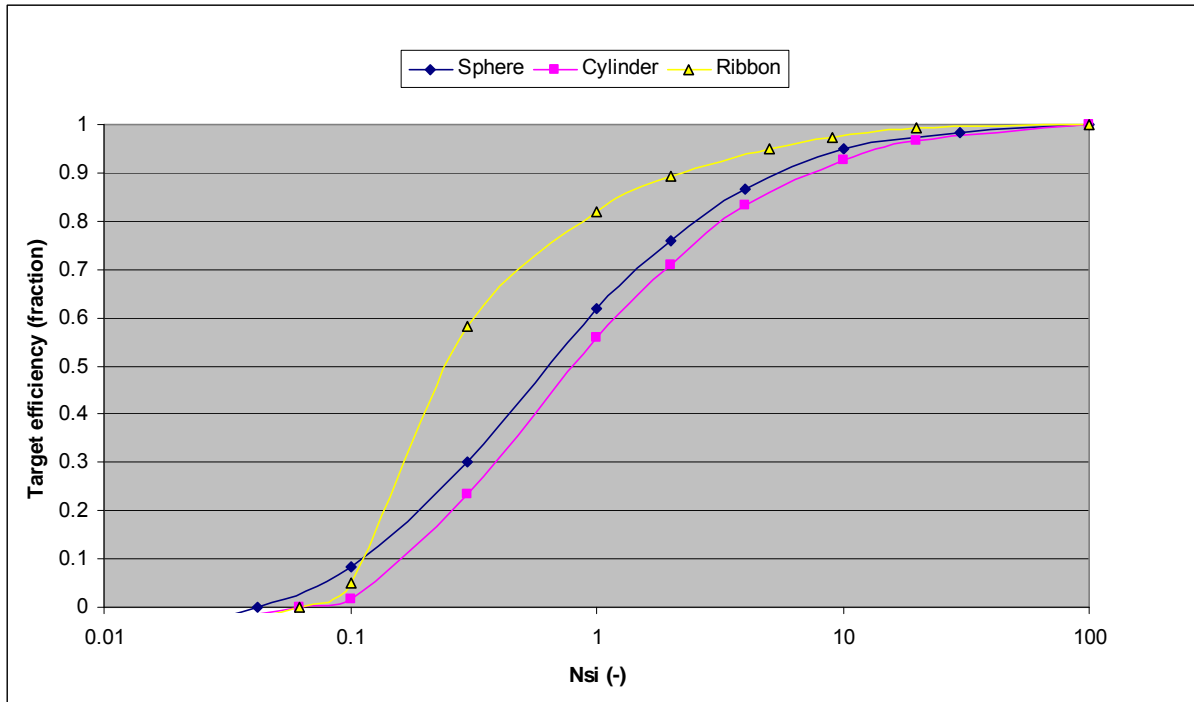
Met N_{SI} = het scheidingsgetal door inertiedepositie
 K_m = de Stokes-Cunningham correctiefactor (-)
 ρ_p = de dichtheid van de deeltjes (kg/m^3)
 D_p = de diameter van het deeltje (m)
 v_0 = de gassnelheid (m/s)
 μ = de viscositeit van het gas (Pa·s)
 D_b = de diameter van de invangende waterdruppel (m)

De waarde van K_m is een correctie voor de mate van luchtweerstand, welke afhankelijk is van het Reynoldsgetal ($Re = v_0 \cdot D_p / \mu$). Het Reynoldsgetal wordt gebruikt om te duiden of een stroom laminair of turbulent is. Bij laminaire stroming ($10^{-4} < Re < 0,2$) ligt K_m tussen 1,002 en 1,04. Bij de overgang naar turbulente stroming ($0,2 < Re < 1000$) ligt K_m tussen 1 en 18. In het turbulente gebied neemt K_m ongeveer evenredig toe met het Reynoldsgetal.

Uit de formule 1 kan worden afgeleid dat voor een efficiënte inertiedepositie het van belang is dat

- de luchtstroom turbulent is;
- er veel deeltjes per m^3 lucht aanwezig zijn;
- de stofdeeltjes groot zijn;
- de snelheid van de lucht door de wasser hoog is;
- de diameter van de waterdruppel klein is.

De relatie tussen het scheidingsgetal en de invangefficiëntie per ontmoeting tussen aanvliegend deeltje en druppeldeeltje wordt weergegeven door figuur 1. Hieruit valt op te maken dat voor de sferische (bolvormige) stofdeeltjes geldt dat voor een invangefficiëntie van 90% van de deeltjes, N_{si} minimaal de waarde 5 dient te hebben. Voor 95% invangefficiëntie is een minimale waarde van 10 vereist. Met invangefficiëntie op deeltjesniveau wordt de fractie bedoeld van het aanstromingsoppervlak geprojecteerd op het invangende deeltjesoppervlak, waarbinnen alle stofdeeltjes het invangende druppeldeeltje raken door inertia. Voor de uiteindelijke totale verwijderingsefficiëntie in een wassysteem is deze invangefficiëntie op eenmalig ontmoetingsniveau van belang. Voor het totale rendement op systeemniveau speelt uiteraard de kans dat gedurende de verblijftijd in het systeem de aanvliegende deeltjes in de baan van invangende waterdruppels komen een cruciale rol.



