

TNO-rapport**TNO rapport TNO 2015 R10356****Technologiecluster filtersystemen endotoxinen
- rapportage praktijktest effectiviteit filters****Technical Sciences**Stieltjesweg 1
2628 CK Delft
Postbus 155
2600 AD Delftwww.tno.nl

T +31 88 866 20 00

F +31 88 866 06 30

Datum 17 maart 2015

Auteur(s) Piet Jacobs
André M.M. MoonsAantal pagina's 25 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen 3
Opdrachtgever TNO intern
Projectnaam TC Filters en filtersystemen endotoxinen
Projectnummer 060.08332

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2015 TNO

Samenvatting

In de literatuur zijn diverse blootstellingsmetingen naar endotoxinen gerapporteerd. Er is echter zeer weinig bekend over de bijbehorende deeltjesgrootteverdeling, wat voor de keuze van bijvoorbeeld de juiste filters voor de afvangst van stof en endotoxinen van groot belang is.

Endotoxinen zijn celwandfragmenten van Gram-negatieve bacteriën, waardoor men zou verwachten dat de deeltjesgrootte in de orde van grootte van 10 – 100 nm ligt. Endotoxinen komen vrij in de lucht voor, maar ook gebonden aan bacterieresten, stofdeeltjes en waterdeeltjes. Op basis hiervan is de deeltjesgrootte-verdeling waarschijnlijk afhankelijk van het contactoppervlak en de oppervlakte-eigenschappen van de diverse in de lucht aanwezige deeltjesfracties.

Een uitgebreid onderzoek hiernaar past niet in de scope van een technologiecluster. Het doel is dan ook om met een beperkte hoeveelheid metingen een indruk te krijgen van de effectiviteit van een aantal filterklassen op de reductie van endotoxinen.

Gedurende twee dagen zijn stof metingen verricht bij Wiskerke Onions in Kruiningen. De PM₁₀ fractie in fijn stof varieerde sterk in de ruimte en over de tijd en lag in de orde van grootte 1 - 4 mg/m³. Nabij de sorteermachine is de ruimtelucht gedurende een dag op een viertal tijdstippen bemonsterd op endotoxinen, met een gemeten concentratie in de orde van grootte van 457 - 1687 EU/m³. Dit is vergelijkbaar met eerder in 2006 uitgevoerde blootstellingsmetingen.

Nabij de sorteermachine zijn 3 luchtfilters met filterklasse G4, F7 en F8 en een elektrostatisch filter (ASPRA) beproefd wat betreft afvangst van deeltjes en endotoxinen. Uit een vergelijking van de reductie van deeltjes en endotoxinen kan worden afgeleid welke fractie van fijn stof (m.b.t. deeltjesgrootte) met name relevant zijn met betrekking tot endotoxinen, oftewel aan welke fractie stofdeeltjes de endotoxinen voornamelijk gehecht zijn. Uit de resultaten van de praktijktest blijkt dat endotoxinen naar verwachting voornamelijk gehecht aan deeltjes groter dan 2,5 µm voorkomen. Dit komt overeen met eerder uitgevoerde studies in kippenstallen en bij maisopslag.

Het elektrostatische filter had het hoogste afvangstrendement ten aanzien van stofdeeltjes. Het afvangstrendement ten aanzien van stofdeeltjes was 3,2%punt hoger ten opzichte van het afvangstrendement voor endotoxinen. Dit is waarschijnlijk mede een gevolg van de meetprocedure, waarbij tijdens de ijking van het debiet mogelijk vervuilde lucht is aangezogen.

Met alle geteste filters is een afvangstpercentage voor endotoxinen van ruim 85% mogelijk. Het betreft kortdurende proeven van 15 tot 30 minuten met gebruikmaking van nieuwe filters. Dit zal effect hebben op de gemeten reductie. Naar verwachting zal de afvangstefficiëntie van de luchtfilters bij langere standtijd toenemen en die van het elektrostatische filter afnemen.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
2	Oriënterende meting voor bepaling meetlocatie	5
3	Praktijktest filtersystemen	8
3.1	Meetplan	8
3.2	Filtersystemen	8
3.3	Resultaten.....	11
3.4	Vergelijking meetresultaten met eerdere metingen	16
4	Conclusies.....	18
5	Referenties	19
6	Ondertekening	20
	Bijlage(n)	
	A Factsheets filtersystemen	
	B Correctiefactoren per deeltjesgrootte	
	C Productblad Compact pocket filter F45 S & MVP Cassette filters MVP85 & MVP95	

1 Inleiding

In bedrijven in de landbouw- en voedingssectoren (agro-food) bevat het rondzwevende stof bijna altijd schadelijke deeltjes, waaronder zogenaamde 'endotoxinen' (onderdeel van de celwand van Gram-negatieve bacteriën, die vrijkomen als de bacterie sterft). Inademing van dit stof tijdens het werk kan leiden tot klachten aan onder andere de luchtwegen. Deze zijn een belangrijke oorzaak van ziekteverzuim in deze sectoren. Om dit te voorkomen heeft de Gezondheidsraad een gezondheidskundige advieswaarde voor endotoxinen van 90 EU/m³ vastgesteld. In een eerder uitgevoerde BIA is vastgesteld dat de blootstelling van werknemers aan endotoxinen soms een factor 10 tot 1000 maal boven deze norm ligt. Het doel van dit TNO Technologiecluster is enerzijds het overdragen van kennis over endotoxinen, ontwerpschetsen en specificaties van endotoxinen-reducerende maatregelen aan filterontwikkelaars. Anderzijds wordt aan de leden van de brancheorganisaties kennis overgedragen over filtersystemen wat betreft filterefficiëntie, investerings- en energiekosten, en gebruiksvriendelijkheid. Door de betrokkenheid van de brancheorganisaties wordt de kennis breed verspreid.

Er zijn diverse blootstellingsmetingen uitgevoerd naar endotoxinen die in de literatuur zijn gerapporteerd. Er is echter zeer weinig bekend over de bijbehorende deeltjesgrootteverdeling. Endotoxinen zijn celwandfragmenten van Gram-negatieve bacteriën. Op basis hiervan zou worden verwacht dat de deeltjesgrootte de orde grootte van 10 – 100 nm ligt. Deze endotoxinen komen vrij in de lucht voor, maar ook gebonden aan bacterieresten, stofdeeltjes en waterdeeltjes. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de deeltjesgrootteverdeling waarschijnlijk afhankelijk van het contactoppervlak en de oppervlakte-eigenschappen van de diverse in de lucht aanwezige deeltjesfracties. Een uitgebreid onderzoek hiernaar past niet in de scope van een technologiecluster. Het doel is dan ook om met een beperkte hoeveelheid metingen een indruk te krijgen van het effect van een aantal filterklassen op de reductie van in de lucht aanwezige concentraties endotoxinen.

Aan het technologiecluster hebben de volgende bedrijven deelgenomen:

- Lutec luchttechniek, contactpersoon Klaas Nieuwland
Kernactiviteit: leverancier van ontstoftingsinstallaties
- Verhagen Leiden B.V., contactpersoon Patrick Le Maitre
Kernactiviteit: industriële stofzuigers
- Clean All Air (Uniqfill), contactpersoon Ron Timmermans
Kernactiviteit : natte wassers, chemische wassers, biologische wassers
- Virus Free Air, contact persoon Eliane Khoury
Kernactiviteit: elektrostatische filtering
- Merrem & la Porte B.V., contactpersoon Jeroen Landweer
Kernactiviteit: leverancier van hoogwaardige stof-, vloeistof- en luchtfilters, maatconfectie en service aan installaties

Dank is ook verschuldigd aan Wiskerke Onions voor het kunnen uitvoeren van een praktijktest, en Qreenno voor de begeleiding hiervan.

