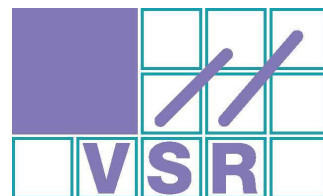


GEZOND SCHOONMAKEN

Onderzoek:

De verwijdering van fijn stof

van harde vloeren



© VSR februari 2007

VSR staat voor Vereniging Schoonmaak Research, een onafhankelijk platform voor alle marktpartijen in het schoonmaakonderhoud. VSR streeft naar verhoging van het professionele niveau van het schoonmaakvak door onderzoek, voorlichting en opleiding

Stofzuiger is een stofbron

Onderzoek van Vereniging Schoonmaak Research (VSR) heeft aangetoond dat de stofzuiger veel stof in de lucht brengt. Schoonmaken is belangrijk voor een gezonde werk- en woonomgeving, maar bij stofzuigen wordt dat effect voor een deel teniet gedaan. Stofwissen van vloeren is effectiever en verspreidt minder stof. Op tapijt is er geen alternatief voor stofzuigen, maar kunnen er wel maatregelen genomen worden om de stofopwerveling te beperken.

De mond van de stofzuiger blijkt de belangrijkste bron van stof te zijn. Dat komt door het intensieve contact met het oppervlak, leert het onderzoek van VSR. Als een oppervlak wordt aangeraakt, vliegt een deel van het stof dat daarop ligt de lucht in. Hoe meer stof, des te groter de stofwolk die ontstaat. Rondlopen veroorzaakt zo een stofwolk, stofwissen een dubbel zo grote stofwolk en stofzuigen een wolk die drie tot tien keer zo groot is. In dat stof zitten allerlei verontreinigingen die mensen ziek kunnen maken, zoals allergeen van katten en huismijten, schimmels, bacteriën en de giftige resten daarvan. Stofwissen haalt dat stof weg. Stofzuigen is veel minder effectief in het oppikken van de schadelijke fijne stofdeeltjes, en veroorzaakt meer stof. Dat kan ongezond zijn voor de schoonmaker en is in ieder geval niet effectief omdat het opgewervelde stof binnen een uur weer terugvalt op de vloer.

Harde vloeren, zoals linoleum, parket en PVC kan men dus het beste stofwissen. Hoe langzamer de reinigingsbeweging, des te minder stof wervelt er op. Voor dagelijkse tapijtreiniging is stofzuigen de enige beschikbare methode. Onderzoek op harde vloeren laat zien dat een moderne stofmond die op wieltjes rijdt relatief gezien de kleinste stofwolk veroorzaakt. Het ligt voor de hand die te kiezen voor tapijt, al moet nader onderzoek dat bevestigen.

VSR heeft dit onderzoek uitgevoerd voor de professionele reinigingsmarkt. Het type stofzuiger, met of zonder cycloon, met of zonder speciale filters en ook het vermogen van de stofzuiger doen er weinig toe, omdat de stofzuigermond de belangrijkste stofbron is. Voor andere oppervlakken, zoals tafels, deuren en kastjes, heeft VSR al eerder geadviseerd om met een stofbindende methode stof af te nemen. Dit kan met een gewone doek met water en een beetje reinigingsmiddel of met een microvezeldoek. Het schoongemaakte oppervlak moet vrijwel droog achterblijven, want op natte oppervlakken kunnen bacteriën en andere micro-organismen groeien. Zulke methoden verwijderen het stof effectief en houden het stevig vast. Dat levert een schone, gezonde werk- en leefomgeving op.

In opdracht en onder begeleiding van de Commissie Techniek van VSR is het onderzoek uitgevoerd door TNO te Delft.

De resultaten van het onderzoek treft u integraal in dit rapport aan.

Het bestuur VSR

**ONDERZOEK
DE VERWIJDERING VAN FIJN STOF
VAN HARDE VLOEREN**

Onderdeel van de onderzoeken Gezond Schoonmaken

TNO-rapport

OMI-RPT-060017

De verwijdering van fijn stof van harde vloeren

Datum	Februari 2007
Auteur(s)	A.E. Duisterwinkel, AGTM Bastein
Opdrachtgever	TNO Vereniging Schoonmaak Research Stichting RT
Projectnaam	VSR cofin. Resuspensie deeltjes
Projectnummer	008.05105/01.02

Rubricering rapport

Titel

Samenvatting

Rapporttekst

Bijlagen

Aantal pagina's	33 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke 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 onderzoeksopdrachten 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.

© 2006 TNO

Samenvatting

Het schoonmaken van harde vloeren werfelt stof op¹⁻⁴. Dat is ongezond voor de schoonmaker. Bovendien valt het stof grotendeels terug op allerlei oppervlakken en beperkt zo de effectiviteit van schoonmaken. Om beter te begrijpen hoe het stof loskomt en hoe dat te beperken is, zijn verschillende deelonderzoeken uitgevoerd⁵⁻⁷. Die zijn hier samengevat in een onderzoek, samen met werk dat niet eerder schriftelijk is gerapporteerd.

De praktische consequenties uit de deelonderzoeken zijn:

- Stofzuigen verwijdert nauwelijks fijn stof (5-10 micrometer) van harde vloeren
 - Dat wordt niet beter door met hoger vermogen te stofzuigen
 - Van natuurlijk stof (verzameld door het laten uitzakken van stofdeeltjes) worden alleen deeltjes groter dan 100 micrometer volledig verwijderd.
 - Het maakt niet veel uit of de borstel aan de stofzuigermond ingeklapt is of niet.
 - Theoretisch gesproken is de verwijdering te verbeteren door te blazen in plaats van te zuigen, maar dan is het stof lastiger op te vangen.
 - Regelmatig stof verwijderen voorkomt dat het stof vast komt te zitten.
 - Hoe vaker of langer een reinigungsactie wordt doorgevoerd, des te groter is het percentage verwijderde deeltjes. Maar per gang, of per tijdseenheid, wordt de reiniging wel steeds minder efficiënt. In de praktijk blijkt dat langer dan 2 seconden stofzuigen van een harde vloer geen zin heeft.
- Het voorspellen van de effectiviteit van stofverwijdering is niet goed mogelijk. Dat komt omdat er veel verschillende deeltjes op het oppervlak liggen, dat oppervlak ruw is en lokaal elektrisch geladen kan zijn, en doordat de reinigingskracht niet constant is. Theoretisch wordt een zeer sterke invloed van de verwijdering verwacht van de diameter van bolvormige deeltjes op een perfect glad oppervlak. Een twee keer zo groot deeltje zou 30 keer beter moeten worden verwijderd. In de praktijk is er sprake van een verdubbeling van de verwijdering. Het verschil tussen theorie en praktijk komt in ieder geval deels doordat echte deeltjes niet perfect bolvormig zijn en echte oppervlakken altijd ruw zijn.
- Stofwissen is efficiënter en veroorzaakt minder stofopwerveling van harde vloeren dan stofzuigen doet.
 - De oorzaak van de grotere stofwolk door stofzuigen is niet een slechte filtering, maar de beweging van de stofzuigmond over de vloer. Rondrijden van de stofzuiger en bewegingen van het snoer over de vloer dragen niet meetbaar bij aan de stofopwerveling.
 - Een centraal stofzuigsysteem stoot evenmin deeltjes uit van 5 tot 10 micrometer. Wel worden er minder uiterst kleine stofdeeltjes (kleiner dan 0,5 micrometer) en geurstoffen in de ruimte gebracht en daalt de geluidsoverlast.
 - De stofopwerveling kan worden beperkt door nieuwe borstels te gebruiken of de borstel (deels) weg te halen en een stofzuigmond op wielletjes te laten rijden. Toch blijft de opwerveling groter dan bij stofwissen in een vergelijkbaar tempo.
- Uit een vooronderzoek bleek het aannemelijk dat gezond schoonmaken en verlaging van de blootstelling aan bacteriën en fijn stof teweeg brengt. Tijdens de grote schoonmaak, uitgevoerd met stofbindende methoden in een kalm tempo, bleef de stofconcentratie veel lager dan zou zijn gebeurd bij traditionele methoden. En de lucht was 30 tot 50 procent schoner in het kantoor dat een grote schoonmaak had

gehad en daarna gezond werd schoongemaakt, vergeleken met gewone schoonmaak. Een omvangrijker onderzoek is nodig, dat voldoet aan de volgende randvoorwaarden.

- Kies een voldoende vuile uitgangssituatie. Denk aan een kantooromgeving met tapijt dat al tien jaar of meer niet vervangen is.
- Sla de fase met een clean desk over; die heeft geen toegevoegde waarde.
- Richt de studie op deeltjes en bacteriën, en eventueel endotoxine (bacteriegif).
- Meet ook buitenluchtconcentraties, luchtvochtigheid en temperatuur.
- Zorg voor meer meetpunten, bijvoorbeeld door meer kantoren in de studie te betrekken en meermalen per dag te meten. Om verschillen van 25% met 90% betrouwbaarheid aan te tonen zijn tientallen metingen per fase nodig, voor het aantonen van een verschil van 10% met 95% betrouwbaarheid honderden
- Registreer exacter, liefst automatisch, het aantal personen in de kamer vóór en tijdens metingen en indexeer ook voor de mate van activiteit in beide gevallen.

De conclusie is dat een stofzuiger met goed werkend HEPA-filter thuis hoort in een gezond schoonmaakprogramma voor tapijt, ordners, boeken en bureaustoelen. Harde vloeren kunnen het best worden gereinigd met een stofwischer met oliegeïmpregneerde doeken of klamvochtige microvezelvlakmoppen. Dat is effectiever, werfelt minder stof op en is ergonomisch meer verantwoord. Maar: hoe sneller het stofwissen, des te meer stof werfelt er op⁴. Gebruik bij het stofwissen van grote oppervlakken brede stofwissers in een laag tempo. Het onderzoek geeft verder aan hoe een stofzuigmond verbeterd zou kunnen worden om minder stof in de lucht te brengen. Een aanbeveling is die mogelijke verbeteringen nader uit te werken.

Inhoudsopgave

	Samenvatting.....	5
1	Inleiding.....	8
1.1	Lees-wijzer	8
2	Hoe zitten deeltjes vast en kunnen ze losraken?	9
2.1	Hoe raken deeltjes los van een oppervlak	11
2.2	Discussie en conclusies.....	13
2.3	Praktische consequenties	13
3	Deeltjesverwijdering door luchtstromen	14
3.1	Methode	14
3.2	Resultaten	16
3.3	Praktische consequenties	19
4	Deeltjesverwijdering door stofzuigen.....	20
4.1	Praktische consequenties	22
5	Stofopwerveling bij reiniging van harde kantoorvloeren.....	23
5.1	Methode	23
5.2	Resultaten	25
5.3	Praktische consequenties	27
6	Een vooronderzoek voor een praktijkproef.....	28
6.1	Methode	28
6.2	Resultaten	29
6.3	Praktische consequenties	31
7	Discussie en Conclusies.....	32
7.1	Aanbevelingen voor verder onderzoek	32
8	Referenties	33

1 Inleiding

In scholen, kantoren en ziekenhuizen kunnen zwevende stofdeeltjes kwaad, omdat mensen er hinder van ondervinden of ziek van worden. VSR Vaknieuws nummer 3 [1] beschrijft uitgebreid hoe dat zit en hoe die overlast is aan te pakken door ‘Gezond schoonmaken’. Dat is een schoonmaakprogramma gebaseerd op een aantal onderzoeken die VSR in het verleden heeft uit laten voeren bij TNO [2-4]. De experimenten zijn tot nu toe gedaan aan methoden om stof af te nemen van bureauvlakken en dergelijke, omdat daar de meeste keuze in methoden en materialen is. Vloerreiniging heeft tot nu toe minder aandacht gekregen. Voor dagelijkse stofverwijdering komen twee methoden in aanmerking: stofwissen met oliegeïmpregneerde doeken en stofzuigen. Natte methoden zijn bedoeld om gehecht vuil te verwijderen en de vloer te onderhouden en vallen dus buiten dit perspectief.