Figuur 1 Invangefficiëntie als functie van N_{si} voor invangende deeltjes van verschillende geometrie (Langmuir & Blodgett, 1960)

Stroomlijndepositie

Als een stroomlijn een invingend (water)deeltje passeert binnen de straal van het met de stroomlijn meegevoerde deeltje, dan zal dit deeltje botsen met het invangende waterdeeltje. Hiervoor is geen inertie of diffusie nodig. De mate van deeltjesafscheiding wordt gekenmerkt door scheidingsgetal N_{SF} (-) in de volgende formule:

$$N_{SF} = \frac{D_p}{D_b} \tag{2}$$

- Met N_{SF} = scheidingsgetal door stroomlijndepositie
 D_p = de diameter van het meegevoerde deeltje (m)
 D_b = de diameter van de invangende waterdruppel (m)

Uit de formule kan worden afgeleid dat voor een efficiënte stroomlijndepositie het van belang is dat:

- de stofdeeltjes groot zijn
- de waterdruppels klein zijn

Diffusiedepositie (Brownse beweging)

Kleine deeltjes (met name deeltjes kleiner dan $0,3 \mu\text{m}$) vertonen diffusie als gevolg van de Brownse beweging. Hierdoor bewegen deze deeltjes niet uniform langs stroomlijnen van een gasstroom. Deze deeltjes bewegen naar het invangende deeltje toe. De mate van deeltjesafscheiding wordt gekenmerkt door scheidingsgetal N_{sd} (-) in de volgende formule:

$$N_{SD} = \frac{D_v}{v_0 D_b} \tag{3}$$

- met D_v = de diffusiecoëfficiënt van het deeltje (m^2/s)
 v_0 = de gassnelheid (m/s)
 D_b = de diameter van de invangende waterdruppel (m)

Gravitatiedepositie

Als gevolg van de zwaartekracht zullen grote deeltjes van nature een versnelling naar het aardoppervlak ondervinden. De mate van deeltjesafscheiding wordt gekenmerkt door scheidingsgetal N_{SG} (-) in de volgende formule:

$$N_{SG} = \frac{u_t}{v_0} \quad [4]$$

met: u_t = de bereikte eindsnelheid van het deeltje (m/s)
 v_0 = de gassnelheid (m/s)

Elektrostatistische depositie

Als gevolg van elektrostatistische krachten kunnen geladen deeltjes naar een oppervlak bewegen (attractiedepositie). Ook kan de ladingsverdeling van ongeladen deeltjes worden beïnvloed door een elektrostatisch veld. Hierdoor kan ook een verplaatsing van deze deeltjes worden bewerkstelligd (inductiedepositie). De mate van deeltjesafscheiding van deze twee vormen van elektrostatistische depositie worden gekenmerkt door respectievelijk de scheidingsgetallen N_{SEC} en N_{SEI} . Deze eenheidsloze grootheden zijn als volgt gedefinieerd:

$$N_{SEC} = \frac{K_m Q_p \varepsilon_b}{\mu D_p v_0} \quad [5]$$

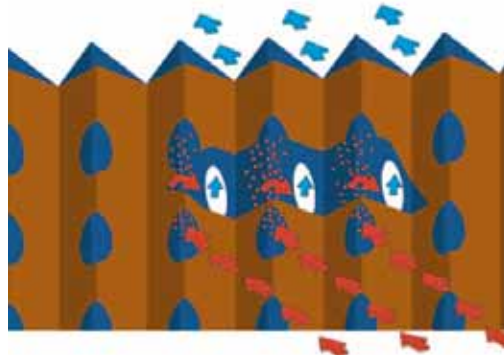
met: K_m = de Stokes-Cunningham correctiefactor (-)
 Q_p = de elektrische lading op het deeltje (C)
 ε_b = de potentiaalgradiënt op het invangende oppervlak (V/m)
 μ = de viscositeit van het gas (Pa·s)
 D_p = de diameter van het deeltje (m)
 v_0 = de gassnelheid (m/s)

$$N_{SEI} = \left(\frac{\delta_p - 1}{\delta_p + 2} \right) \cdot \left(\frac{K_m D_p^2 \delta_0 \varepsilon_b^2}{\mu D_b v_0} \right) \quad [6]$$

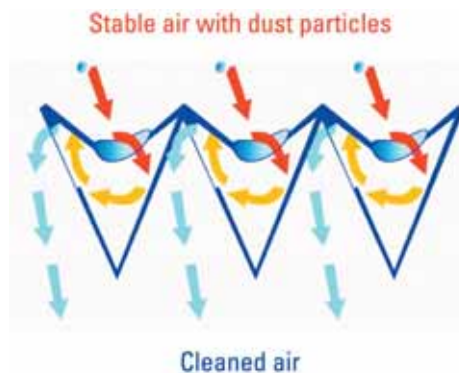
met: δ_p = de diëlektrische constante van het deeltje (-)
 K_m = de Stokes-Cunningham correctiefactor (-)
 D_p = de diameter van het deeltje (m)
 δ_0 = de permittiviteit van de ruimte (F/m)
 ε_b = de potentiaalgradiënt op het invangende oppervlak (V/m)
 μ = de viscositeit van het gas (Pa·s)
 D_b = de diameter of andere karakteristieke lengte van het invangende oppervlak (m)
 v_0 = de gassnelheid (m/s)

3 Deskstudie: systeembeschrijving StuffNix filter

Het systeem is een droogfilter ontwikkeld door het bedrijf Big Dutchman voor het verwijderen van stof uit de ventilatielucht van pluimveestallen. Het bestaat uit een gelaagde filterwand met pijlvormige holle ruimtes die zo zijn opgebouwd dat de binnenstromende lucht sterk van richting wordt veranderd voordat deze weer naar buiten stroomt. Als gevolg hiervan zullen stofdeeltjes opgevangen worden door de filterwand. In figuur 1 wordt de stroming door de wand in beeld gebracht.