2 Oriënterende meting voor bepaling meetlocatie

Ten aanzien van de effectiviteit van diverse filters met betrekking tot de afvangst van endotoxinen is besloten is om een praktijktest uit te voeren in een uienverwerkingsbedrijf, omdat:

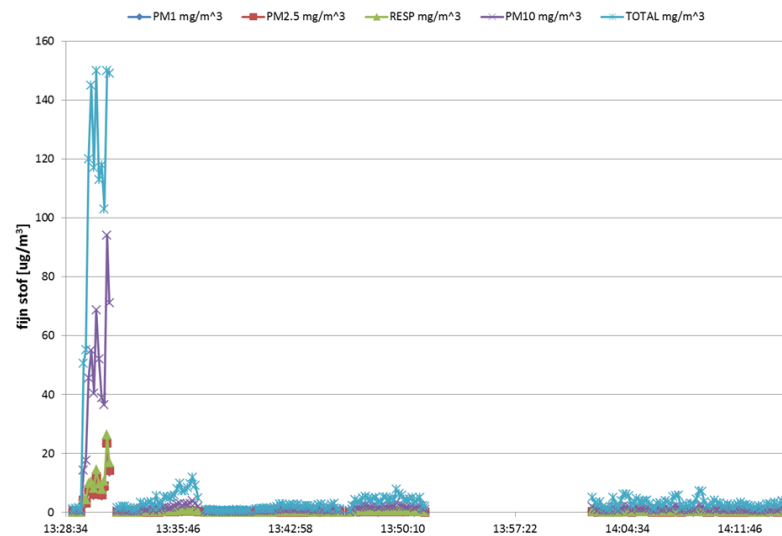
- In de uiensector de blootstelling aan endotoxinen zeer hoog is, en een reductie van deze blootstelling met een factor 100 is noodzakelijk;
- Uit een eerste inventarisatie bij diverse toeleveranciers bleek dat met name machinebouwers voor de uiensector behoefte hebben aan kennis, is parallel aan dit TC ook het TC aanpak emissiepunten endotoxinen gestart, specifiek gericht op de uiensector, waarin ook een praktijktest is uitgevoerd.

Wiskerke Onions B.V. in Kruijningen heeft toegestemd om deel te nemen in deze proefneming. Ten tijde van het bezoek werden bij Wiskerke boven de automatische weeglijn recirculatie Flimmer filters toegepast voor filtering van lucht (4 units van 2500 m³/uur). Daarnaast wordt ook 150.000 m³/uur proceslucht op een zeer groot aantal bronlocaties afgezogen en na filtering gerecirculeerd. Deze installatie is door Modesta gerealiseerd.

Doel van het bezoek op 4 november 2014 was om een goede meetlocatie te vinden voor de filtertest bij Wiskerke Onions in Kruijningen. Met een DustTrak DRX is gedurende het bezoek een inschatting gekregen van de niveaus fijn stof. De DustTrak meet deeltjesaantallen van 0,1 tot 15 µm en rekt deze op basis van een aangenomen dichtheid om in massaconcentraties.

Aanwezig: Rutger Keurhorst Wiskerke Onions/Qreenno
Wim de Rijder Qreenno
Dirk Heimans Merrem & la Porte
Klaas Nieuwland Lutec
Eliane Khoury VFA Solutions
Piet Jacobs TNO
André Moons TNO

In Figuur 1 overheerst de gemeten concentratie nabij de afstaarter. Deze was incidenteel zelfs hoger dan het maximum meetbereik van het meetapparaat (150 mg/m³). De afstaarter is in een afgesloten ruimte geplaatst, waar tijdens productie geen werknemers aanwezig zijn.



Figuur 1: Gemeten concentraties fijn stof tijdens rondgang door bedrijfshallen Wiskerke Onions.

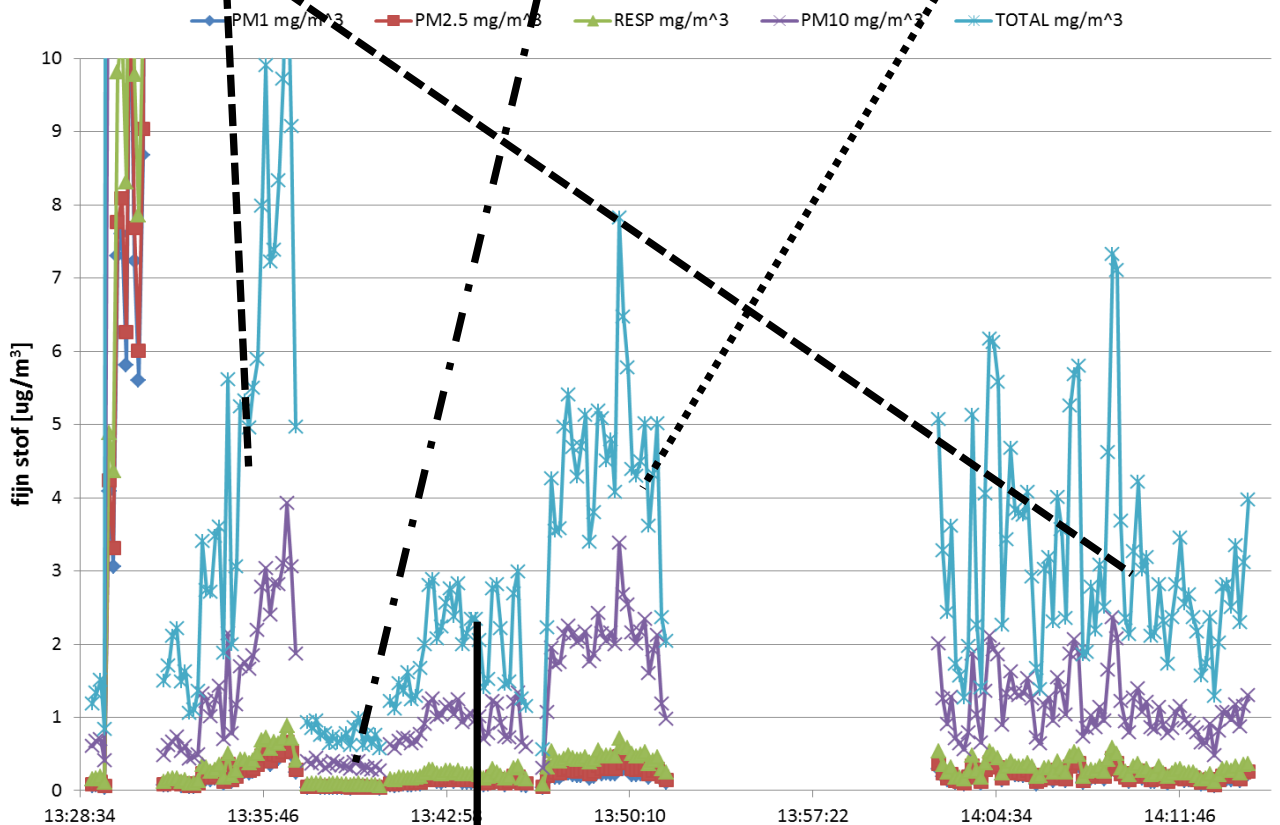
In Figuur 2 is de fijn stof concentratie tot maximaal 10 mg/m^3 uitgezet om meer inzicht te krijgen in de overige ruimtes. Besloten is om de praktijkmeting onder de sorteermachine uit te voeren (zie foto linksboven in Figuur 2). Deze productiehal, aangrenzend aan de hal van de automatische weeglijn, heeft een groot volume en op basis van de gemeten concentratieniveaus fijn stof zal naar verwachting ook een hoge concentratie endotoxinen aanwezig zijn. Hierdoor zal de afvangst van de filters een beperkte invloed hebben op de concentratie endotoxinen. Voordeel van de locatie onder de sorteermachine is ook dat het primaire productieproces niet wordt belemmerd. Laatste argument om voor deze locatie te kiezen was dat deze niet in de directe nabijheid van open deuren is gelegen. Nabij een open deur kan afhankelijk van de windrichting en de stand van andere deuren de luchtstroming sterk variëren en zelfs van richting veranderen, waardoor de concentratie fijn stof binnen enkele minuten sterk kan variëren.



Onder uiengroote selecteerder:
de gekozen meetlocatie

In dezelfde hal naast open deur

Bordes operatorhok bij
automatische weeglijn



Inpaklijn met wegers en windzifter

Figuur 2: Gemeten concentraties fijn stof met DustTrak op diverse locaties op 4 november 2014.