Cleanrooms worden regelmatig gestofzuigd om de hoeveelheid zwevende deeltjes binnen de perken te houden. De centrale vraag van dit onderzoek is of stofzuigen geschikt is voor kantoren met een harde vloerbedekking. Daarvoor moet de stofzuiger (1) deeltjes van 5 tot 10 micrometer opzuigen; en (2) weinig stof in de lucht brengen.

De meeste aandacht is uitgegaan naar de tweede vraag, omdat die ook veel leert over hoe deeltjes van oppervlakken in de lucht komen. Opwerpen, noemen we dat. Stofzuigers kunnen op twee manieren stofdeeltjes in de lucht brengen. Aan de ene kant door de bewegingen van onderdelen over de vloer. Het gaat dan om de mond, slang, wielen, en draad maar ook de bewegingen van de persoon die stofzuigt. Aan de andere kant, letterlijk, blaast een stofzuiger lucht uit. Ook daar kunnen deeltjes in zitten.

Deze effecten zijn uitgebreid bestudeerd en in een stevig rapport verwerkt [5], net als een fundamenteel rapport over deeltjes hechting en de modellering van deeltjesverwijdering [6]. Die beiden vatten we hier samen, en vullen het aan met beknopte resultaten van andere experimenten. Dit leidt uiteindelijk tot een aantal praktische conclusies.

1.1 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geen een stuk theoretische onderbouwing van deeltjeshechting. Net zo als elk volgend hoofdstuk wordt het afgesloten met een korte paragraaf praktische consequenties. Hoofdstukken 3 tot 6 geven informatie over een aantal experimenten aan de effectiviteit van deeltjesverwijdering en de hoeveelheid die er bij opwerfelt. Conclusies en aanbevelingen zijn verzameld in hoofdstuk 7.

2 Hoe zitten deeltjes vast en kunnen ze losraken?

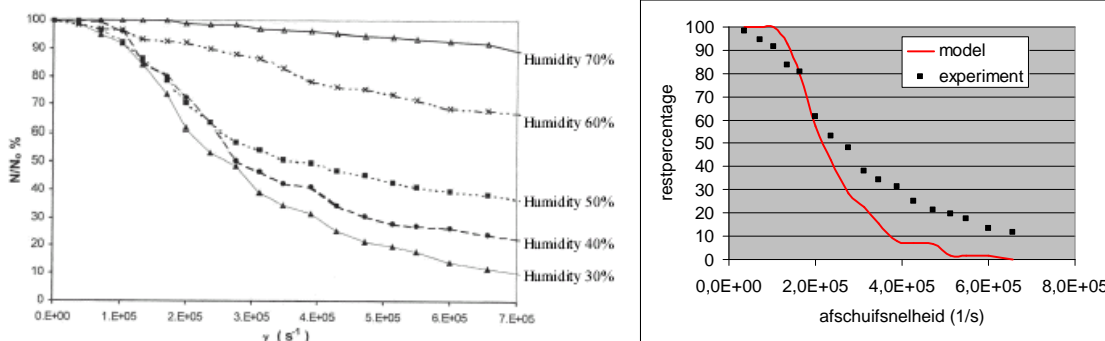
Deeltjes liggen op de vloer om de simpele reden dat de zwaartekracht ze naar beneden trekt. Daarnaast spelen ook elektrostatische, capillaire en Van der Waalskrachten een rol. Wie begrijpt hoe die krachten werken, kan voorspellen welk effect de eigenschappen van materialen en omgevingscondities hebben op deeltjeshechting en reiniging. Daarom een korte uitleg van de verschillende krachten.

Deeltjes en oppervlak hebben een vaak een verschillende elektrische lading, zodat ze elkaar aantrekken. Bij hogere luchtvochtigheid (boven 70% RH) is er zoveel vocht op de oppervlakken aanwezig dat de lading wegvloeit. Daardoor verliezen de deeltjes hun elektrostatische aantrekking, die dus juist in droge lucht heel groot is.

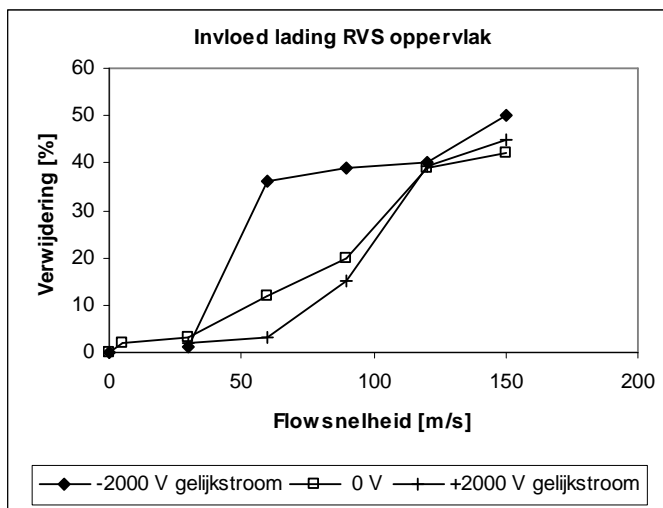
Maar bij die hoge luchtvochtigheid speelt een ander bindingsmechanisme een rol: de capillaire kracht. De vloeistof plakt als het ware de deeltjes aan het oppervlak, zoals een nat glas niet gemakkelijk los wil komen van het aanrecht.

Ook zonder die twee krachten kunnen deeltjes aan een oppervlak vast zitten. Tussen deeltjes werkt namelijk dezelfde krachten die de moleculen bij elkaar houden in een druppel: de Van der Waals-krachten. Die krachten zijn alleen voelbaar op uiterst kleine afstanden, alleen als twee moleculen elkaar fysiek raken. Een deeltje dat plat op een uiterst glad oppervlak ligt hecht daardoor veel sterker dan een deeltje dat op een paar puntjes ligt.

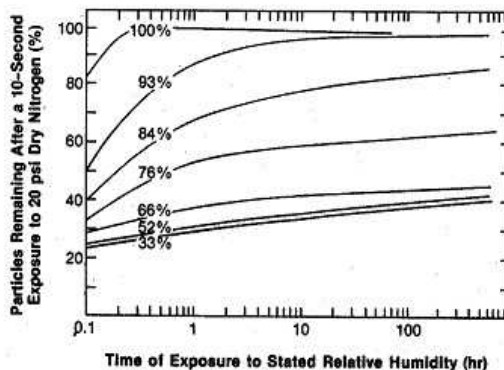
Ten slotte zijn er nog tijdseffecten. Sommige deeltjes zakken langzaam in de ruwheden van een materiaal en binden dan steeds sterker (organisch materiaal, kunststoffen). Andere lossen gedeeltelijk op en slaan dan neer op het contactoppervlak. Soms oxideert een materiaal onder invloed van water en bakt aan elkaar (natte aluminium tentstokken!) of lossen materialen in elkaar op (kauwgum op rubber). Dat is één reden om vaak schoon te maken. Figuren 1-3 demonstreren een paar van deze effecten.



Figuur 1 Percentage achterblijvende glasbolletjes (21 μm) versus berekende afschuifsnelheid aan een ongeladen, geleidende wand van polyester film bij verschillende relatieve vochtigheden (humidities) van de langsstromende lucht. Bij hogere luchtvochtigheid blijven meer deeltjes achter door de capillaire krachten. Rechts: de gegevens bij 30% luchtvochtigheid vergeleken met een berekening op basis van een geschatte deeltjesgrootteverdeling tussen 11 en 31 micrometer.

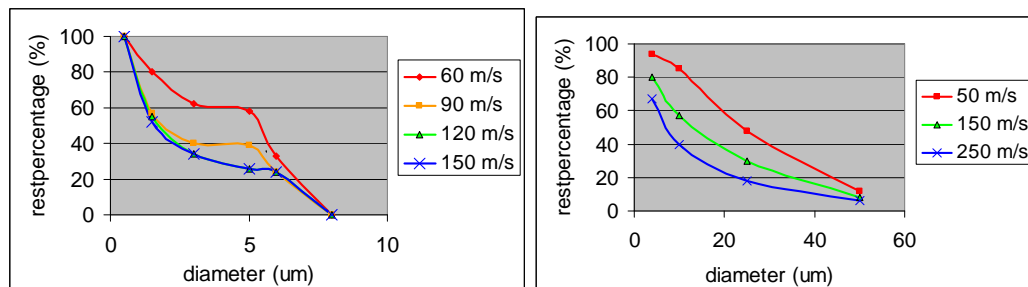


Figuur 2 Invloed van de lading op een RVS oppervlak op de verwijdering van glazen bolletjes door een luchtstroom bij 35% RV. Bij deze luchtvochtigheid spelen capillaire krachten een kleine rol, en zijn elektrostatische krachten sterk. Door een negatieve lading te zetten op het oppervlak worden de eveneens negatief geladen deeltjes afgestoten en dus beter verwijderd (diamantjes in de figuur). Dit kan alleen op geleidende oppervlakken worden gebruikt.



Figuur 3 Hoe langer deeltjes op een oppervlak liggen bij een bepaalde luchtvochtigheid, des te meer deeltjes blijven er liggen na een schoonmaakactie (polijststof van 140 µm en kleiner op een metaalfolie). De deeltjes zijn ‘vastgebakken’, waarschijnlijk door oxidatie.

Er zijn dus heel veel factoren die invloed hebben op de binding van deeltjes aan oppervlakken. In principe is de kracht tussen oppervlak en deeltjes groter voor grotere deeltjes – al betekent dat zeker niet dat ze ook moeilijker te verwijderen zijn, zoals blijkt uit het volgende hoofdstuk. Maar de samenstelling en ruwheid van het oppervlak hebben grote invloed. Een deeltje dat precies in een porie past, is daar niet of nauwelijks uit te krijgen, een groter deeltje dat alleen op puntjes ligt, zit juist nogal los. Een algemene voorspelling hoe sterk een deeltje vastzit, is niet te geven. Dat maakt het dan ook zeer lastig te voorspellen – of zelfs representatief te meten – hoe gemakkelijk deeltjes loskomen.



Figuur 4 Restpercentage als functie van de deeltjesdiameter (micrometer) en de luchtsnelheid (m/s).
 Links: vliegdeeltjes van glas, 1 minuut, 75% luchtvochtigheid. Rechts: glasbolletjes van glas, 40% luchtvochtigheid [5]

Een complicerende factor bij dit alles is de definitie en meting van de deeltjesdiameter. In de praktijk is er nooit sprake van precies één diameter, maar altijd van een deeltjesgrootteverdeling. Metingen van resuspensie of restpercentages zijn altijd voor een bepaalde categorie van deeltjes – waarbinnen dus grotere en kleinere deeltjes zitten die zich in principe verschillend gedragen. Daardoor loopt de curve van de verwijdering versus de diameter vlakker als de deeltjescategorie breder is (figuur 4).