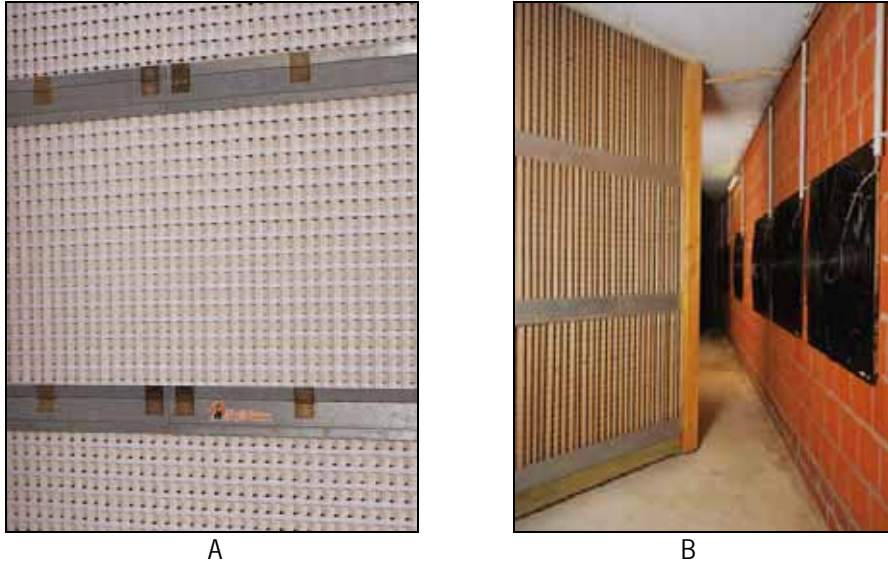
Figuur 1a Schematische weergave van de werking van de StuffNix filterwand, rood: ingaande lucht rood en blauw: uitgaande lucht (Bron: brochure Big Dutchman)



Figuur 1b Schematische weergave van de werking van de StuffNix filterwand, bovenaanzicht van dwarsdoorsnede filterwand met luchtstroming (Bron: brochure Big Dutchman)

Figuur 1 laat zien dat de lucht het filter instroomt via gaten die enigszins links zijn georiënteerd t.o.v. de vouw in de harmonicastructuur. Als gevolg hiervan stroomt de lucht tegen het linkerdeel van de holle ruimte. Door de inertie van de stofdeeltjes zal een deel van de deeltjes tegen de filterwanden botsen en tot stilstand komen, waarna het door de zwaartekracht naar beneden zal vallen en worden opgevangen. De dwarsdoorsnede van de pijlvormige holle ruimte heeft een maximale lengte van ca. 35 mm. De ronde gaten hebben een diameter van ca. 25 mm. In verticale richting bedraagt de onderlinge afstand tussen de gaten 50 mm (van hart naar hart). De gaten waardoor de lucht naar buiten stroomt zijn aan de rechterkant van de vouw aan de buitenkant van de harmonicastructuur geplaatst en bevinden zich qua hoogte tussen de hoogtes van de gaten voor binnenkomende lucht in, zodat de lucht zich ook in verticale richtingen moet gaan bewegen alvorens het filter te verlaten. Het gebruikte materiaal is een flexibele kunststof.

De ingevangen stof wordt verzameld in opvangbakken die over de gehele breedte in de filterwand zijn geïntegreerd en die op meerdere hoogten zijn aangebracht. De opvangbakken kunnen via kleppen eenvoudig worden gereinigd (figuur 2a). In figuur 2b en 3 is te zien hoe het filter wordt geplaatst aan de kopse zijde van de stal waar de ventilatoren in de achterwand zijn geplaatst. De filterwand wordt voor de ventilatoren opgesteld. Om extra aanstroomoppervlakte te creëren is het filter in zigzagvorm geplaatst.



Figuur 2 A: Plaatsing van de stofbakken met kleppen
 B: Aanzicht achterkant stoffilter en achterwand stal met ventilatoren (Bron: brochure Big Dutchman)



Figuur 3 Vooraanzicht van de filterwand, aanstroomzijde stallucht (Bron: brochure Big Dutchman)

Het systeem is in een testopstelling met een windtunnel en stofgenerator getest door de Universiteit van Bonn (Mostafa en Nannen, 2008). In deze notitie wordt aangegeven dat maximale afscheiding wordt verkregen bij een optimale luchtsnelheid van 1 m/s. Onder de 0,5 m/s is de werking marginaal omdat dan niet voldoende impactie wordt verkregen, boven de 1 m/s neemt de werking af omdat het terugkaatseffect en het weer opnemen van stofdeeltjes in de luchtstroom dan belangrijker wordt. Dat betekent dat 1 m² filterwand bij een optimale luchtsnelheid van 1 m/s met 3600 m³/uur kan worden belast. Voor leghennen betekent dit bij een gemiddeld debiet van 3 m³/uur per dier dat 1 m² filterwand de ventilatielucht van 1200 dieren kan behandelen.

In een mondelinge mededeling van Big Dutchman werd aangegeven dat de drukval over het systeem in de buurt lag van 10-20 pascal. In vergelijking met een waterwasser (50-60 pascal) is dit een geringe drukval. Er zijn van het StuffNix systeem echter geen onafhankelijke drukvalmetingen bekend.

4 Deskstudie: beoordeling effectiviteit en inzetbaarheid voor de praktijk

In dit hoofdstuk wordt op basis van de beschrijvingen en ervaringskennis, een inschatting gemaakt van de effectiviteit en inzetbaarheid in de praktijk. Allereerst worden de beoordelingsparameters toegelicht. Via een scoringstabel wordt een kwalitatieve beoordeling gegeven.

4.1 Parameters voor beoordeling effectiviteit en inzetbaarheid van de techniek voor stofverwijdering

Rendement PM10/PM2,5

Op basis van de beschikbare gegevens wordt aangegeven welk verwijderingrendement voor fijnstof kan worden verwacht. Daarbij wordt o.a. gekeken naar de eigenschappen die de invangefficiëntie en de depositie beïnvloeden.

Mechanische stabiliteit van het systeem

Hoe meer draaiende onderdelen een systeem heeft, hoe groter de kans op het falen van een van deze delen. De gebruikte materialen dienen bestand te zijn tegen inwerking van de aangevoerde luchtcomponenten gedurende langere tijd (in ieder geval de economische levensduur van ongeveer 15 jaar).