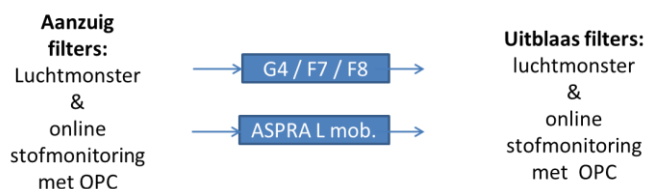
3 Praktijktest filtersystemen

3.1 Meetplan

Op donderdag 20 november 2014 zijn bij Wiskerke Onions in Kruiningen testen uitgevoerd om het effect van filters op de afvangst van endotoxinen en fijn stof vast te stellen. Door de test uit te voeren met verschillende filterklassen, welke een verschillend afvangstrendement hebben ten aanzien van grote en kleine deeltjes, wordt ook inzicht verkregen in aan welke deeltjesfracties de endotoxinen zijn gebonden.

Het endotoxinen-niveau in de verzamelde monsters is bepaald middels NEN-EN 14031 "Workplace atmospheres – Determination of airborne endotoxins". Hiertoe is met een debiet van 10 dm³/min lucht aangezogen door een glasvezelfilter zonder bindmiddel. Het glasvezelfilter was geplaatst in een open 25 mm filterkop. De gebruikte pomp is een Gilian Model AirCon 2. Het luchtdebiet is voor en na elke meting gecontroleerd met een geijkte rotameter. Na afloop van de metingen zijn de monsters bij het laboratorium van RPS aangeleverd ter analyse (Elisa methode).

Met optische deeltjes tellers (OPC) zijn in de aanzuig en in de uitblaas gelijktijdig de deeltjesgrootte verdeling en de deeltjes aantallen gemeten (zie Figuur 3). Hiertoe zijn twee identieke Grimm 1.109 deeltjestellers gebruikt. Dit is optische deeltjesteller die deeltjes in 32 deeltjes categorieën meet. Voorafgaande aan de meting is de meetapparatuur gedurende 10 minuten in de buitenlucht en op de meetlocatie naast elkaar gezet om te kalibreren.



Figuur 3: Schematische opzet praktijkmeting filtersystemen.

Naast de metingen aan de filtersystemen is een meting uitgevoerd in de uitblaas van het door Modesta geïnstalleerde filtersysteem. Dit filtersysteem reinigt de op de diverse punten afgezogen lucht, in totaal circa 150.000 m³/uur. Omdat echter niet in de aangezogen lucht kon worden gemeten, is het niet mogelijk om voor dit systeem een reductie te kunnen berekenen.

3.2 Filtersystemen

Lutec heeft een mobiele filterunit gemaakt (zie Figuur 4), waarin achtereenvolgens drie verschillende filters van Merrem & La Porte zijn gemonteerd:

- Viledon F45S 1/1, filterklasse G4, 592x592x350mm (zakkenfilter)
- Viledon MVP85 1/1, filterklasse F7, 592x592x292mm (cassettefilter)
- Viledon MVP95 1/1, filterklasse F8, 592x592x292mm (cassettefilter)

Nadere specificaties van de filters zijn in Bijlage A gegeven. De unit is middels een frequentieregelaar en een debietmeter ingesteld op een debiet van 2200 m³/uur.



Figuur 4: Lutec filterunit circa 1 m boven de grond geplaatst, bovenop de unit is de Grimm fijn stof meter zichtbaar, de andere fijn stof meter bevindt zich in de uitblaas van de donkergrijze meetpijp op de centrifugaal ventilator.

Virus Free Air (VFA) heeft een ASPRA L mobile filterunit ter beschikking gesteld voor de proef (zie bijlage A). Het debiet van deze unit is met een debietmeter vastgesteld op 2200 m³/uur. De lucht wordt aan de bovenzijde van de unit aangezogen (zie Figuur 5). In de unit worden stofdeeltjes van een positieve lading voorzien. Aan de onderzijde bevinden zich 4 collectorplaten die de geladen deeltjes afvangen. De lucht verlaat met lage snelheid de unit. Om een goede meting te kunnen verrichten is een meetpijp op de collector geplaatst, waardoor zonder opmenging met ruimtelucht de concentratie fijn stof in de uitgeblazen lucht kan worden vastgesteld.



Figuur 5: ASPRA L mobile filterunit, bovenop de unit is de Grimm fijn stof meter zichtbaar, de andere fijn stof meter bevindt zich in de uitblaas van de donkergrijze meetpijp aan de onderzijde.

De door Modesta geïnstalleerde ontstoffingsinstallatie bestaat volgens opgave van Modesta uit 2 units met elk een filter oppervlak van 450 m^2 bestaande uit ronde filterslangen van 150 mm diameter. Het filtermateriaal is polyester naaldvilt antistatisch 500 g/m^2 . De twee filters ontstoffen op diverse plaatsen in het bedrijf de afgezogen lucht. Vervolgens wordt deze lucht in de zomer direct naar buiten afgeblazen, en in de winter om verwarmingsenergie te besparen weer in de proceshal ingeblazen.

Volgens opgave van Modesta is de stofconcentratie in de retourlucht minder dan 1 mg/m^3 . Om een indicatie te verkrijgen van de prestatie van deze filterinstallatie is een meting verricht aan de inblaaslucht in de hal (zie Figuur 6). Hiertoe is met een hoogwerker de meetapparatuur op de luchtverdeelplaat geplaatst.



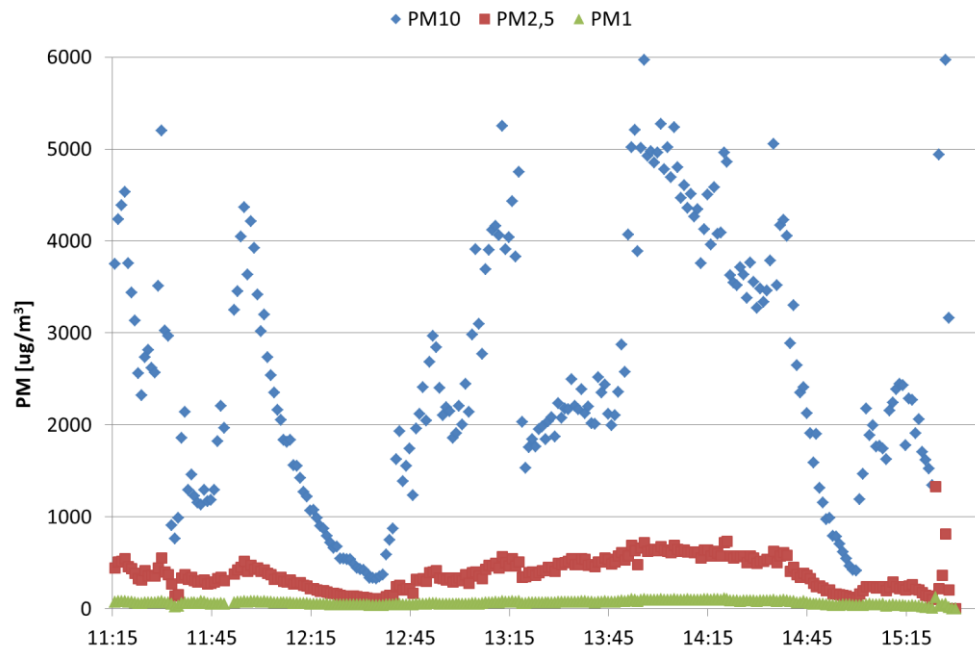
Figuur 6: Meetlocatie retourlucht Modesta ontstoffingsfilter, de eerste inblaasopening boven de kistenkantelaar is bemeten.