Tot slot: regelmatig blijkt dat een bepaald percentage van de deeltjes niet met gewone middelen te verwijderen is (Figuur 1, 2, 4b). Kennelijk liggen die in poriën of de dalen van oppervlakteruwheden, of zitten ze vast met neergeslagen zouten (Figuur 3), eiwitten of andere zeer sterke bindingen.

2.1 Hoe raken deeltjes los van een oppervlak

Er zijn vier mogelijkheden voor deeltjes om los te raken van een oppervlak:

1. door een luchtstroming (zie onder)
2. door trillingen (waarna de deeltjes door een luchtstroming verder worden afgevoerd)
3. door elektrostatische krachten als gevolg van aanraking en oplading
4. door het katapulteren van deeltjes (zoals een grindsteen kan wegschieten onder een voetstap).

De twee laatste zijn het lastigst te beschrijven en worden in de wetenschappelijke literatuur veelal niet meegenomen. Ten onrechte, zal blijken.

De effectiviteit van een luchtstroming bij het oprakelen van deeltjes is maar klein. Dat komt onder andere doordat de lucht bij het oppervlak stil staat, hoe hard het daarboven ook 'waait'. De luchtsnelheid ver van het oppervlak zegt weinig over wat er vlak bij het oppervlak gebeurt. Daarom gebruiken we de afschuifsnelheid, de snelheid aan de top van het deeltje, gedeeld door de diameter ervan. Die is gelijk voor alle deeltjesdiameters die in de grenslaag van de lucht aan het oppervlak zitten. Hoeveel deeltjes er loslaten hangt af van de afschuifsnelheid tot de derde macht, en de deeltjesdiameter in het kwadraat. Omdat er altijd sprake is van een deeltjesgrootteverdeling blijkt dat in de praktijk de deeltjesverwijdering min of meer lineair afhangt van de afschuifsnelheid (Figuur 1).

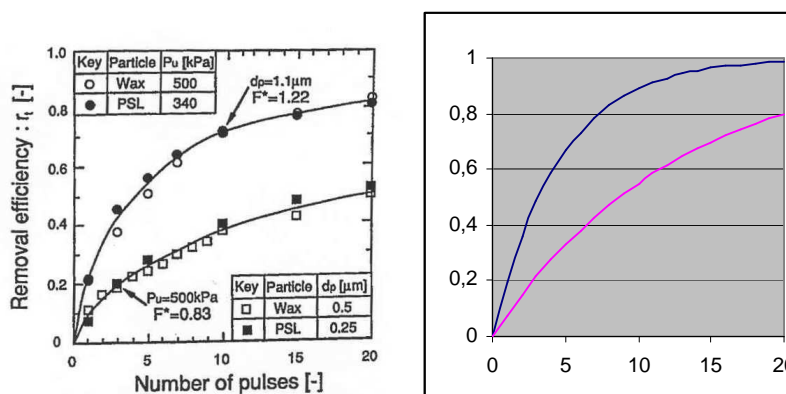
2.1.1 Invloed van de druk ofwel luchtdichtheid

Langsstromende lucht duwt tegen een deeltje aan, brengt het in beweging en geeft lift aan het deeltje. Hoe meer lucht langs stroomt, des te sterker die krachten, dat is evident. Dat kan door de lucht sneller langs te laten stromen, maar ook door bij een hogere luchtdruk te werken. Als de druk twee maal atmosferisch is, zitten er twee maal zoveel gasmoleculen in dezelfde ruimte en is de kracht die de luchtstroming overbrengt dus ook twee keer zo groot. Andersom wordt de luchtstroom zwakker bij verlaagde druk, dus bij zuigen. Een stofzuiger is er op geoptimaliseerd om de druk niet te veel te verlagen, dus om geen vacuüm te zuigen, want dan is er nauwelijks lucht meer om deeltjes los te maken en af te voeren. Dat is de reden voor het gebruik van een borstel bij het stofzuigen van harde vloeren: om ervoor te zorgen dat de mond zich niet vastzuigt aan de vloer en vervolgens niets meer verwijdert. Maar de borstels hebben natuurlijk ook een direct effect op de deeltjes. Daarover later meer.

2.1.2 De invloed van de tijd

Als de verwijderingskracht de aantrekkingskracht overschrijdt, zal een deeltje van een oppervlak loskomen en kan het afgevoerd worden. In een praktische situatie is altijd sprake van deeltjes met een verdeling in grootte en in aantrekkingskracht, ook vanwege de plaats waar het precies ligt in de ruwheden van het oppervlak.

Als de verwijderingskracht en hechtingskracht in de zelfde orde grootte liggen, dan zal er dus voor ieder individueel deeltje een kans bestaan tussen 0 en 100 procent dat het verwijderd wordt. Naarmate de reinigungsactie langer duurt, is er voor ieder deeltje een toename in de kans dat (door vibraties of andere zaken) de hechtingskracht wordt overschreden. Zo ontstaat er een effect van de tijd (of het aantal herhalingen) van dezelfde schoonmaakactie (zie Figuur 5). Dit effect is door Van der Donck in een concept verwerkt, waarin het percentage deeltjes dat verwijderd wordt afhangt van de kans op verwijdering per puls, de frequentie van de pulsen en het restant dat nog op het oppervlak aanwezig is. Zonder verdere aanpassingen houdt het model geen rekening met het gegeven dat de makkelijkst te verwijderen deeltjes het eerst weg zullen zijn. Dit kan de afwijkingen tussen metingen (Figuur 5, links) en model (idem, rechts) verklaren.

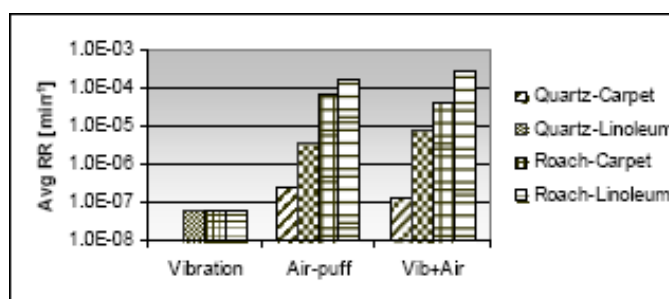


Figuur 5 Invloed van het soort deeltjes (PSL = polystyreen latex bolletjes en wax = carnaubawas schilfers) op de verwijdering door pulsen lucht. Lang niet alle verwijderbare deeltjes verlaten het oppervlak in de eerste puls. Rechts enkele schattingen met het model van Van der Donck.

Hoewel het model van Van der Donck intuïtief en mathematisch (Figuur 5) correct is, bleek in de loop van het project dat de eigenschappen van deeltjes zo sterk variëren, dat het model geen voorspellende waarde heeft. Daarom is van verdere toetsing afgezien.

2.2 Discussie en conclusies

Deeltjesverwijdering gaat het eenvoudigst als de hechtingskracht minimaal is, en de verwijderingskracht optimaal zijn werk kan doen. Dat betekent dat de luchtvochtigheid niet te laag moet zijn (elektrostatica) of te hoog (capillaire krachten). Het zou helpen als eventuele oppervlaktelading met een luchtionisator wordt verwijderd, of (nog beter) als deeltje en oppervlak dezelfde lading krijgen. Mogelijk gebeurt dit ook door wrijving tijdens voetstappen en verklaart dat de sterke opwerveling van deeltjes tijdens lopen. Om met een luchtstroom deeltjes te verwijderen is bijzonder lastig, zeker voor deeltjes kleiner dan een aantal micrometers groot, van een oppervlak dat ruw op die schaal. Hoe minder bolvormig het deeltje, des te lastiger is het te verwijderen. Hetzelfde geldt voor het oppervlak. Door trillingen kunnen wellicht deeltjes worden 'opgetild' uit de poriën en dan afgevoerd door een luchtstroom. Metingen van Gomes, Figuur 6, [7] wijzen daar wel op.



Figuur 6: Snelheid van opwerpen van deeltjes: kwarts (quartz) van tapijt (carpet) en linoleum, als gevolg van een trilling (vibration) die lopen simuleert, de luchtstroom bij een normale voetstap (air-puff) en de combinatie van die twee (vib + air). Hier valt op dat bij gelijke belading er meer deeltjes van linoleum dan van tapijt afkomen. In de praktijk is de belading van tapijt echter altijd veel groter [7].

2.3 Praktische consequenties

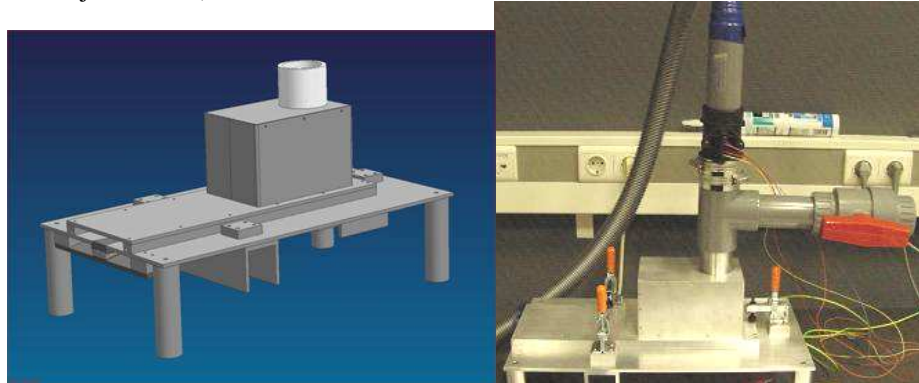
- Blazen verwijdert meer deeltjes dan (stof)zuigen, maar een probleem is wel dat de richting waarin de deeltjes verdwijnen minder goed bepaald is: het is lastig de deeltjes op te vangen.
- Regelmatig stof verwijderen voorkomt dat het stof vast komt te zitten.
- Deeltjesverwijdering is een kansproces. In principe geldt dat hoe vaker of langer een reinigungsactie wordt doorgevoerd, des te groter is het percentage verwijderde deeltjes. Maar per gang, of per tijdseenheid, wordt de reiniging wel steeds minder efficiënt.
- Omdat er in de praktijk altijd sprake is van een verdeling van de eigenschappen van de deeltjes (omvang, vorm, lading, historie) en oppervlak (poriën, lading) en de reinigingskracht (werveling in luchtstroming, trillingen) is het voorspellen van de effectiviteit van een reinigingshandeling vrijwel onmogelijk.

3 Deeltjesverwijdering door luchtstromen

Bij stofzuigen vinden meerdere luchtstromen plaats die deeltjes van oppervlakken los kunnen maken. Het gaat dan om de luchtstroom in het mondstuk en uit de uitblaas, maar ook om de luchtstromingen bij voetstappen word verplaatst, het verplaatsen van meubilair (en de stofzuiger) en bij het openen en sluiten van deuren. Of er deeltjes opwervelen bij zulke gebeurtenissen is experimenteel vastgesteld in de praktijk (zie volgend hoofdstuk). Om de details beter te begrijpen is ook een laboratoriumexperiment opgezet. Hier beschrijven we kort de meetmethode en belangrijkste resultaten en conclusies.

3.1 Methode

Om beheerste zuigtesten uit te kunnen voeren, is een flowcel ontwikkeld (Figuur 7). Een stofzuiger met instelbaar vermogen levert de luchtstroom. In de cel is precies bekend wat de afschuifsnelheid is (de luchtsnelheid bij de top van het deeltje gedeeld door zijn diameter).