Reinigbaarheid

Voor het goed functioneren van een afvangende matrix is het van belang dat gepakte materialen schoongemaakt kunnen worden. Ook uit hygiënisch oogpunt is het wenselijk om het systeem periodiek te kunnen reinigen.

Jaarkosten: vaste (kapitale) en variabele kosten

Naast de kosten voor de apparatuur in de vorm van afschrijvingen, zijn ook de variabele kosten (met name de meerkosten voor elektriciteit) van belang. Op basis van deze grootheid kan ingeschat worden of een systeem ook reëel ingezet zal kunnen worden. Een belangrijke parameter is de drukval bij de verschillende ventilatiebelastingen. Bij een hogere drukval over het filter moeten de ventilatoren meer vermogen aanwenden om het ingestelde ventilatiedebiet te halen wat gepaard gaat met hogere elektriciteitskosten.

Toepasbaarheid

Geeft aan of het systeem eenvoudig inpasbaar is in gangbare stalsystemen in de pluimveehouderij (stallen voor vleeskuikens en leghennen).

Afwenteling

Het inzetten van een systeem kan gepaard gaan met neveneffecten op andere milieucomponenten dan fijnstof. Hierbij kan gedacht worden aan excessief energieverbruik, maar ook toename van andere ongewenste emissies. Voor een beoordeling van geschiktheid voor inzet in de praktijk is het van belang potentiële risico's in beeld te brengen.

Implementatietijd in de praktijk

Middels deze parameter wordt aangegeven of een systeem op korte termijn ingezet volledig operationeel is voor de praktijk.

4.2 Kwalitatieve beoordeling

Met plussen en minnen (oplopend in de reeks: --, -, -/+, +, ++) zijn de grootheden zoals beschreven in paragraaf 4.1 gescoord in tabel 1.

Tabel 1 Beoordeling van de StuffNix filterwand, zie tekst voor definitie en toelichting beoordelingsparameters

Parameter	Score
Rendement PM10/PM2,5*	-
Mechanische stabiliteit	++
Reinigbaarheid	++
Jaarkosten	-/+
Toepasbaarheid	+
Afwenteling	+
Implementatietijd	++

* - (10-20%), +/- (20-30%), + (30-50%), ++ (50-70%)

Verwijderingrendement PM10/PM2,5

In tabel 2 zijn de verwijderingrendementen vermeld zoals die konden worden afgelezen uit de staafdiagrammen die door Mostafa en Nannen (2008) zijn gerapporteerd. Het gaat hier om rendementen behaald in een windtunnel. De metingen zijn verricht met een Aerosolspektrometer.

Tabel 2 Verwijderingrendementen StuffNix voor PM2,5 en PM10 in pluimveestof, bij drie luchtsnelheden

Luchtsnelheid (m/s)	PM2,5 (%)	PM10 (%)
0,75	65	65
1,00	82	82
1,25	75	70

Wat meteen opvalt aan bovenstaande resultaten is het hoge verwijderingrendement en het ontbreken van verschillen tussen PM10 en PM2,5. Beredeneerd vanuit het proces van inertiedepositie mag verwacht worden dat minder PM2,5 wordt afgescheiden dan PM10. Het rapport geeft ook rendementen voor Dolomietstof en varkensstof. Hierbij zijn de rendementen voor PM2,5 zelfs hoger dan voor PM10. Eveneens opmerkelijk is dat de verwijderingsrendementen voor het gemeten totaalstof (althans het deel dat door de spektrometer kon worden waargenomen) voor pluimveestof beduidend lager is dan de rendementen voor PM10 en PM2,5. Er is gemeten met een optische techniek waarbij in het algemeen de kalibratie een kwetsbaar onderdeel is. De auteurs geven zelf aan dat een gravimetrische meetmethode nodig is om goede uitspraken te doen over deeltjes groter dan 20 µm.

Op verzoek van Big Dutchman is de benodigde luchtsnelheid in het filter berekend voor de depositie van stofdeeltjes met verschillende diameters bij een gegeven stopafstand van 2,5 cm. De resultaten staan vermeld in tabel 3. De eerste kolom geeft de diameter van het deeltje, de tweede kolom de vereiste instroomsnelheid.

Tabel 3 Vereiste snelheid voor deeltjes met verschillende diameter om te worden afgescheiden in de StuffNix filterwand

Diameter deeltjes (µm)	Snelheid (m/s)
0,001	36284470,25
0,01	3546099,29
0,1	278086,76
1	7062,15
10	80,13
100	0,81

De gaten van de filterwand beslaan ongeveer éénvijfde van het totale aanstroomoppervlak, de luchtsnelheid in de gaten zal daarom gemiddeld met een factor 5 toenemen t.o.v. de aanstroomsnelheid in de stal. Bij een optimale luchtsnelheid van 1 m/s, zoals naar voren kwam uit het testrapport uit Bonn, is dan de snelheid in het filter ca. 5 m/s. Volgens tabel 2 wordt dan bij lange na nog niet de snelheid behaald benodigd voor impactie van PM10 (80 m/s). Om volledige impactie van PM10 te halen is een snelheid in de stal benodigd van 16 m/s. Dit is uiteraard niet realistisch.

De resultaten uit de testopstellingen en de resultaten uit de modelberekening sluiten niet op elkaar aan. De werkelijke verwijderingpotentie voor PM10 en 2,5 blijft daarmee onduidelijk. Het is echter uiterst onwaarschijnlijk dat in de praktijk de rendementen kunnen worden gehaald die in de testopstelling in Bonn zijn gemeten. Realistischer is een rendement voor PM10 te verwachten tussen 10 en hooguit 25%.

Mechanische stabiliteit van het systeem

Het systeem bevat geen bewegende delen. De verwachting is dat de toegepaste kunststof in het filter langdurig gedurende een groot aantal jaren gebruikt kan worden.