3.3 Resultaten

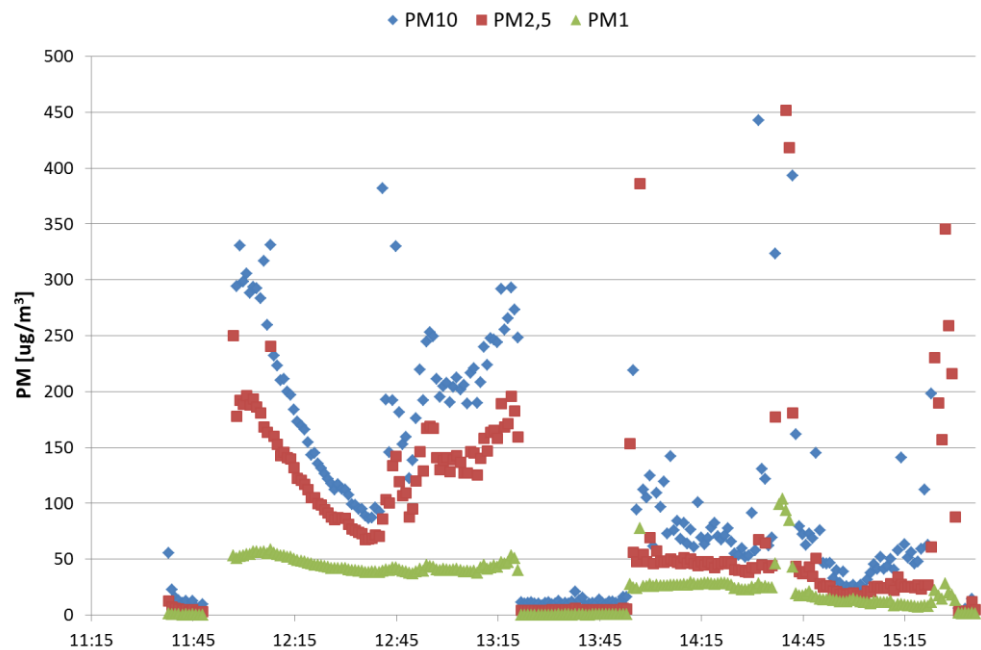
In Figuur 7 en Figuur 8 staan de resultaten vermeld van concentratiemetingen met de optische deeltjestellers in respectievelijk de aanzuig en de uitblaas van de filterunits. De concentraties in Figuur 8 zijn gecorrigeerd op basis van de buitenluchtkalibratie (zie Tabel 1). Bij deze kalibratie is de Grimm van Ravebo als ijkpunt genomen, omdat deze het meest recent is gekalibreerd. De andere twee meetinstrumenten gaven lagere deeltjesaantallen aan. De gepresenteerde massaconcentraties dienen als indicatief te worden te worden beschouwd, omdat deze met de standaard dichtheid voor fijn stof in de buitenlucht zijn bepaald. Wellicht wijkt de dichtheid van uienstof hiervan af. Wel kan op basis van de meetresultaten de procentuele reductie van het deeltjesaantal worden bepaald.

Tabel 1: Correctiefactoren voor PM op basis van kallibratie gedurende 10 minuten in de buitenlucht en 10 minuten op de meetlocatie.

	Correctiefactor op basis van buitenlucht			Correctiefactor op basis van binnenlucht in proceshal		
	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁
Grimm 1.109 Ravebo	-	-	-	-	-	-
Grimm 1.109 VFA	1,82	1,70	1,62	1,45	1,09	1,36
DustTrak DRX TNO	1,24	1,17	1,02	1,63	1,22	0,30



Figuur 7: Verloop van de fijn stof concentratie in de **aanzuig** van de filterunits (Grimm 1.109 Ravebo)



Figuur 8: Verloop van de fijn stof concentratie in de **uitblaas** van de filterunits (Grimm 1.109 VFA gecorrigeerde waarden)

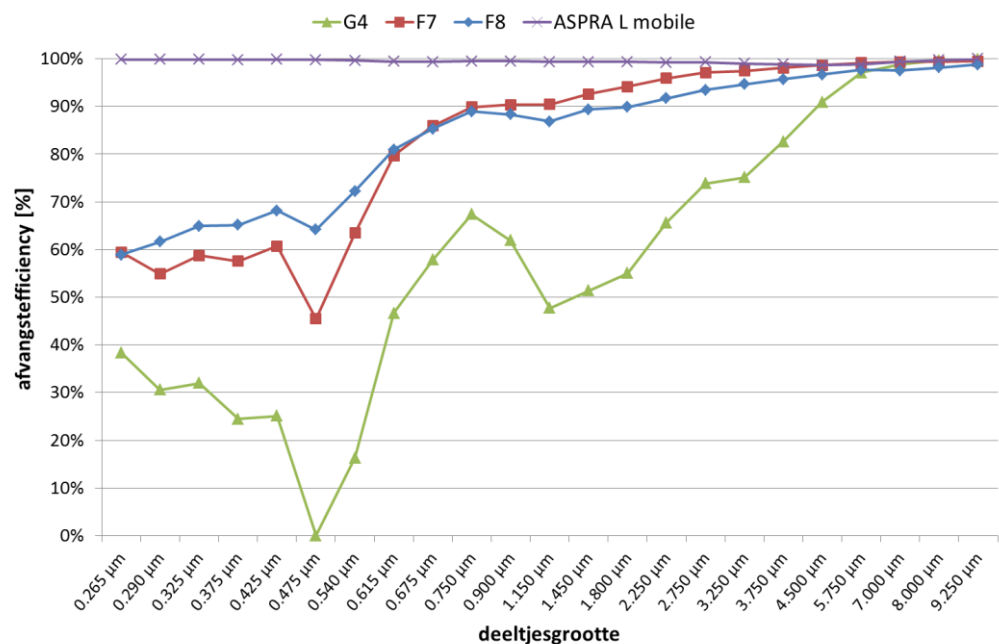
In beide figuren is duidelijk het effect van de lunchpauze (12.00 – 12.30 uur) en de theepauze (14.30 – 15.00 uur) waarneembaar. Daarnaast is ook de verplaatsing van de Grimm van de aanzuig van de Lutec filterunit naar de ASPRA L mobile om 13.20 uur zichtbaar. Hoewel beide units op slechts 1 meter afstand van elkaar zijn geplaatst, zorgt dit voor een halvering van de aanzuig concentratie. Blijkbaar is het fijn stof niet homogeen over de ruimte verdeeld.

Tabel 2: Meetwaarden diverse filtersystemen (de PM waarden zijn gerapporteerd in $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	start	einde	aanzuig				endotoxinen				reductie			
			PM10	PM2,5	PM1	[EU/m ³]	PM10	PM2,5	PM1	[EU/m ³]	PM10	PM2,5	PM1	endotoxinen
ASPRA	11.38	11.48	1245,5	302,9	65,1	-	12,1	4,6	0,4	-	99,0%	98,5%	99,4%	-
G4	12.50	13.05	2328,3	341,1	54,9	-	211,2	141,5	41,0	-	90,9%	58,5%	25,4%	-
G4	13.05	13.20	3718,2	446,7	70,0	1467	240,8	158,8	43,7	177	93,5%	64,5%	37,6%	88,0%
ASPRA	13.20	13.35	2033,5	448,0	70,4	477	10,5	4,3	0,3	20	99,5%	99,0%	99,5%	95,8%
F7	14.00	14.30	4242,6	609,7	97,1	1687	75,8	45,8	26,6	67	98,2%	92,5%	72,6%	96,0%
F8	14.48	15.18	1503,9	205,6	42,3	457	48,3	24,2	11,6	57	96,8%	88,2%	72,6%	87,6%
Modesta	15.30	15.43	-	-	-	-	10,1	7,3	3,0	47 & 67	-	-	-	-

Tabel 2 geeft een overzicht van de uitgevoerde metingen. De resultaten van de optische deeltjestellers zijn uitgedrukt in massaconcentraties fijn stof (particulate matter, PM). PM₁₀ is hierbij de massafractie deeltjes tot 10 µm, PM_{2,5} is de massafractie deeltjes tot 2,5 µm en PM₁ is de massafractie deeltjes tot 1 µm. De eerste twee metingen zijn alleen met deeltjestellers uitgevoerd om de apparatuur en methode te testen. Vervolgens zijn naast de metingen met de deeltjestellers ook luchtmonsters genomen om de concentratie endotoxinen in de lucht te bepalen. De percentages reductie moeten als indicatief worden gezien, omdat gedurende de meetperiodes de concentratie in de aanzuig van de filters aan grote schommelingen onderhevig is geweest (zie Figuur 7). Omdat de filters niet tegelijkertijd zijn getest kan dit effect zal hebben op de reductie. Naar verwachting zal bij een lagere ruimteconcentratie het reductiepercentage afnemen. Dit zou een verklaring kunnen zijn voor de lagere PM₁₀ / PM_{2,5} reductie van het F8 filter versus het F7 filter.