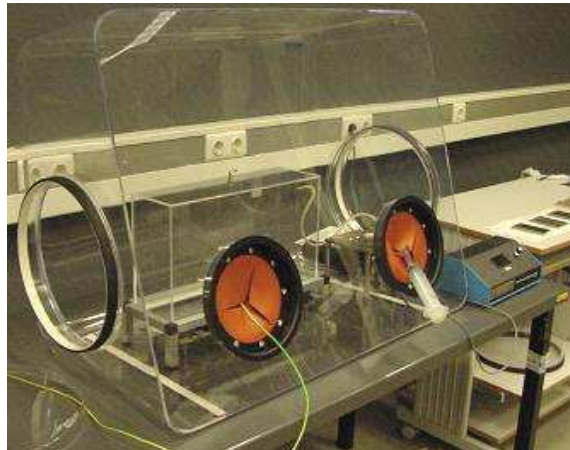


Figuur 7: De flowcel (links het ontwerp en rechts de uitvoering). Lucht wordt aangezogen door de spleet (links) met een stofzuiger (slang naar boven). In het lage, platte deel heerst een bijzonder goed gedefinieerde luchtstroom over het vloermonster, dat links ingeschoven kan worden.



Figuur 8: In de onderplaat van de flowcel (links) is een uitsparing gemaakt waar een monsterplaat (rechts) precies in past. De RVS monsterplaten zijn extreem glad gepolijst om een goede analyse onder de microscoop mogelijk te maken. Vloermaterialen, daarentegen, zijn niet behandeld voor de testen.

In de flowcel passen monsterhouders (Figuur 8). Monsters worden bestoft in een speciaal ontworpen bestoffer (Figuur 9). Er wordt een cirkeltje (1 cm diameter) stof opgebracht. Daarvan worden met een microscoop (Figuur 10) 300 foto's gemaakt die door geavanceerde software tot één foto worden verwerkt. De deeltjes worden automatisch geteld door speciaal daarvoor geschreven software.

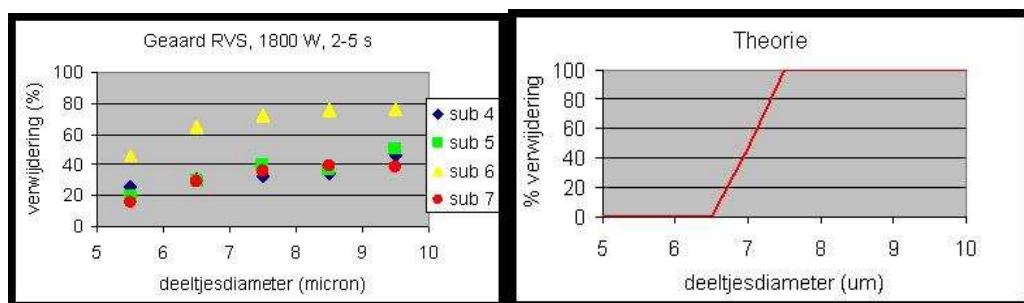


Figuur 9 Glovebox met daarin de bestoffer, die bestaat uit een afgesloten kast (links) en een Wright Dust Feeder. De monsters worden onder een lade in de kast gelegd. Met de Dust Feeder wordt een puffje Arizona Test Dust (5-10 micrometer) in de kast gebracht. Losse deeltjes blijven zweven, klonten vallen binnen een minuut op de bodem. Daarna wordt de lade opengeschoven en krijgen de losse deeltjes een uur lang de kans om door een gat op de monsters te vallen. In het midden van de kast levert dit homogene en reproduceerbare bestoffingen op.



Figuur 10 De microscoop met digitale camera en bijbehorende hard- en software.

Na het tellen wordt een monster in de flowcel geplaatst, er wordt een zeker tijd lucht met een zekere afschuifsnelheid langs geleid en onder de microscoop wordt opnieuw het aantal deeltjes geteld. In sommige gevallen is de test dan herhaald met een sterkere luchtstroom. De test levert gedetailleerde informatie over hoeveel deeltjes worden verwijderd bij bepaalde condities, zelfs als functie van de deeltjesgrootte (Figuur 11).



Figuur 11 Resultaat van twee tot vijf seconden luchtstroming bij een elektrisch stofzuigervermogen van 1800 Watt over een bestoft RVS-plaatje. Van drie van de vier monsters (sub 4, 5 en 7) worden evenveel verwijderd (boven). Het percentage verwijdering neemt toe voor grotere deeltjes, maar lang niet zo veel als theoretisch voorspeld (onder).

Er is vastgesteld dat de handelingen tussendoor geen wezenlijke invloed hebben: er komen geen deeltjes bij of waaien deeltjes weg door het transport in open lucht. De test kan ook reproduceerbaar worden uitgevoerd (Figuur 11), maar is gemakkelijk te verstoren. Van één RVS-monster (sub 6 in Figuur 11) wordt consistent meer verwijderd dan van de andere monsters. Metingen van de oppervlakteruwheid van het RVS geven geen aanwijzing wat hier de oorzaak van zou kunnen zijn.

Deze tijdrovende test, die regelmatig mislukte vanwege problemen met software en hardware is een behoorlijk aantal uitgevoerd, maar het was niet mogelijk alle denkbare omstandigheden te onderzoeken. Een overzicht van de omstandigheden die kunnen variëren, bewust of onbewust.

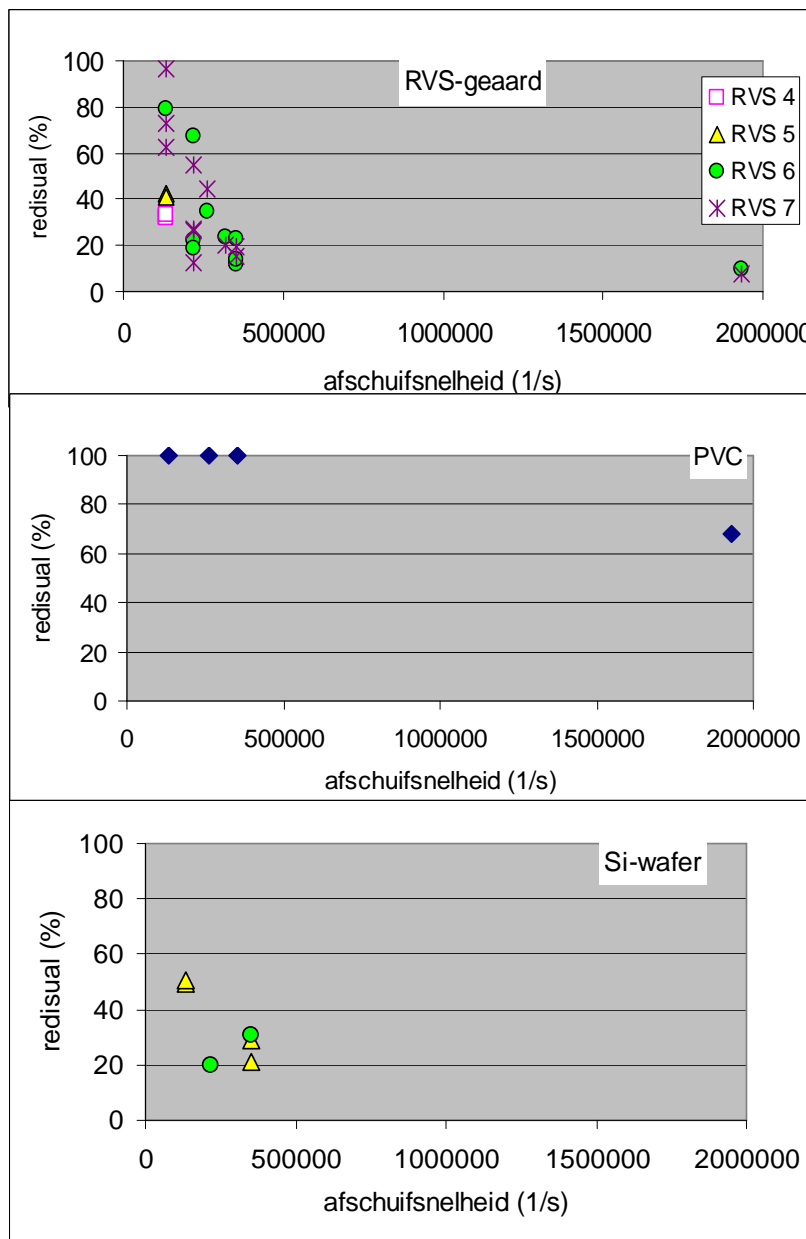
Bewust		Hier toegepast
- type stof (materiaal, dichtheid)		Arizona Test Dust,
- deeltjesgrootte en -vorm		5-10 µm, kristalletjes
- vloermateriaal (ruwheid)		RVS, Si, rubber, PVC (antistatisch)
- afwerking		RVS: gepolijst
- luchtvochtigheid		45% RV
- temperatuur en luchtdruk (dus: luchtdichtheid)		22°C, ca 1 atmosfeer
- luchtsnelheid en stromingspatroon		gevarieerd via Wattage, ijkcurve.
- bewust aangebrachte elektrostatische lading		wel of geen aarding
Onbewust		
- historie van stof		in principe binnen 24 uur meten
- historie van vloerdeel		onbekend
- onbewust opgebrachte statische lading		onbekend
Verstorende factoren		
- slijtage aan monstermateriaal		
- lampen die kapotgaan		
- software die weigert		

3.2 Resultaten

Hoe gemakkelijk het Arizona teststof, dat voornamelijk bestaat uit zandkristallen, wordt weggezogen hangt af van het materiaal, en dan vooral de ruwheid ervan. Bij RVS en silicium, die beide op de schaal van de deeltjes volkomen glad zijn, zijn 'normale' afschuifsnelheden van ongeveer 350.000 1/s voldoende om het merendeel van de deeltjes te verwijderen (Figuur 12). Maar over het ruwe PVC en rubber (niet getoond, vergelijkbaar met PVC) is een veel hogere luchtsnelheid nodig om een vergelijkbare verwijdering te krijgen.

In het geval van RVS blijkt dat de verwijdering lineair toeneemt met de afschuifsnelheid (van 0 tot 350.000 1/s). Harder zuigen dan dat heeft weinig zin. Een beperkt percentage van de deeltjes blijft zitten, al is de luchtstroom nog zo krachtig.