Reinigbaarheid

De reiniging van het systeem is relatief eenvoudig uit te voeren via de opvangbakken. Onduidelijk is of er op lange termijn kans bestaat op aankoeking van deeltjes. Regelmatig kloppen en nalopen van de filterwand met een stofzuiger kan hierbij preventief werken.

Vaste (kapitale) en variabele kosten

Hierover is geen concrete informatie beschikbaar. Gezien de eenvoud van het systeem mag aangenomen worden dat de investeringskosten beduidend lager zullen liggen dan oplossingen gebaseerd op het wassen van de lucht. Er is geen meet- en regeltechniek nodig. Wel is er een bouwkundige voorziening nodig om het filter voor de ventilatoren te plaatsen.

De variabele kosten bestaan, afgezien van wat extra arbeid voor reiniging en onderhoud, bijna uitsluitend uit de extra energiekosten. Bij een extra drukval van 10-20 pascal zijn hogere elektriciteitskosten te verwachten. Metingen in testopstellingen en praktijk zullen hier meer duidelijkheid kunnen brengen.

In hoeverre deze kosten acceptabel zijn hangt vooral af van het uiteindelijke verwijderingsrendement van de wand.

Toepasbaarheid in de praktijk

Het systeem kan met lengteventilatie worden gecombineerd. Voor bestaande stallen is daarbij wel ruimte in de stal nodig voor plaatsing van de filterwanden.

Afwenteling

Belangrijk voordeel van dit systeem is dat er geen lastig te behandelen spuiroom aanwezig is. Het opgevangen stof kan eenvoudig verwijderd en afgevoerd worden. Om afwenteling op veehouder en milieu te voorkomen is het dragen van een goed stofmasker en het uitschakelen van de ventilatie tijdens het verwijderen van het stof noodzakelijk. Afwenteling vindt plaats via het hogere energieverbruik t.g.v. de hogere drukval over het filter. De daadwerkelijke hoogte hiervan dient via metingen vastgesteld te worden.

Implementatietijd

Het systeem is op de markt beschikbaar.

5 Metingen van fijnstofconcentraties en -reducties

Op 18 november 2008 heeft er een oriënterende meting plaatsgevonden aan een StuffNix systeem in een volièrestal voor leghennen in Herzlake, Duitsland. Doel van deze meting was het inschatten van het reductieniveau van het StuffNix systeem voor PM10 om het beeld verkregen uit de deskstudie te verifiëren.

Systeembeschrijving

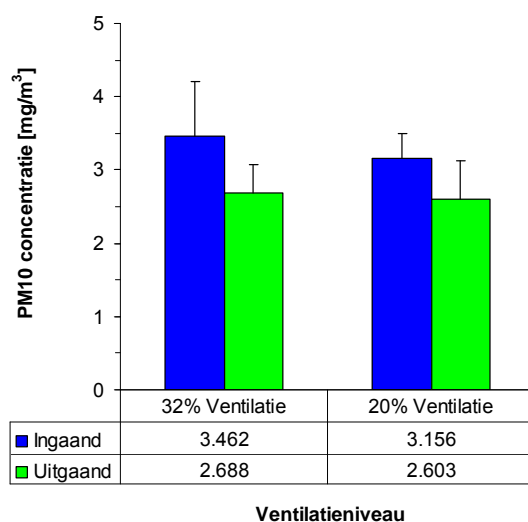
Het StuffNix systeem bestond uit 8 filterwanden van elk 300 cm breed en 248 cm hoog, opgesteld in 4 gelijkvormige hoekopstellingen (zie figuur 5A). De 4 opstellingen waren van elkaar gescheiden door deuren, zodat er aan de uitstroomzijde sprake was van 4 aparte kamers. In de buitenmuur van elke kamer waren 2 ventilatoren geïnstalleerd (nummers 2 t/m 9 in fig. 5A) met een maximaal ventilatiedebiet van 17.000 m³/uur elk. Op de meetdag was alleen kamer 2 in werking bij een ventilatieniveau van 20%. Bij een hogere ventilatiebehoefte kunnen kamers 1, 3 en 4 bijgeschakeld worden. Bij een nog hogere ventilatiebehoefte kunnen er 2 bypass ventilatoren worden bijgeschakeld (ventilatoren 1 en 10 in fig. 5A). Aan de aanstroomzijde werd het systeem gescheiden van de hennen door een wand van kippengaas. Hierdoor was er aan de aanstroomzijde sprake van 3 kamers die elk toegankelijk waren via een kippengaasdeur.