Uit een vergelijking van de reductie in gemeten concentratie stofdeeltjes en endotoxinen in Tabel 2 kan worden afgeleid van welke deeltjesgroottefractie de endotoxinen (waarschijnlijk) voornamelijk onderdeel uitmaken, aangezien de verwachting is dat endotoxinen met name gehecht aan stofdeeltjes voorkomen. Het afvangstrendement van het G4 filter voor PM₁ is veel lager dan het afvangstrendement voor endotoxinen. Ook het afvangstrendement voor PM_{2,5} bij het G4 filter is lager dan het afvangstrendement voor endotoxinen. Hetzelfde geldt voor het F7 en F8 filter. Hieruit kan worden afgeleid dat endotoxinen naar verwachting dus vooral gehecht zijn aan deeltjes groter dan 2,5 µm.

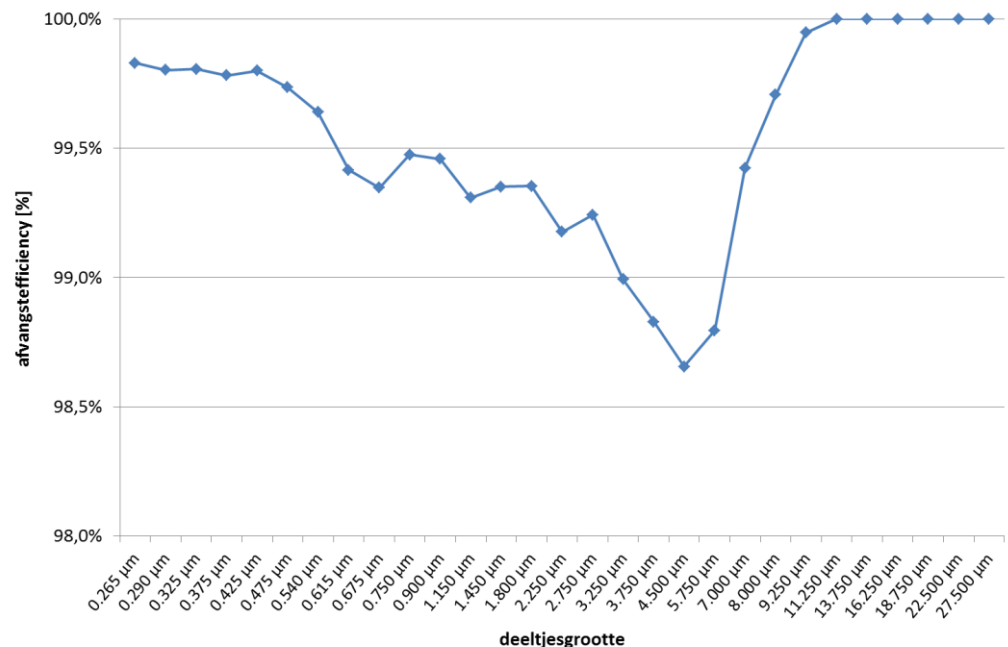


Figuur 9: Afvangstefficiency per deeltjesgrootte bij de vier verschillende filtertypen.

In Figuur 9 wordt de afvangstefficiency per deeltjesgrootte weergegeven. Hierbij is gecorrigeerd voor verschillen tussen de meetapparaten, de correctiefactoren zijn weergegeven in Bijlage B. Indien wordt gekeken bij welke deeltjesgrootte de (stof)deeltjesreductie groter is dan de endotoxinenreductie, dan is dit bij het G4 filter bij 4,5 µm, bij het F7 filter bij 2,5 µm en bij het F8 filter rond 1 µm.

Het zakkenfilter en de twee cassettefilters vertonen alle drie bij deeltjes van 0,475 µm een (lokaal) minimum in de reductie. Blijkbaar worden deze deeltjes slecht afgescheiden door de mechanische filters. Dit effect is vaker waargenomen en wordt MPPS genoemd: Most Penetrating Particle Size. Het wordt verklaard doordat hier een omslag optreedt in het afvangstmechanisme. Zeer kleine deeltjes hebben een zodanig kleine massa dat deze een brownse beweging vertonen. Hierdoor is de kans groter dat ze een filtervezel raken en worden geadsorbeerd. Grotere deeltjes worden met name afgevangen door het zeefeffect. Hoe groter het deeltje hoe groter de kans is dat dit lukt.

De ASPRA, een elektrostatisch filter, heeft over de verschillende deeltjesfracties een constant hoge afvangst. De deeltjesreductie is 3,2 %punt hoger dan de endotoxinenreductie. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat een deel van de endotoxindeeltjes niet gebonden zijn aan stofdeeltjes. Echter, op basis van het oplopende afvangstrendement van het elektrostatische filter bij kleiner wordende deeltjes ten gevolge van de Brownse beweging (zie Figuur 10) zou worden verwacht dat deze kleine deeltjes ook worden afgevangen. Een andere verklaring is dat dit het effect is van de controle van het luchtdebiet met de geijkte rotameter voorafgaande en aan het eind van de meting. Hierbij is ruimtelucht aangezogen. Stel dat dit in totaal 20 seconden duurt, dan heeft dit het volgende effect op de metingen van in totaal 900 seconden: $20/900 * 100\% = 2,2\%$. Dit zou voor het merendeel de afwijking tussen de deeltjesreductie en de endotoxinenreductie kunnen verklaren. In het algemeen wordt voor zowel monsternamen als voor analyse een fout van 2,5% gehanteerd.



Figuur 10: Afvangst efficiency ASPRA per deeltjesgrootte (let op schaal vanaf 98%).

Er zijn twee blanco filters meegenomen, en de endotoxinenconcentratie gemeten op deze blanco's was kleiner dan $0,25 \text{ EU/m}^3$, de door RPS opgegeven

detectiegrens van de analysemethode. De gemeten concentraties in de rest van de verzamelde monsters lagen ruim boven deze detectiegrens.

Het Modesta ontstoffingsfilter leidt tot PM concentraties in de uitgeblazen lucht die tussen de ASPRA en de F7 en F8 filters in liggen. De endotoxinen-niveaus, welke in duplo zijn gemeten, zijn vergelijkbaar met die van het F7 en het F8 filter. Omdat de stofconcentratie van de aangezogen lucht in dit geval niet is bemonsterd kan echter geen reductiepercentage worden afgeleid. Volgens opgave van Modesta is de stofconcentratie in de retourlucht minder dan 1 mg/m^3 . Wat betreft PM_{10} wordt hier ruimschoots voldaan, de PM_{10} van de retourlucht bedraagt $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

De metingen aan de mobiele filters betreffen kortdurende proeven. Dit zal effect hebben op de gemeten reductie. In de EN779:2012 filternorm wordt voor de afvangst van $0,4 \text{ } \mu\text{m}$ deeltjes voor een F7 filter een minimum efficiency van 35% gegeven. De gemiddelde efficiency over de levensduur van het filter dient minimaal 80% te bedragen. Voor een F8 filter is de initiële efficiency minimaal 55% en dient de gemiddelde efficiency over de levensduur minimaal 90% te bedragen. De mechanische filters in de uienfiltertest zijn nieuw, en er zal dus niet tot nauwelijks een filterkoek zijn opgebouwd. Dit effect geldt met name voor het F8 filter, dat direct na installatie is beproefd. Het F7 filter heeft nog een half uur stof afgevangen voor de aanvang van de test. Dit zou een verklaring kunnen zijn van de relatief lage filterefficiëntie van het F8 filter ten opzichte van het F7 filter.