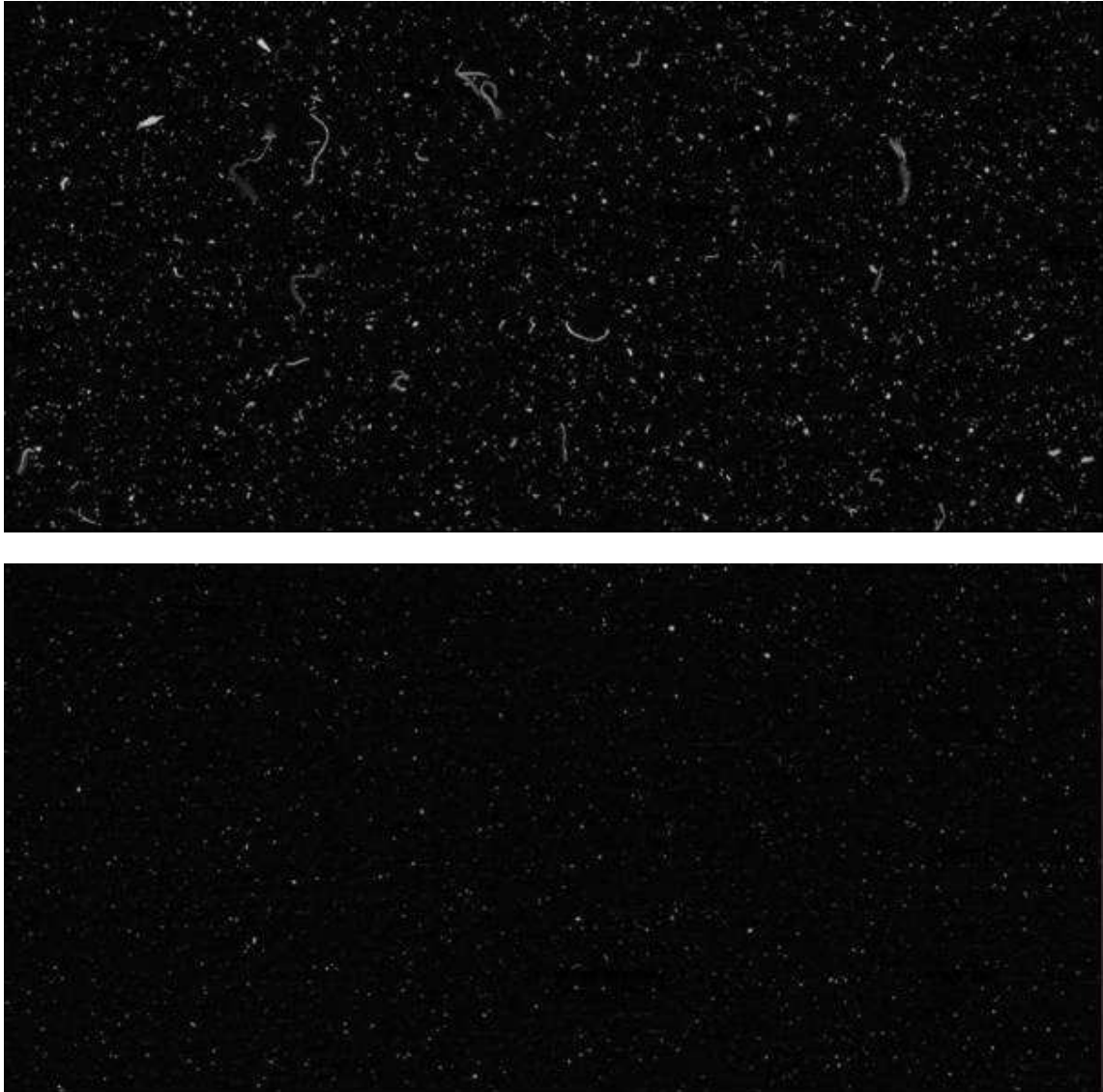
Verder bleek dat het voor de verwijdering niet uitmaakt of er twee seconden of langer wordt gezogen. Klaarblijkelijk blijven na die periode deeltjes liggen die zo vast zitten dat verdere actie ze niet over de 'drempel' van verwijdering (bij de heersende afschuifsnelheden) kan helpen. Kortere testen waren helaas niet mogelijk.



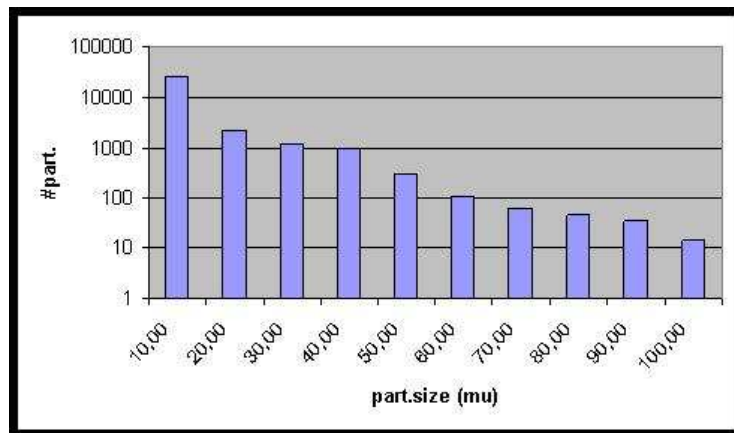
Figuur 12 Restpercentages stofdeeltjes (gemiddeld van 5-10 micrometer) die achterblijven op RVS (boven), antistatisch PVC (midden) en silicium wafer (onder).

3.2.1 *Kantoorstof*

De experimenten zijn niet alleen uitgevoerd met Arizona teststof, maar ook met echt of natuurlijk stof dat gedurende ongeveer 2 maanden is neergeslagen op de testsubstraten die in dit onderzoek zijn gebruikt. Hoe dat eruit ziet (voor reinigen) is te zien in figuur 13. Er blijken deeltjes op dit substraat te zitten van maximaal 800 µm; de verdeling van de deeltjesgrootte voor deeltjes tot 100 µm is te zien in Figuur 14. Omdat de er veel grotere deeltjes aanwezig zijn dan in Arizona teststof, is nu duidelijk waarneembaar dat de deeltjes makkelijker verwijderd worden naarmate ze groter zijn (voor elk van de gekozen lichtsnelheden) (Figuur 15).

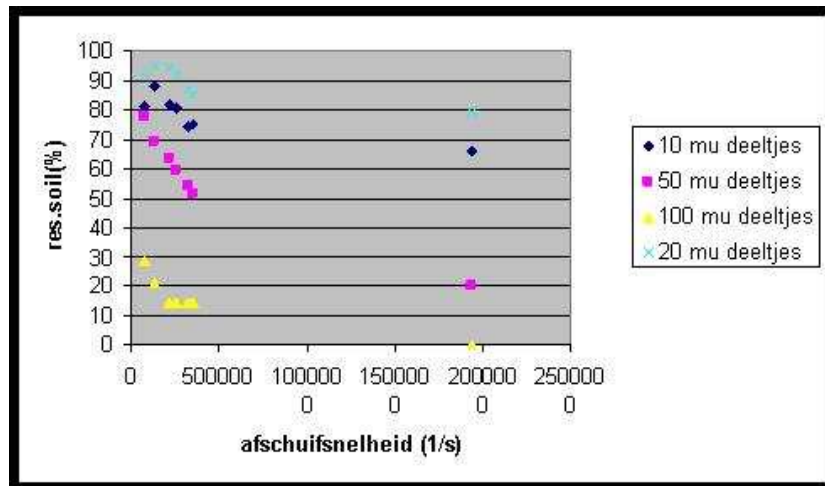


Figuur 13 Natuurlijk stof en hetzelfde oppervlak na behandeling in flowcel bij maximale afschuifsnelheid



Figuur 14 Deeltjesgrootteverdeling van natuurlijk stof, gedurende 2 maanden verzameld in kantoor D117

Verder blijkt dat op deze RVS-substraten deeltjesverwijdering vrij goed loopt voor deeltjes vanaf 50 μm : voor de kleinere deeltjes is de verwijdering geringer dan voor Arizona Test Dust op RVS-substraten.



Figuur 15 Cumulatief restpercentage na overblazen met steeds toenemende afschuifsnelheid (na iedere test is hetzelfde monster weer behandeld met een steeds hoger vermogen) laat duidelijk zien dat grotere deeltjes beter verwijderd worden, maar pas compleet bij zeer hoge afschuifsnelheid. Natuurlijk verzameld stof op gepolijst RVS.

3.3 Praktische consequenties

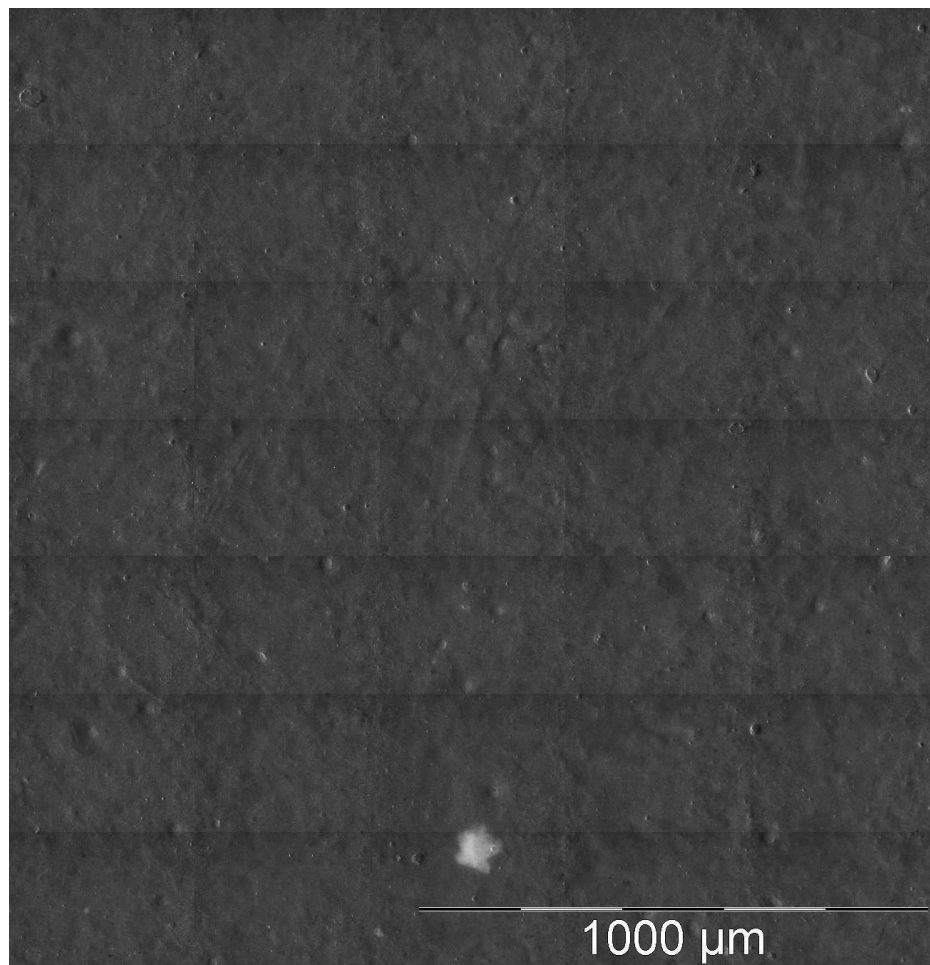
- Voor stofdeeltjes die door sedimentatie zijn verzameld is het onwaarschijnlijk dat ze volledig verwijderd worden door een luchtstroom, behalve als ze minstens 100 micrometer groot zijn.
- Langer dan 2 seconden stofzuigen van een harde vloer heeft geen zin.
- Er is een groot verschil tussen theorie en praktijk als het gaat om de invloed van de deeltjesgrootte. Dit heeft onder andere te maken met de deeltjesvorm en met oppervlakteruwheid, maar ook met factoren die we nog niet in kaart hebben gebracht. Theoretische voorspellingen van effectiviteit zijn niet betrouwbaar.