Meetmethode en -strategie

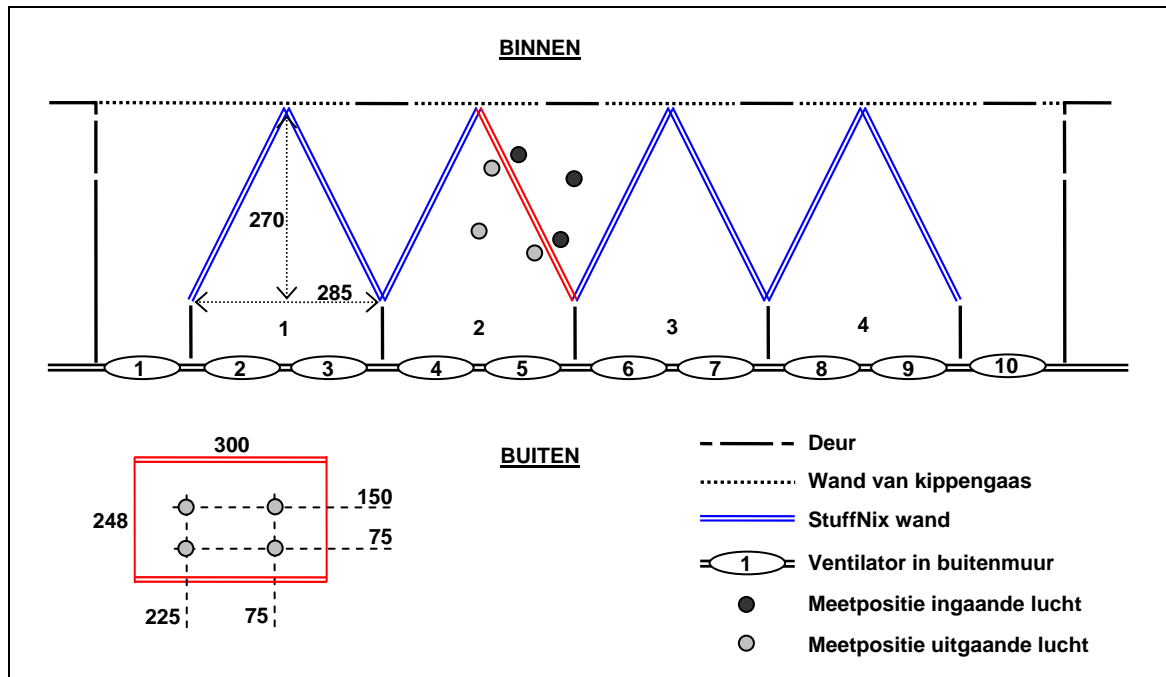
De concentratie van PM10 in mg/m³ is gemeten aan beide zijden van het StuffNix systeem (ingaaende en uitgaande luchtstroom) met een DustTrak apparaat (DustTrak TM Aerosol Monitor, model 8520, TSI Incorporated, Shoreview, USA), zie figuur 5B. Voor de meting is de DustTrak gereinigd en gekalibreerd volgens de aanwijzingen van de fabrikant. De PM10 concentratie werd elke seconde gemeten en minuutgemiddelde concentraties werden gelogd in het geheugen van de DustTrak. Alle metingen zijn uitgevoerd aan de rechterwand van kamer 2 gezien vanaf de uitstroomzijde. Aan beide zijden van de wand is de PM10 concentratie gemeten op 5 plaatsen gedurende 10 minuten elk; linksboven, rechtsboven, linksonder, rechtsonder en centraal in de kamer (zie fig. 5A). Om variatie t.g.v. het gebruik van meerdere DustTrak apparaten te voorkomen is er één DustTrak gebruikt. Na een meting aan de uitstroomzijde is de DustTrak verplaatst naar de corresponderende plek aan de andere zijde van het filter, waarna daar de meting werd ingezet. Er is dus niet gelijktijdig maar voortdurend 'om en om' gemeten totdat alle 2 x 5 meetplekken afgewerkt waren. Deze set van metingen is eerst uitgevoerd bij 32% ventilatie en daarna herhaald bij 20% ventilatie. Van elke meting is de eerste en laatste minuutwaarde niet gebruikt in de analyse om beïnvloeding van de gemeten PM10 concentratie door het benaderen en weglopen van de DustTrak uit te sluiten.

Resultaten

Bij een ventilatieniveau van 32% bedroeg de PM10 concentratie aan de aanstroomzijde gemiddeld 3,462 mg/m³ en aan de uitstroomzijde gemiddeld 2,688 mg/m³. Dit is een reductie van 22,4%. Bij een ventilatieniveau van 20% bedroeg de PM10 concentratie aan de aanstroomzijde gemiddeld 3,156 mg/m³ en aan de uitstroomzijde gemiddeld 2,603 mg/m³. Dit is een reductie van 17,5%. Het verschil tussen de concentraties van ingaande en uitgaande lucht, oftewel de reductie, is statistisch significant (P<0.001) bij beide ventilatieniveaus.



Figuur 4 PM10 concentraties van de ingaande en uitgaande lucht bij 32% en 20% ventilatieniveau, met bijbehorende standaarddeviaties



A



B



C

Figuur 5 A: Schematische weergave van het StuffNix systeem en de meetposities (afmetingen in cm)
 B: Meetopstelling met de DustTrak aan een driepoot
 C: Foto van de gang voorlangs de uitstroomzijde van de StuffNix opstelling; drie deuren staan open zodat achtereenvolgens kamers 4, 3, 2 en 1 zichtbaar zijn (foto genomen tussen ventilator 9 en 10)

6 Discussie en conclusies

In de besproken filterwand wordt stofafschieding door middel van inertiedepositie op een praktische wijze tot stand gebracht. Het systeem vraagt weinig onderhoud, kent geen mechanische risico's of risico's wat betreft de besturing, levert geen moeilijk te verwerken spuiroostroom op met extra kosten en de daadwerkelijke toepassing is verifieerbaar voor derden. Het is relatief eenvoudig in stallen met lengteventilatie in te passen en is op dit moment reeds beschikbaar voor pluimveehouders. De jaarkosten zullen geringer zijn dan de kosten van eenvoudige waterwassers of wassers die in de Rav zijn opgenomen. Deze eigenschappen maken het concept droogfilter aantrekkelijk voor toepassing in de praktijk.

Zoals besproken in hoofdstuk 4 bestaat er echter onduidelijkheid over het verwijderingsrendement voor PM10 en PM2,5. De testmetingen door de universiteit van Bonn (Mostafa en Nannen, 2008) suggereren een hoog rendement. Het lijkt op grond van berekeningen echter onwaarschijnlijk dat een dergelijk rendement gehaald kan worden, gezien de relatief lage snelheid waarmee de lucht binnenstroomt, waarbij de depositie dient plaats te vinden via een eenmalige passage van de filterwand. Op grond van de modelberekening lijkt een rendement van 10 tot maximaal 25% realistischer. Bij wassers met pakkingsmateriaal is er ook sprake van een relatief lage snelheid voor inertiedepositie maar daar staat tegenover dat er gedurende het passeren van de wand een groot aantal depositiemogelijkheden optreden op waterdruppels en pakkingswanden.