Een andere verklaring is dat er mogelijk luchtlekkage is opgetreden tussen de filtercassette en de filterunit. In bijlage C worden de initiële afvangstpercentages en de drukval over de F7 en F8 filters volgens de leverancier weergegeven. Voor deeltjes van $1 \text{ } \mu\text{m}$ bedraagt de fractionele afvangstefficiëntie in de test met het F7 filter 90%, dit is hoger dan de door de leverancier opgegeven waarde van circa 85% (zie figuur in bijlage C). De fractionele afvangstefficiëntie in de test van het F8 filter bedraagt 87%, dit is lager dan de door de leverancier opgegeven waarde van circa 91%. Mogelijk was er bij de beproeving van het F8 filter sprake van luchtlekkage langs het filter, mede ook door de hogere drukval over het filter.

Voor de collector van het elektrostatische filter geldt ten opzichte van de mechanische filters het omgekeerde wat betreft de relatie tussen afvangst efficiency en de standtijd. Bij dit filter is de afvangstefficiëntie direct na filtervervangings het hoogst, en vervolgens zal de efficiency na belading van het electret filter afnemen. Hierbij is het van belang om tijdig de collector filters te wisselen dan wel te reinigen. Voor pluimveestallen is door VFA de ASPRA agro unit ontwikkeld waarbij de collector continue wordt gereinigd (zie factsheet Electrostatistische luchtfiltering in Bijlage A).

3.4 Vergelijking meetresultaten met eerdere metingen

Bij eerdere metingen (zie Tabel 3) is de concentratie inhaleerbaar stof bepaald. Dit is stof wat kan worden ingeademd via mond en/of neus. Dit is niet één op één vergelijkbaar met PM_{10} , zoals tijdens deze test is gemeten.

Wat betreft endotoxinen kan worden gesteld dat bij Wiskerke Onions de concentratie vergelijkbaar is met 'Uienhandel – modern'. Hierbij dient wel te worden

opgemerkt dat de waarden in de tabel persoonlijke blootstellingen weergeven en de metingen in dit rapport stationaire metingen betreffen.

Tabel 3: Literatuurwaarden inhaleerbaarstof en endotoxinen uienverwerking (van de Runstraat et al., 2014)

Jaar	Beschrijving	N	Inhaleerbaar stof (mg/m ³)	Endotoxinen (EU/m ³)
2002	Uienhandel	20	14,4 (6,7-35)	25930 (4025-191430)
	- Heftruckchauffeur	2	7,8* (7,0-8,3)	5000* (4025-5975)
	- Sorteerder	14	17,4* (9,2-35)	50536* (13280-191430)
	- Zakkenvuller	4	13,6* (6,7-16)	24398* (5353-59348)
2006	Uienhandel – traditioneel			
	- Technicus	3		800
	- Heftruck chauffeur	1		4100
	- Verpakker	2		5300
	- Operator	6		10000
	Uienhandel – modern			
	- Technicus	2		380
	- Heftruck chauffeur	6		630
	- Verpakker	4		1100
	- Operator	15		1300
2010	Uienhandel	9	8.2 (0,2-184)	5376 (63-26956)
	(2006)	(6)	(1.0 (0,2-4.4))	(540 (85-3385))

Verder is een kort literatuuronderzoek uitgevoerd naar gerapporteerde deeltjesgrootteverdelingen met betrekking tot endotoxinen. Hierbij zijn de volgende resultaten gevonden:

Woningen:

Kujundzic et al. (2006): merendeel van in de lucht zwevende endotoxinen (op 1,6 m. hoogte) <1 µm, grootste deel in de fractie 0,2 – 0,3 µm

Kippenstallen:

Kirychuk et al. (2010): merendeel van de in de lucht zwevende endotoxinen in de fractie >3,5 µm

Mais opslag:

Buchan et al. (2001): de massa mediaan van endotoxinen betrof 8 µm

De bevindingen uit de huidige studie, op basis waarvan de verwachting is dat endotoxinen vrijkomend bij uienverwerking vooral zijn gehecht aan deeltjes groter dan 2,5 µm, komt overeen met de bevindingen in kippenstallen en bij maisopslag.

4 Conclusies

Gedurende twee dagen zijn stofmetingen verricht bij Wiskerke Onions in Kruiningen. De PM_{10} fractie fijn stof varieert sterk in de ruimte en over de tijd en was in de orde grootte 1 – 4 mg/m^3 . Nabij de sorteermachine is de ruimtelucht gedurende een dag op een viertal tijdstippen bemonsterd om de concentratie endotoxinen te bepalen, welke in de orde grootte van 457 – 1687 EU/m^3 lag. Dit is vergelijkbaar met eerder in 2006 uitgevoerde blootstellingsmetingen.

Nabij de sorteermachine zijn een zakkenfilter (G4) en twee cassettefilters (F7 en F8) en een elektrostatisch filter (ASPRA) beproefd wat betreft afvangst van stofdeeltjes en endotoxinen. Uit een vergelijking van reductie van de deeltjes en endotoxinen kan worden afgeleid dat endotoxinen naar verwachting vooral gehecht zijn aan stofdeeltjes groter dan 2,5 μm . Dit komt overeen met eerder uitgevoerde studies in kippenstallen en bij maisopslag.

Het elektrostatische filter had het hoogste afvangstrendement ten aanzien van deeltjes. Het afvangstrendement ten aanzien van deeltjes was 3,2%punt hoger in vergelijking met het afvangstrendement voor endotoxinen. Dit is waarschijnlijk deels een gevolg van de meetprocedure, waarbij tijdens de ijking van het debiet vervuilde lucht is aangezogen. Daarnaast kan een fout optreden bij de analyse. In het algemeen worden voor zowel monsternamen als analyse foutmarges van $\pm 2,5\%$ aangehouden.

Met alle geteste filters is een afvangstpercentage voor endotoxinen van ruim 85% mogelijk. Het betreft kortdurende proeven van 15 tot 30 minuten aan nieuwe filters. Dit zal effect hebben op de gemeten reductie. Naar verwachting zal de afvangstefficiëntie van het zakkenfilter en de twee cassettefilters bij langere standtijd toenemen en die van het elektrostatische filter afnemen.

5 Referenties

Buchan R.M. et al., Evaluation of airborne and endotoxin in corn storage and processing facilities in Colorado, *The journal of preventive medicine*; 9(4) blz. 29 – 40, 2001.

Kiryuchuk S.P. et al., Endotoxin and dust at respirable and nonrespirable particle sizes are not consistent between cage- and floor-housed poultry operations, *Ann. Occup. Hyg.*, vol 54, no. 7, blz 824 – 832, 2010.

Kujundzic E et al. Particle size distributions and concentrations of airborne endotoxin using novel collection methods in homes during the winter and summer seasons, *Indoor Air*, 16, blz 216 – 226, 2006.

Spaan S. et al, Endotoxinen-niveaus op productmonsters van aardappelen, uien en zaden in het kader van kansrijke mitigatietechnieken, TNO rapport 2014 R10455.