4 Deeltjesverwijdering door stofzuigen

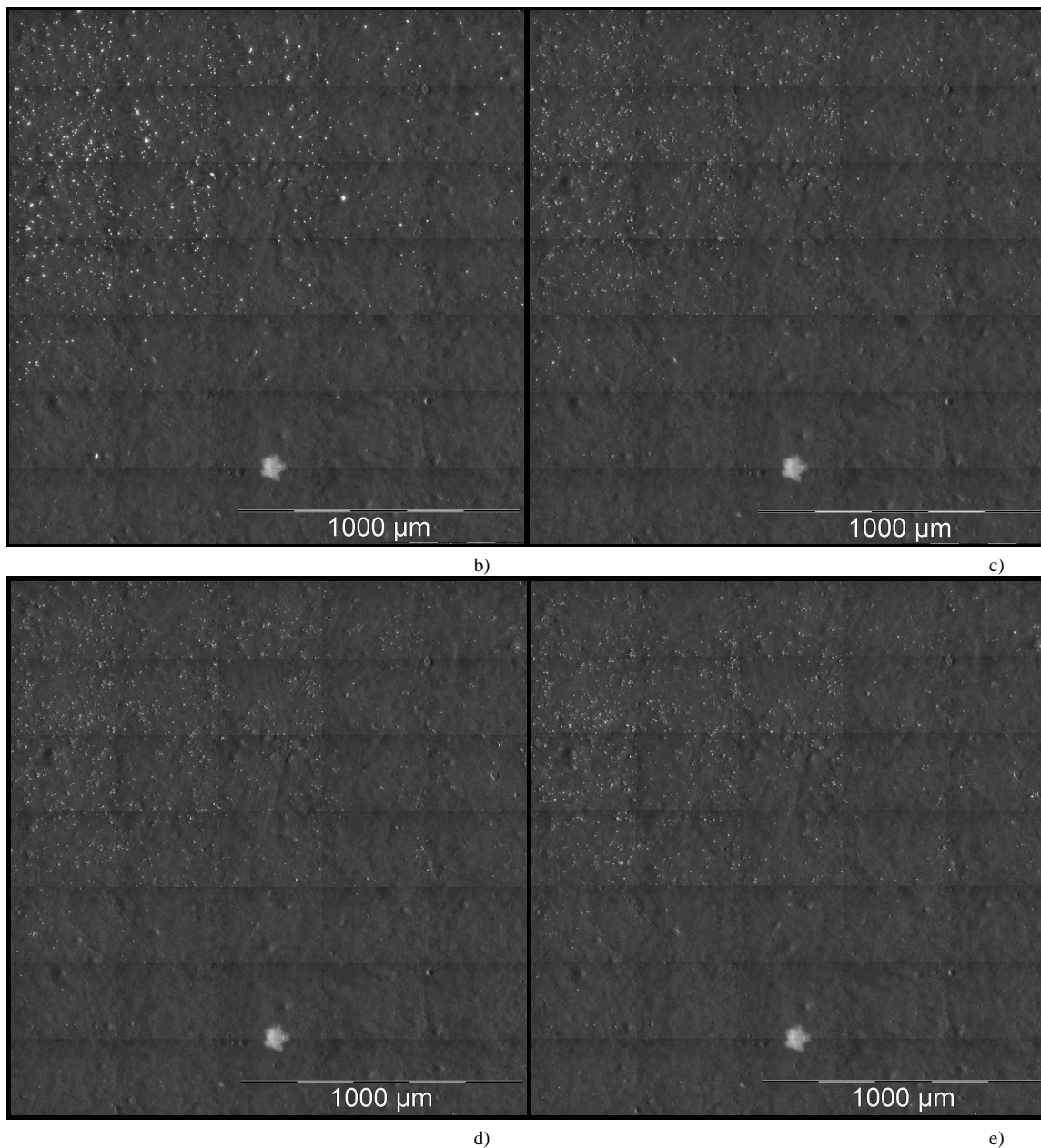
In het vorige hoofdstuk werd stilgestaan bij deeltjesverwijdering door luchtstroming in een speciaal daarvoor ontworpen flowcel. Om de relatie met de praktijk sterker te maken, is ook gewerkt aan stofverwijdering (van het kunstmatige Arizona teststof ATD) met een stofzuiger.

Daarvoor werd eerst een bodemplaat van een te onderzoeken materiaal gemaakt met daarin een uitsparing voor een monsterplaat, zoals die ook in de flowcel-experimenten is gebruikt (Figuur 8). Vervolgens werd met een stofzuiger één keer een beweging gemaakt met de zuigmond over de bodemplaat met daarin de met teststof bevuilde monsterplaat. De stofzuiger werd gebruikt bij 900 of 1800 W zuigvermogen met een opgetrokken of een uitgeklapte borstel. De resultaten op de monsterplaat werden weer microscopisch geanalyseerd zoals bij de experimenten gepresenteerd in hoofdstuk 3.

Vanwege problemen met de belichting kon van een kunststof laboratoriumvloer geen deeltjesanalyse worden verricht. Wel werden er foto's gemaakt van de vloeren voorafgaand aan en na afloop van het stofzuigen (figuur 16).



Figuur 16 Opnames van laboratoriumvloer: a) schoon; b) zie volgende pagina

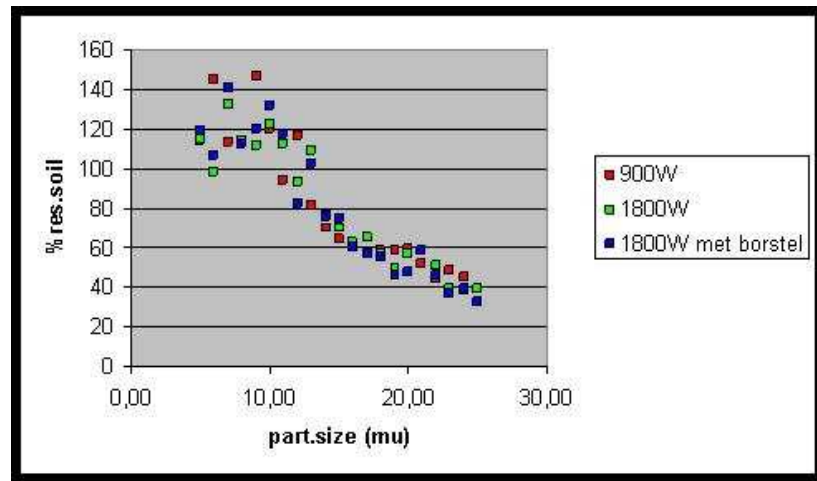


Figuur 16 Vervolg: opnames van laboratorium vloer: b) bevuild met Arizona Test Dust; c) na stofzuigen met 900W; d) na opnieuw stofzuigen bij 1800 W; e) na stofzuigen bij 1800 W met borstel

Uit de foto's (Figuur 16, getoond zijn 35 deelopnamen) concluderen we:

- stofzuigen bij 900 W leidt tot een aanzienlijke afname van het aantal deeltjes; dit betreft echter waarschijnlijk alleen die deeltjes die bovenop het reliëf van deze gestructureerde vloer liggen;
- verhogen van de zuigkracht alleen leidt niet tot waarneembare extra reiniging;
- gebruik van de borstel leidt tot een geringe verbetering van de reiniging.

Dezelfde experimenten zijn verricht op een RVS-vloerdeel met RVS-monsterplaat. Bij deze experimenten kon het aantal deeltjes vóór en na het experiment wel worden vastgesteld met de microscoop en de optische beeldbewerking (Figuur 17).



Figuur 17 Het resterende aantal deeltjes na stofzuigen van RVS dat met Arizona Test Dust is beladen. Grotere deeltjes worden beter verwijderd, deeltjes van 10 micrometer en kleiner niet. Hogere zuigkracht en het gebruik van een borstel heeft geen (noemenswaardig) effect op de deeltjesverwijdering.

Heel duidelijk blijkt uit deze experimenten dat naarmate de stofdeeltjes groter worden, ze makkelijker verwijderd worden met een stofzuiger. Opvallend is hierbij dat inzet van grotere zuigkracht en/of een borstel voor deze kleine deeltjes niet veel verschil maakt: deeltjes kleiner dan 10-12 μm , worden zeer slecht verwijderd met een stofzuiger van een uiterst gladde, geleidende vloer, waarop deeltjes niet gehecht worden met elektrostatische krachten en zich niet in poriën kunnen 'verschuilen'. De verwachting is dat de verwijdering van ruwe en niet-geleidende vloeren nog slechter is.

4.1 Praktische consequenties

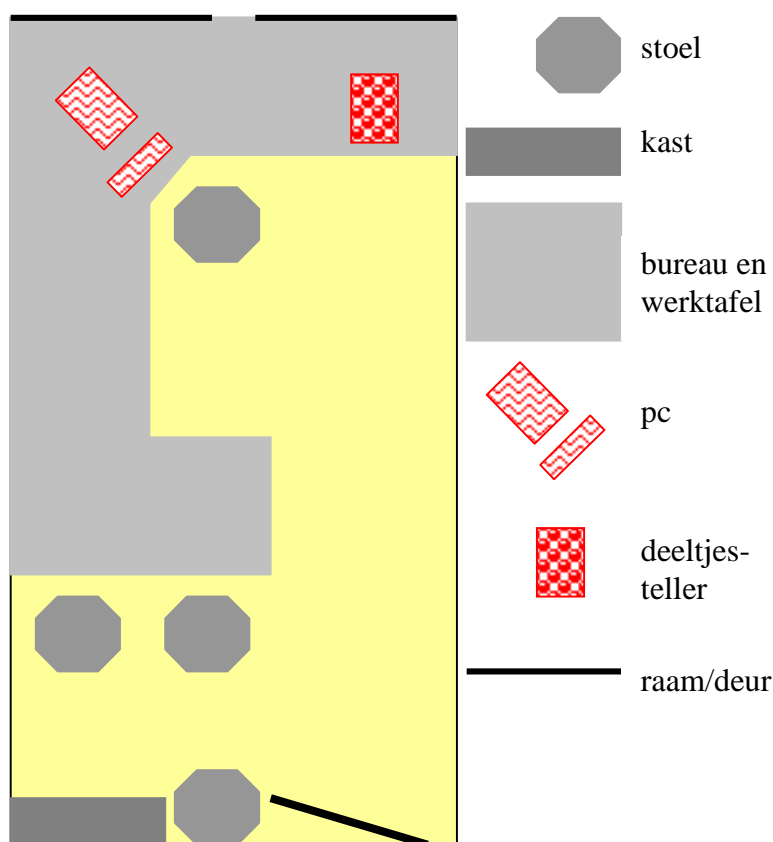
- Voor het verwijderen van fijn stof van harde vloeren is stofzuigen geen geschikte methode.
- Bij stofzuigen van harde vloeren heeft het weinig zin om met hoger vermogen te gaan stofzuigen.
- Op gepolijste materialen heeft het gebruik van een borstel geen zin, op praktische vloerooppervlakken met enige ruwheid heeft de borstel slechts een gering positief effect.

5 Stofopwerveling bij reiniging van harde kantoorvloeren

Het is bekend dat er door stofzuigen deeltjes in de lucht komen. Sommige onderzoekers gebruikten het als een manier om veel stof in de lucht te krijgen en zo goed te kunnen meten hoe de deeltjes uitzakken. Dat deden ze door met snelle beweging te stofzuigen. Anderen maken zich vooral zorgen over de deeltjes die uit de filter komen. In dit deelonderzoek is nagegaan wat de belangrijkste bronnen van deeltjesuitstoot door de stofzuiger zijn, waarbij de focus weer ligt op de deeltjes tussen 5 en 10 micrometer. Dat is immers de fractie die veel vuil van biologische oorsprong bevat, die nadelig kunnen zijn voor de gezondheid. De opwerveling als gevolg van stofzuigen wordt vergeleken met die van stofwissen en van kantoorwerkzaamheden.