Omdat de resultaten van de modelberekening en de testopstelling van de universiteit van Bonn niet op elkaar aansluiten is een rendementsmeting voor PM10 uitgevoerd in een leghennenstal zoals beschreven in hoofdstuk 5. Deze meting laat een rendement zien van 22,4 en 17,5%. Dit sluit aan bij de resultaten van de modelberekening.

Enkele weken later is in opdracht van Big Dutchman door het Duitse instituut LUFA eveneens een aanvullende meting verricht van PM10 en totaalstof in dezelfde leghennenstal (Hegger, 2009). De metingen werden op dezelfde filterwand uitgevoerd als in deze studie en bij dezelfde ventilatieniveaus, namelijk 32% gedurende 2 uur, gevolgd door 20% gedurende 46 uur. PM10 concentraties werden gravimetrisch en continu gemeten met twee TEOM 1400 apparaten; een aan elke zijde van de filterwand gedurende 48 uur. Daarna is de meting herhaald voor totaalstof. In figuur 6 worden de resultaten van de PM10 meting van Hegger (2009) weergegeven. Duidelijk zichtbaar in de figuur zijn de licht- en donkerperiodes, met hoge PM10 concentraties tijdens de lichtperiodes en lage PM10 concentraties tijdens de donkerperiodes. Uit de figuur blijkt dat de uitgaande (gefilterde) lucht aanzienlijk minder PM10 bevat dan de ingaande (ongefilterde) lucht. Het gemiddelde 48-uurs verwijderingsrendement werd vastgesteld op 57,6% voor PM10 en 65,1% voor totaalstof.

Oorzaken meetverschillen

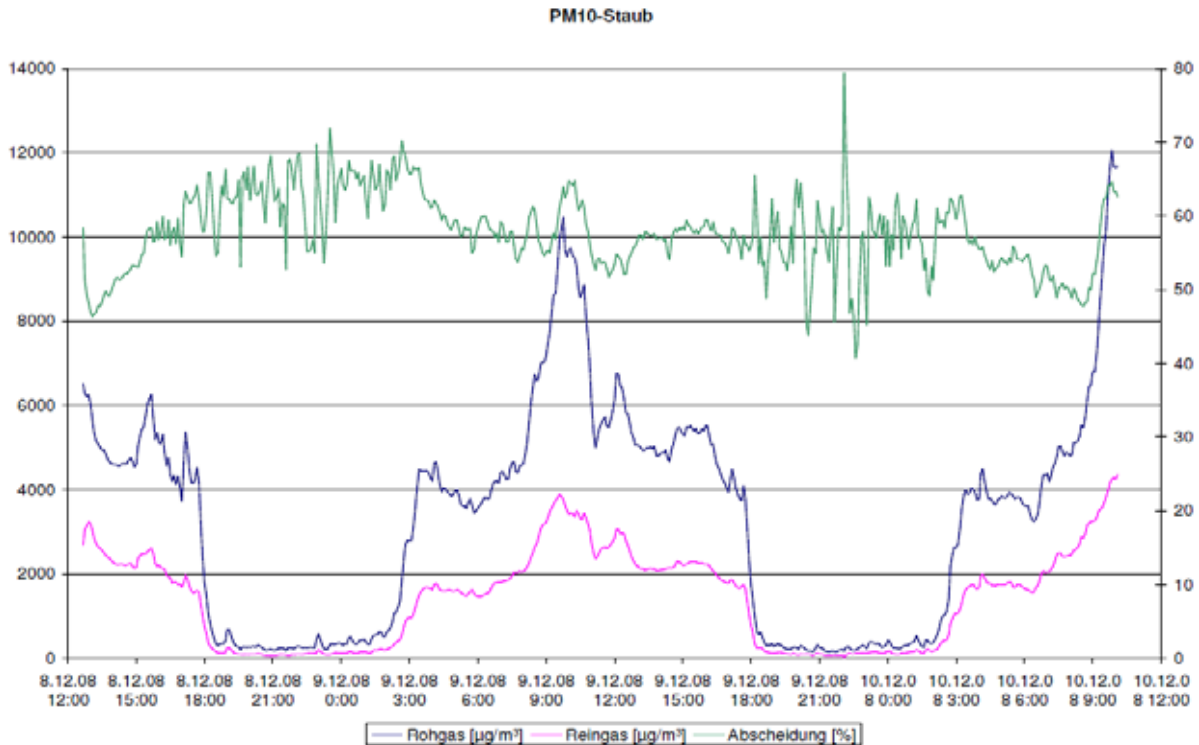
Het is niet goed duidelijk waarom de resultaten van de eerste meting niet aansluiten op de meting van de LUFA. Er zijn een aantal zaken die een rol zouden kunnen spelen:

Meetpositie en vloerbevulling

De eerste meting werd uitgevoerd op vier posities op het filter (linksboven, rechtsboven, linksonder, rechtsonder), aan beide zijden van de filterwand, op een afstand van 20 cm van het filter. Op grond van deze vier posities is het verwijderingsrendement (22,4% en 17,5%) bepaald. Het verwijderingsrendement is bij de meting van LUFA (57,6%) vastgesteld op grond van een meting in het centrum van de kamer (hoogte: 1,91 m). Tijdens de eerste meting is er echter ook in het centrum van de kamer gemeten (hoogte: 1,50 m) maar het verwijderingsrendement voor deze positie was 0%. Omdat dit mogelijk toe te schrijven is aan het opwerpen van fijnstof vanaf de vloer is deze positie niet meegenomen in het bepalen van het verwijderingsrendement van de filterwand. De positie van meten en de mate van bevulling van de vloer met (fijn)stof zouden van invloed kunnen zijn op concentraties en verwijderingsrendementen die gemeten worden.