6 Ondertekening

Delft, maart 2015



Drs. G.J.N. Alberts
Afdelingshoofd
Heat Transfer and Fluid Dynamics

TNO

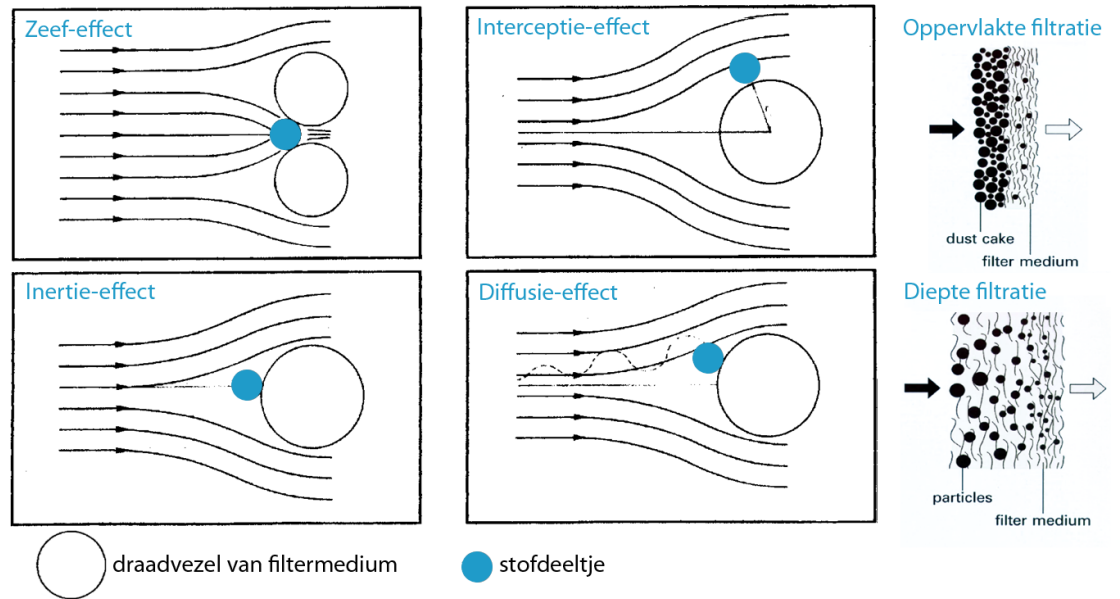


P. Jacobs
Auteur

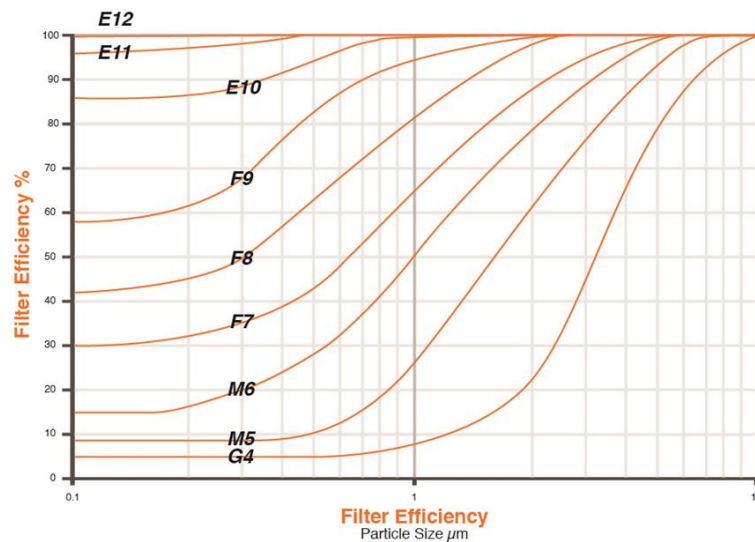
A Factsheets filtersystemen

Factsheet Mechanische Lucht Filtering

Principe: afvangen van deeltjes in de lucht door zeef-, interceptie-, inertie- of diffusie-effect afhankelijk van de deeltjesgrootte en de eigenschappen van het filter.
 Bij oppervlaktefiltratie kan het filter worden gereinigd, bij dieptefiltratie niet.



Efficiency Stofafvangst luchtfilters EN779:2012 & EN1822:2009

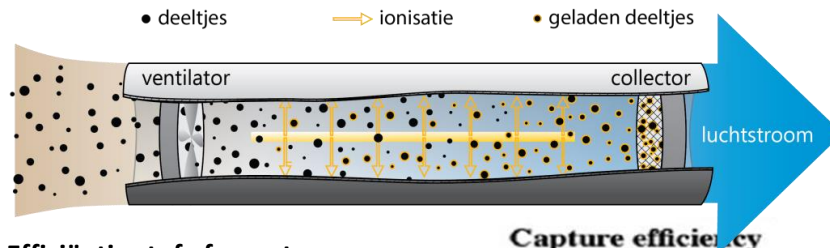


Efficiëntie endotoxinen: G4 > 88%, F7 > 96%

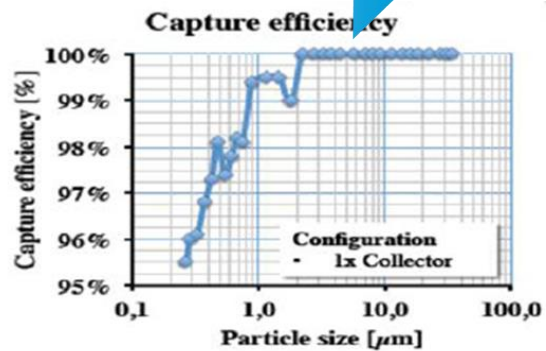


Factsheet Elektrostatische Lucht Filtering

Principe: positief opladen van deeltjes in de lucht. Neerslaan van de deeltjes op een zeer open elektrostatisch geladen polypropyleen collector filter. Zeer weinig ozon vorming en daardoor geschikt voor recirculatie.



Efficiëntie stof afvangst:



Efficiëntie endotoxinen: >96%

Systemen



ASPRA L Mobile

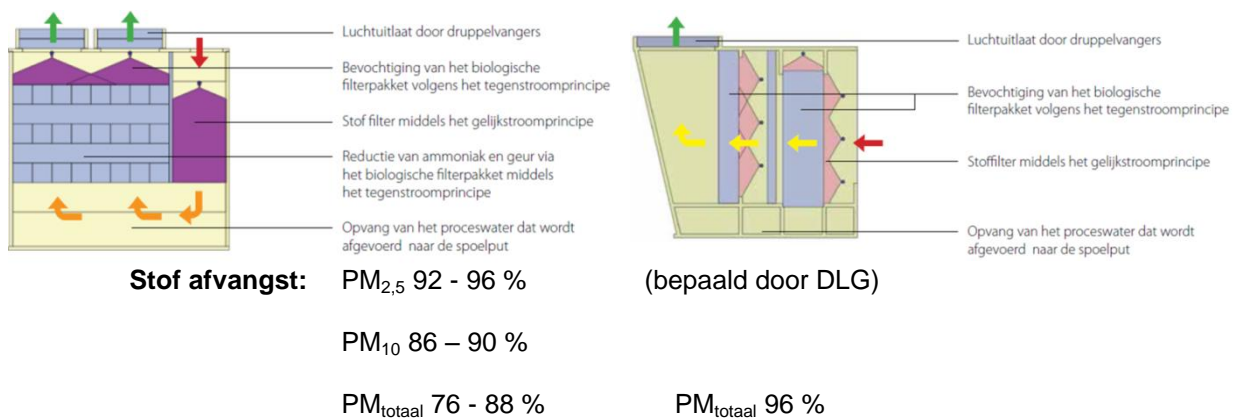


ASPRA Agro

Schaalgrootte	1025 -1610 - 2240 m ³ /uur	8000 - 10.000 m ³ /uur
Vermogen	90 – 130 – 230 W	630 W
Toepassingsgebied:	Recirculatie/ bronafzuiging	Recirculatie/ ruimteventilatie
Investeringskosten	€5000,-	€7500,- – €10.000,-
Drukval	4 – 6 – 8 Pa	<50 Pa
Standtijd	3 - 6 Maanden, disposable recyclebare collector	Automatisch borstelen, borstelfrequentie instelbaar
Toepassingsgebieden:	Industrie (o.a. zaadverwerkers, uienindustrie, lasruimtes etc.)	Extreem stoffige ruimtes (o.a. kippenstallen, agrarische toepassingen)

Factsheet Biologische en Chemische Luchtwassers

Principe: afvangen van ammoniak, geur en stofdeeltjes in lucht door het uitwassen over filterpakketten. Het proceswater wordt afgevoerd naar de spoelput. In de biologische wasser wordt het eventueel in het water aanwezige ammonium biologisch afgebroken. In de chemische wasser wordt zwavelzuur gedoseerd. Het spoelwater wordt meerdere malen gebruikt uiteindelijk afgevoerd naar een aparte tank.