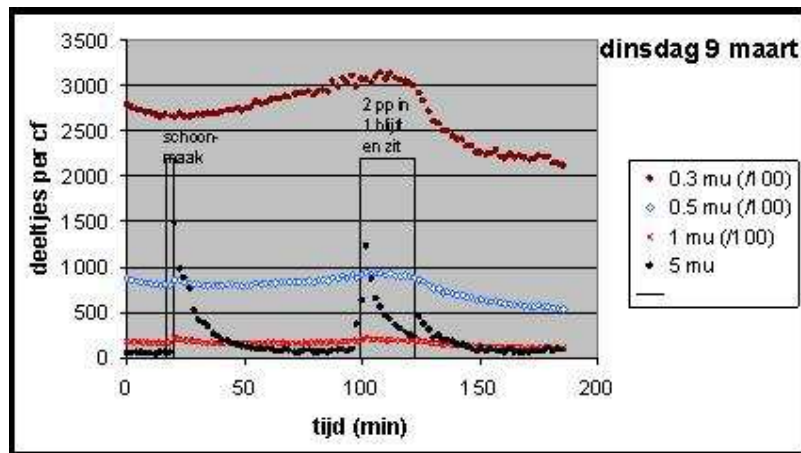
5.1 Methode

In een normaal kantoor met marmoleum vloer (Figuur 18) dat halve dagen bezet was en tamelijk vol lag met papieren en planten, is een deeltjesteller geplaatst, ongeveer op een meter afstand van de zitplek. In het kantoor verzamelt zich stof. Stofzuigmetingen werden om de dag uitgevoerd, om te zorgen dat er steeds een vergelijkbare hoeveelheid stof zou liggen.

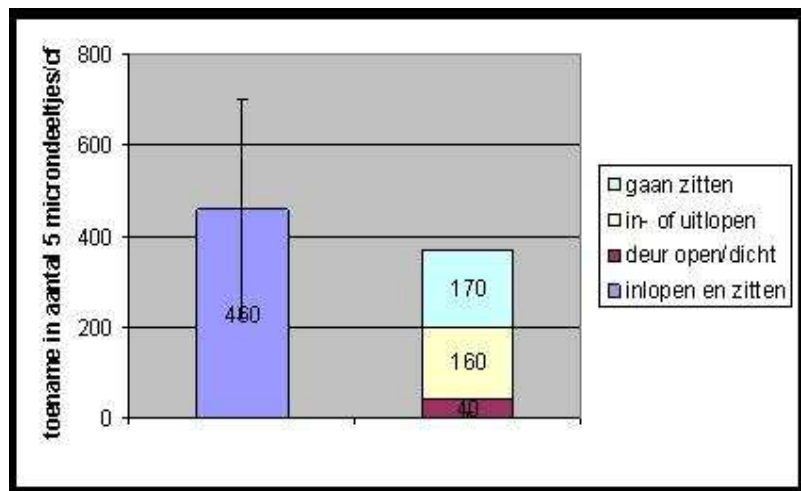


Figuur 18 Inrichting van de werkkamer waarin de opwerveling van stof door stofzuigen, stofwissen en kantoorwerk is gemeten. Er ligt een marmoleum vloer, er staan zeven planten en ligt het nodige aan papieren en dossiers verspreid.

Activiteiten zoals schoonmaken, rondlopen en gaan zitten hebben een sterke invloed op de deeltjesconcentratie (Figuur 19), althans voor deeltjes groter dan vijf micrometer. Kleinere deeltjes komen nauwelijks los van oppervlakken. De absolute toename van het aantal deeltjes dat in de lucht komt door bepaalde handelingen is reproduceerbaar. De standaarddeviatie varieert tussen 25 en 60% van de gemeten waarde. Het aantal deeltjes dat door een ingewikkelde handeling in de lucht komt, is de optelsom van wat er per deelhandeling opgeworpen wordt (Figuur 20).



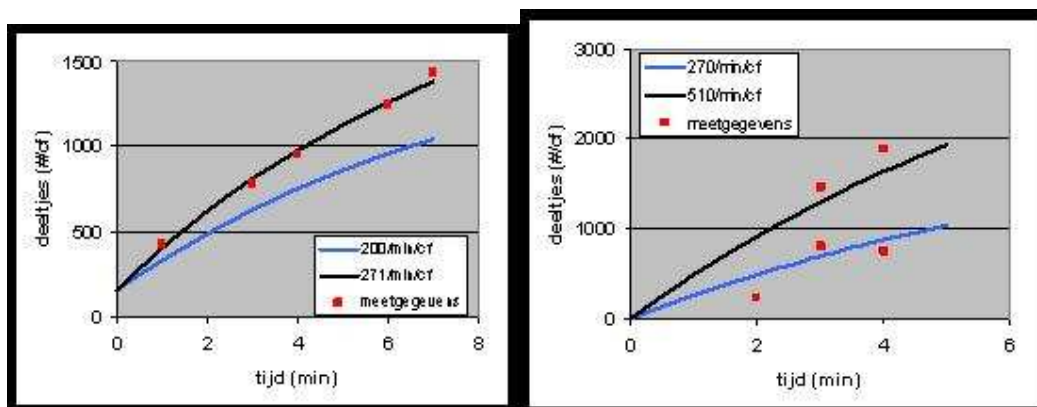
Figuur 19: Deeltjestelling in een kantoor toont de effecten van schoonmaak; het binnenkomen en werken van twee personen ('2 pp in'), en het vertrek van een persoon ('1 blijft en zit'). Het aantal deeltjes per kubieke voet (cf) is weergegeven als functie van de tijd. Voor de kleine deeltjes (0,3; 0,5 en 1 micrometer) is dit aantal gedeeld door honderd. Het aantal 0,3 micrometerdeeltjes varieert van 200000 tot 300000 per kubieke voet en wordt niet beïnvloed door de activiteiten.



Figuur 20 Vergelijking tussen de gemeten waarde voor een complexe handeling (kantoor inlopen en gaan zitten, linkerbalk) en de som van de deelhandelingen (rechts) laat zien dat het effect van de complexe handeling de optelsom is van de effecten van de deelhandelingen

Rondlopen veroorzaakt een voortdurende toename in de deeltjesconcentratie, althans gedurende de eerste minuten. Uiteindelijk zal er een balans ontstaan tussen de deeltjes die steeds worden opgeworpen en de deeltjes die uitzakken. Dat is goed te modelleren, waaruit volgt dat er ongeveer 270 deeltjes per minuut per kubieke voet worden opgeworpen (Figuur 21). Bij schoonmaken van de vloer kan dat oplopen tot meer dan

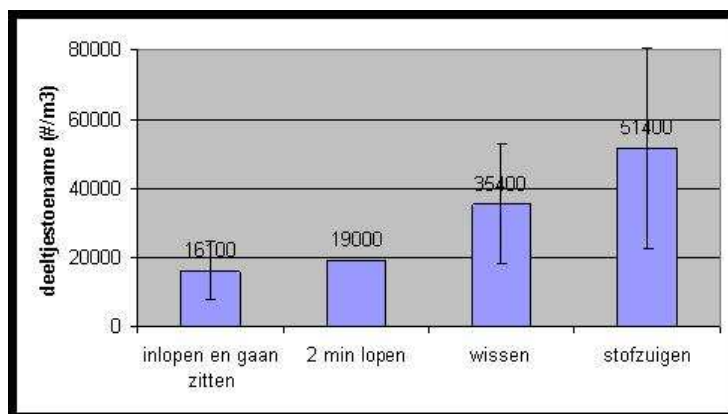
500 deeltjes/min/cf. Overigens komt ongeveer driekwart daarvan van de huid en kleding van mensen, en ongeveer een kwart van de vloer.



Figuur 21 Toename in deeltjesconcentratie na metingen van verschillende duur bij rondlopen (links) en het schoonmaken van de vloer (rechts). Bij schoonmaken van de vloer is de bronsterkte variabel, maar minstens even groot als bij rondlopen.

5.2 Resultaten

Bij schoonmaken komt meer stof vrij dan bij rondlopen of binnenlopen en gaan zitten (Figuur 22). Ander kantoorwerk laat nog lagere deeltjesuitstoot zien [6]. De verschillen tussen lopen en schoonmaken, en tussen wissen en stofzuigen, zijn significant. Van alle gemeten activiteiten brengt stofzuigen het meeste stof in de lucht.

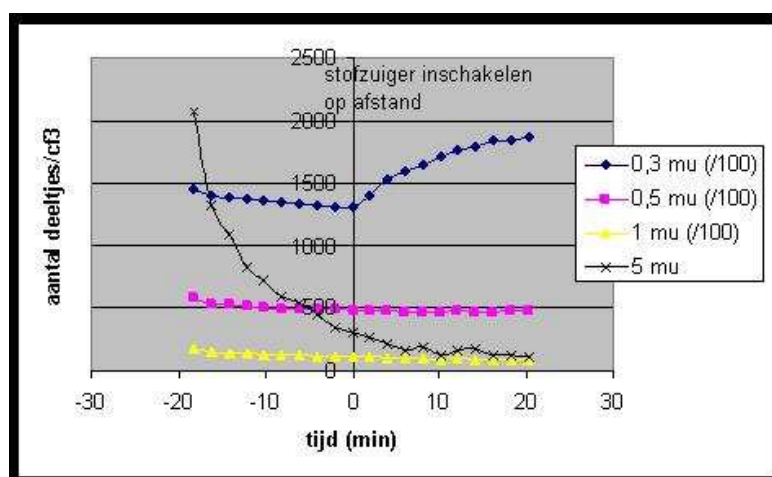


Figuur 22 Vergelijking van de stofopwerveling (deeltjes van 5 tot 10 micrometer) door kantoorwerkzaamheden en verschillende methoden om harde vloeren te reinigen. De verticale lijnen geven de standaarddeviatie weer.

Het kantoor van 15 vierkante meter is in 2 minuten gestofwist en in 2,5 minuten gezogen, prestaties van 450 m²/uur en 360 m²/uur. Dit is vergelijkbaar met gebruikelijke normen, respectievelijk 460-600 m²/uur en 316-456 m²/uur voor bezet oppervlak [8]. De snelheid van bewegen van de wisser of zuigmond ligt op een kwart meter per minuut. Langzamer bewegen zal de deeltjesopwerveling reduceren [4], maar gaat (bij dezelfde werkbreedte) ten koste van de productiviteit. Om te bezien of er

andere mogelijkheden zijn stofopwerveling te beperken, is geanalyseerd waar de stofuitstoot door stofzuigen precies vandaan komt.

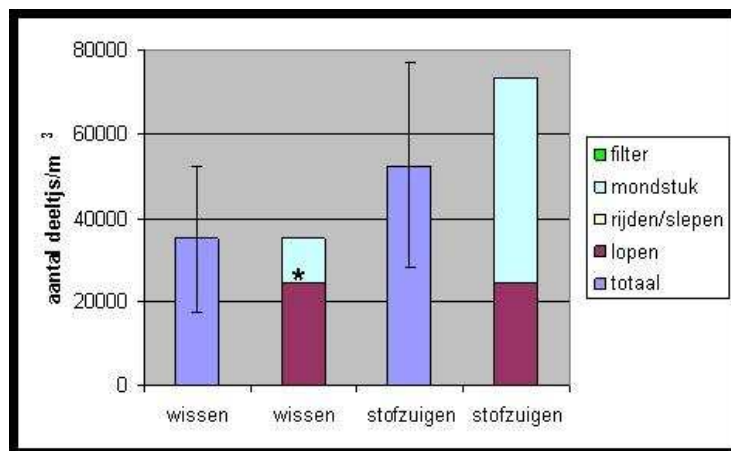
Metingen aan de uitstoot door het filter (Figuur 23) en het bewegen van slang en machine over de vloer laten zien dat beide niet meetbaar stof van 5 micrometer of groter in de lucht brengen. Dit wordt bevestigd door metingen die laten zien dat de opwerveling gelijk is voor gewoon stofzuigen en stofzuigen met een geïmproviseerd centraal stofzuigstelsel (Figuur 24).