Meetprincipe

De DustTrak bepaalt de PM10 concentratie van de bemonsterde lucht optisch, d.w.z. op basis van de mate van verstrooiing van een laserstraaltje in een optische kamer waar de bemonsterde lucht doorheen stroomt. De bemonsterde lucht wordt daarvoor eerst door een voorafscheider gevoerd die deeltjes groter dan 10 µm afvangt. Concentraties werden elke seconde bepaald en minuutgemiddelde concentraties werden gelogd. De TEOM 1400 bepaalt de PM10 concentratie van de bemonsterde lucht gravimetrisch; deeltjes groter dan 10 µm worden afgevangen met behulp van een voorafscheider waarna PM10 deeltjes worden verzameld op een glasvezelfilter waarvan de massa wordt bepaald d.m.v. een micro-weegstelsel. Gemiddelde concentraties werden elke 5 minuten gelogd. Door de verschillen in meetprincipe zouden verschillen kunnen optreden in absolute concentraties, maar dit hoeft niet tot verschillen in (procentuele) verwijderingsrendementen te leiden.



Figuur 6 De PM10 concentraties van de ingaande lucht (Rohgas), de uitgaande lucht (Reingas) en het verwijderingsrendement (Abscheidung, %) zoals gemeten door Hegger (2009)

Opmerkelijk hierbij is overigens dat het verwijderingsrendement bij de metingen van de LUFA weinig verschilt tussen PM10 en totaalstof. Op grond van het principe van inertiedepositie mag verwacht worden dat het verwijderingsrendement voor totaalstof duidelijk hoger is dan die voor PM10.

Wat bij de DustTrak meting mogelijk wel een rol speelt is het verschil in deeltjesverdeling (de deeltjesverdeling naar aantal en diameter) van de ingaande en uitgaande lucht. De DustTrak is gekalibreerd door de fabrikant waarbij de mate van verstrooiing van het laserstraaltje gecorreleerd is met een bepaalde PM10 massaconcentratie. Het StuffNix filter verwijdert stofdeeltjes met grotere diameters met een grotere efficiëntie, waardoor de deeltjesamenstelling van de lucht na het filter waarschijnlijk verschuift naar relatief minder grotere en meer kleinere deeltjes. Dit zou een effect kunnen hebben op de PM10 concentraties en verwijderingsrendementen die met de DustTrak gemeten worden.

Apparaatverschillen

Om effecten van apparaatverschillen op het verwijderingsrendement uit te sluiten is tijdens de eerste meting één DustTrak gebruikt die elke 10 minuten verplaatst werd naar de andere zijde van het filter. De meting van de LUFA is uitgevoerd met één TEOM aan de ene zijde van het filter en één aan de andere zijde, die niet van positie werden gewisseld. Het verwijderingsrendement in de meting van LUFA zou daarmee beïnvloed kunnen zijn door apparaatverschillen.

Systeemverbeteringen

Het verwijderingsrendement kan mogelijk worden verhoogd door een watervernevelingsstap aan te brengen voor het filter. De stofdeeltjes worden dan beladen met water, worden groter en slaan sneller neer door inertiedepositie. Dit maakt het eenvoudige systeem echter technisch gecompliceerder en duurder en er zal spuiwater worden geproduceerd, waarmee een aantal aantrekkelijke eigenschappen van dit eenvoudige systeem teniet wordt gedaan.

Op de vloeren van de kamers tussen het filter en de ventilatoren hoopt zich veel stof op. Door luchtwervelingen en de hoge luchtsnelheden voor de ventilatoren komt dit stof mogelijk opnieuw in de luchtstroom terecht en vindt er alsnog fijnstofemissie plaats. Belangrijk is om vast te stellen of dit daadwerkelijk gebeurt en met welke technische aanpassingen dit kan worden voorkomen. Om fijnstofemissie tijdens het reinigen van het filter en de vloeren te voorkomen is het noodzakelijk dat de ventilatoren tijdens die werkzaamheden zijn uitgeschakeld.

Conclusie

Geconcludeerd kan worden dat het potentiële verwijderingsrendement van de filterwand zich bevindt in de range van ongeveer 20 tot 60%. Aanbevolen wordt om in een vervolgstudie te onderzoeken waarom de resultaten van de twee metingen niet goed op elkaar aansluiten. Met validatiemetingen op praktijkniveau kan zekerheid worden verkregen over het daadwerkelijk verwijderingsrendement. Hierbij kan op basis van een gestandaardiseerd meetprotocol een fijnstofemissiefactor worden vastgesteld die kan worden gebruikt voor vergunningverleningspraktijk.

Literatuur

- Verein Deutsche Ingenieure (VDI), 1994. Dust measurement in flowing gases; particle size selective measurement by impaction method. November 1994. 46 p.
- Hegger C., 2009. Messbericht über die Durchführung von Emissionmessungen (StuffNix Big Dutchman). LUFA Nord-west, Institut für Boden und Umwelt, nummer 031008-656. 18 p.
- Hicks, B.B. and R.M. Williams, 1979. Transfer and depositions of particles to water surfaces. in Potential environmental and health effects of atmospheric sulfur deposition. 1979. ORNL Life sciences Symposium series
- Langmuir, I. & K.B. Blodgett, 1960. A mathematical investigation of water droplet trajectories, in: The collected works of Irving Langmuir. 1960, Pergamon Press: Elmsford, NY. p. 335-393
- Mostafa, E. & C. Nannen, 2008. Messbericht: Big Dutchman- drei Filtersysteme im Vergleich. Bonn, 2008.
- Perry, R.H., 1984. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 6th ed. 1984: MacGraw-Hill
- Sehmel, G.A., 1980. Particle and gas dry deposition. Atmospheric environment, 1980. 14: p. 983-1011.
- Slinn, S.A. & W.G.N. Slinn, 1980. Predictions for particle deposition on natural waters. Atmospheric Environment, 1980. 14: p. 1013-1016
- Sinnot, R.K., 2001. Chemical engineering design. 3rd ed. Coulson & Richardson's Chemical Engineering. Vol. 6. 2001