Efficiëntie endotoxinen: niet bepaald

Systemen:



Biologische wasser

Chemische wasser

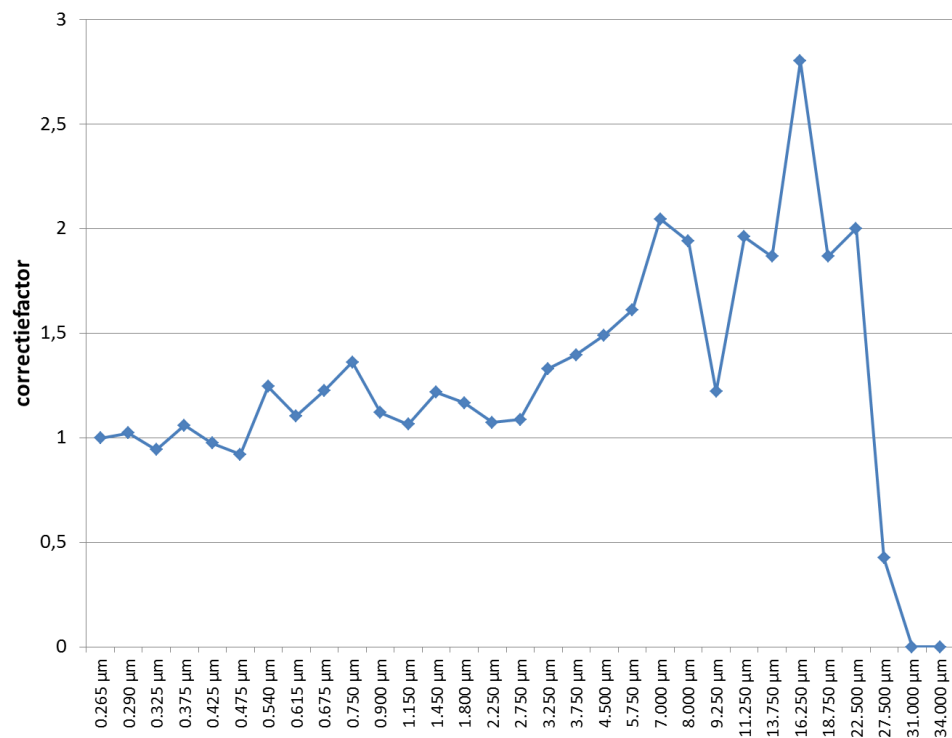
Schaalgrootte	100.000 m ³ /uur	100.000 m ³ /uur
Toepassingsgebied:	filtering naar buiten	filtering naar buiten
Investeringskosten	0,5 - 1,8 euro/(m ³ /uur)	0,8 - 2 euro/(m ³ /uur)

Toepassingsgebieden Varkens- en pluimveestallen, composterings- en mestverwerkingsbedrijven

B Correctiefactoren per deeltjesgrootte

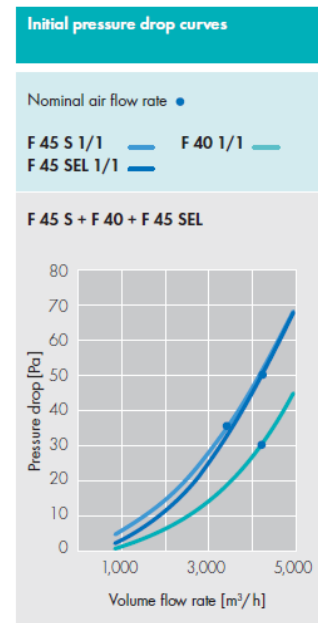
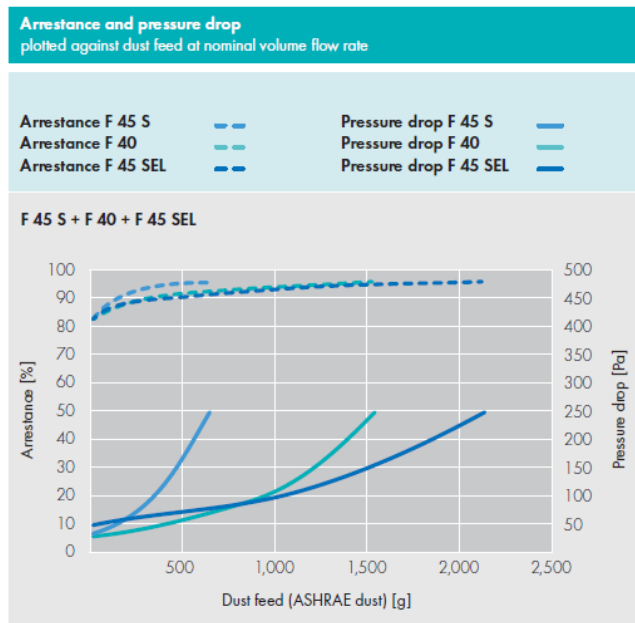
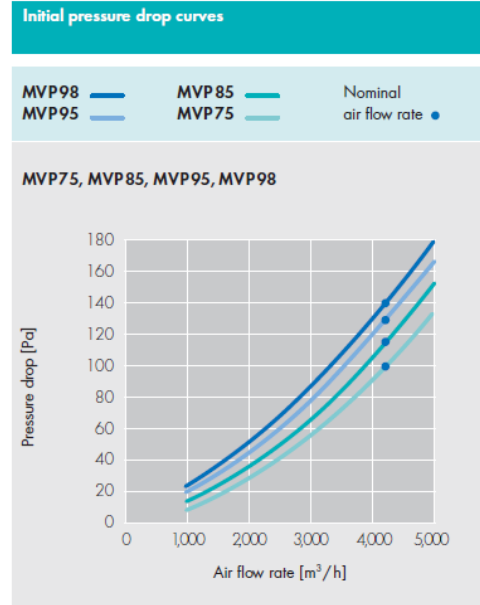
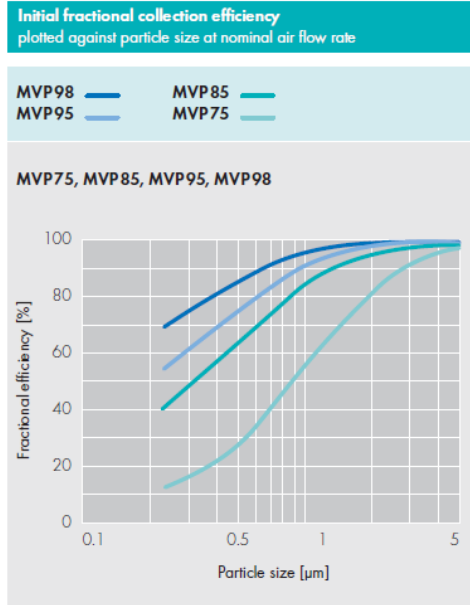
Bij de metingen zijn twee Grimm 1.109 optische deeltjestellers gebruikt. Om te corrigeren voor eventuele verschillen tussen de meetinstrumenten zijn deze in de buitenlucht gekalibreerd. Bij deze kalibratie is de Grimm van Ravebo als ijkpunt genomen, omdat deze het meest recent is gekalibreerd (zie ook Tabel 1, waarin de correctiefactoren voor PM worden gepresenteerd).

De correctiefactor is bepaald door de counts per deeltjescategorie van de door Ravebo unit te delen door het aantal counts in dezelfde deeltjescategorie van de VFA unit. Figuur 11 laat zien dat bij kleine deeltjes de meetinstrumenten nauwelijks van elkaar afwijken. Bij grotere deeltje geeft de VFA unit ongeveer een factor twee minder counts dan de Ravebo unit. Boven circa 10 μm is de correctiefactor niet representatief. Om hiervoor een representatieve correctiefactor vast te stellen dien langer te worden gemeten.



Figuur 11 Correctiefactoren op basis van vergelijking van twee identieke Grimm 1.109 sensoren.

C Productblad Compact pocket filter F45 S & MVP Cassette filters MVP85 & MVP95



	Viledon F45S 1/1	Viledon MVP85 1/1	Viledon MVP95 1/1
Filter class (EN779:2012):	G4	F7	F8
Initial efficiency:	-	56%	70%
Average efficiency (E _m):	-	≥ 85%	≥ 90%
Average arrestance (A _m):	93%	-	-
Nominal air flow rate:	3.400 m³/h	4.250 m³/h	4.250 m³/h
Initial pressure drop:	35 Pa	115 Pa	130 Pa
Effective filtering area:	2 m²	18 m²	18 m²