Figuur 23 Deeltjesconcentraties van verschillende grootte (mu= micrometer) als gevolg van het aanzetten van een stofzuiger op de vloer met de uitblaas direct naar het meetapparaat. Het filter van de stofzuiger laat alleen heel kleine deeltjes door, de hier relevante deeltjes van 5 tot tien micrometer worden niet uitgestoten.

Figuur 24 Stofzuigen met een gesimuleerd centraal stofzuigstelsel, gemaakt door een lange slang te koppelen tussen het motorblok en de stofzuigbuis. De schoonmaak is uitgevoerd door de getoonde ervaren en SVS-getrainde schoonmaakster, Nicolien Smeenk. Achter haar handen is de deeltjesteller deels te zien, staand op een tafel.





Figuur 25 Bijdrage van verschillende deelhandelingen aan het totale aantal deeltjes van 5-10 micron dat extra in de lucht komt tijdens schoonmaken. *: berekend;

Kortom, de belangrijkste bron voor opwerpen van deeltjes in de lucht is de stofzuigmond (Figuur 25). Die bijdrage kan worden gehalveerd door een nieuwe borstel te gebruiken (van een huishoudelijke machine). Stofzuigen met een mond zónder borstel op wieltjes geeft een uitstoot van 10000 deeltjes per kubieke meter, vergelijkbaar met stofwissen. Verder is de opwerveling door stofzuigen niet te beperken.

Omdat te verwachten is dat de borstel helpt het oppervlak schoon te krijgen is de voorste van de twee borstels verwijderd. De mond werd daarna alleen vooruit bewogen, zodat alleen de achterste borstel de vloer raakt en de deeltjes die daarmee losgeschoten worden in principe grotendeels tegen de stofzuigmond zouden aankomen. Deze ingreep halveert de extra deeltjesopwerveling door stofzuigen (Tabel 1).

Tabel 1 Opgewerveld stof door een ongebruikte stofzuigermond op wieltjes (extra deeltjes per kubieke meter minus de bijdrage door drie minuten rondlopen)

	Met volledige borstel	Met alleen achterste borstel	Met borstel ingetrokken
Zonder zuigen	26000	14000	3500
Met zuigen	16000	7000	Niet bepaald

5.3 Praktische consequenties

- stofwissen is sneller en veroorzaakt minder stofopwerveling van harde vloeren dan stofzuigen doet.
- een centraal stofzuigsysteem heeft geen voordelen als het gaat om de uitstoot van deeltjes van 5 tot 10 micrometer. Wel worden er minder uiterst kleine stofdeeltjes (kleiner dan 0,5 micrometer) en geurstoffen in de ruimte gebracht en daalt de geluidsoverlast.
- Waar stofzuigen wel wenselijk of noodzakelijk is, kan de stofopwerveling worden beperkt door nieuwe borstels te gebruiken of zelfs de borstel (deels) weg te halen en een stofzuigmond op wieltjes te laten rijden.

6 Een vooronderzoek voor een praktijkproef

Op basis van de resultaten van het vorige hoofdstuk en eerder werk [2-4] is in VSR Vaknieuws 3 een schoonmaakprogramma vastgesteld om de hygiëne van de werkplek te verbeteren. Dat programma, 'Gezond Schoonmaken', is ook gezond voor de schoonmakers. Die staan op een treurige derde plaats in de top tien van beroepsgroepen met de meeste longklachten. Het vele stof dat wordt opgewerveld door traditioneel schoonmaken helpt niet om die situatie te verbeteren. Bovendien: stof dat je in de lucht brengt valt even later terug en vermindert de kwaliteit en effectiviteit van het werk.

Gezond schoonmaken moet meer ziekmakers verwijderen met een minimale belasting voor de schoonmaker. Dat doet het door de werkplek grondig en vaak schoon te maken, door stof te binden en door zo droog en rustig mogelijk te werken. Theoretisch leidt dat tot schonere werkoppervlakken en lucht. De verwachting is ook dat het ziekteverzuim onder gebruikers en schoonmakers daalt en dat hun prestaties stijgen.

Al is die theorie gebaseerd op een groot aantal wetenschappelijke artikelen en eigen metingen, een bevestiging in de praktijk is zeer wenselijk. Maar zoiets is niet eenvoudig. Omdat er veel factoren invloed hebben op hoeveel ziekmakers er aanwezig zijn, en nog meer op hoe gezond en gemotiveerd mensen zijn, is een omvangrijke en goed voorbereide studie nodig. Dat paste niet in het kader van dit onderzoek, maar er kon wel nuttig voorwerk worden gedaan. Doel daarvan is na te gaan hoe het best gemeten kan worden in een groter opgezette toets.

6.1 Methode

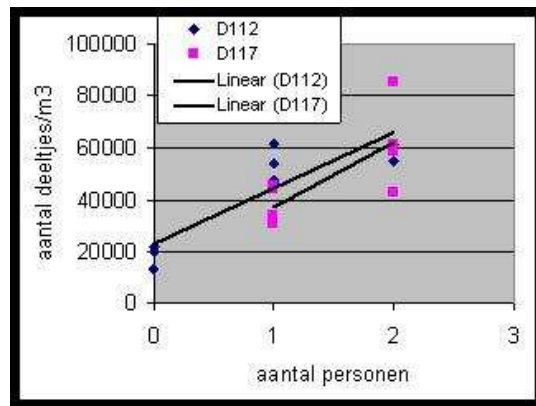
In het vooronderzoek is nagegaan of het mogelijk is zinvolle metingen te doen aan de concentratie van deeltjes, bacteriën en schimmels in de lucht, als een maat voor de hoeveelheid ziekmakers die werkende mensen in zouden kunnen ademen. Er is gemeten in twee kantoren die in normaal gebruik waren, beide met linoleum vloerbedekking die een half jaar daarvoor was gelegd. Er was alleen sprake van natuurlijke ventilatie, door geopende ramen (en de kieren eromheen). Het gezond schoonmaakprogramma dat voor deze situatie kan worden gebruikt is weergegeven in Tabel 2. Let op: in drukkerie situaties, of met kwetsbaardere gebruikers of mechanische ventilatie kan een intensiever programma nodig zijn [1].

Tabel 2 Gezond schoonmaakprogramma voor rustig kantoor met natuurlijke ventilatie

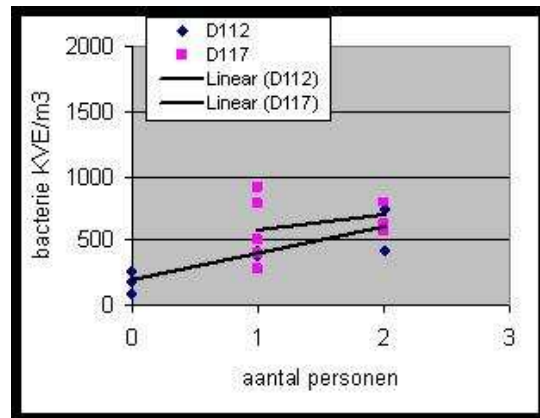
<p>Om de dag (5/10 programma)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ afnemen van telefoon, schakelaars en deurklink met een schone doek ○ afnemen van het bureau met een tempo van 1 m²/min; ○ stofwissen onder het bureau en er 1 meter omheen, tempo 1 m²/min. ○ idem het looppad van deur naar bureau ○ legen van afvalbakken <p>Wekelijks (1/5)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ maandag/dinsdag: stofwissen hele ruimte, normaal tempo ○ donderdag/vrijdag: stof afnemen van alle open kastplanken, 1 m²/min <p>Tweewekelijks (woensdag) (1/10)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ afnemen van alle gesloten kastplanken, vensterbanken en handgrepen van kasten e.d., normaal tempo ○ stoelen uitzuigen, 1 minuut per stoel

6.2 Resultaten

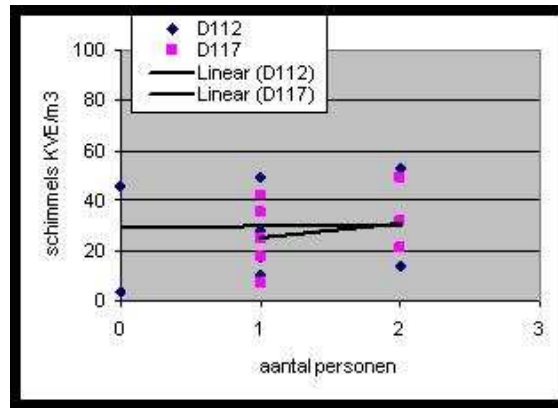
In beide kantoren zweeft, bij gewoon schoonmaken, ongeveer evenveel rommel in de lucht (Figuur 26-28). De kantoren zijn relatief schoon en gezond kantoren zijn, wat niet verwonderlijk is gezien de korte gebruiksduur en het harde vloertype. Voor deeltjes en bacteriën geldt: hoe meer mensen in het kantoor, des te hoger de concentratie. Alleen voor schimmels is dit niet waar. De schimmelconcentraties zijn (bij aanvang van het onderzoek) erg laag en blijken vooral bepaald te worden door de buitentemperatuur. Dat is een rechtstreeks gevolg van het feit dat natuurlijk geventileerd wordt en dus ongefilterde lucht de kantoren instroomt.



Figuur 26 Beginsituatie: aantal fijn stof deeltjes per kubieke meter lucht als functie van het aantal personen



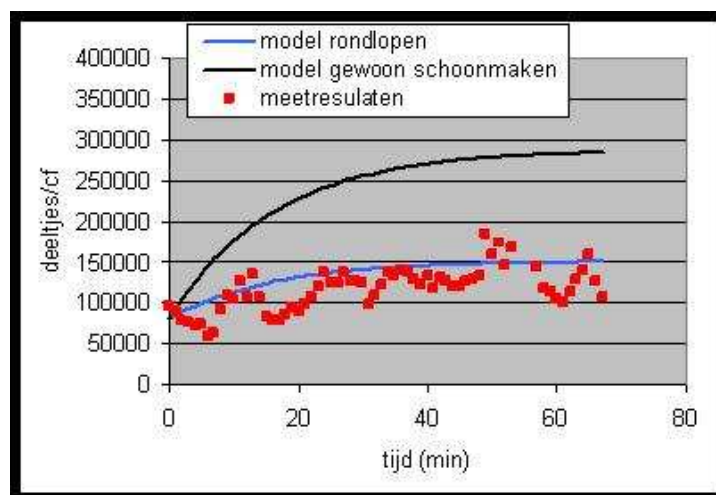
Figuur 27 Beginsituatie: aantal kolonievormende eenheden (KVE) van bacteriën per kubieke meter lucht



Figuur 28: Beginsituatie: aantal kolonievormende eenheden (KVE) schimmels per kubieke meter lucht

- In het vooronderzoek is eerst overgestapt naar traditionele reiniging met cleandesk-strategie. Daarbij wordt het bureau opgeruimd voor de schoonmaak. Dat bleek geen meetbaar effect te hebben. Vervolgens is een grote schoonmaak uitgevoerd, te weten:
- A uitzuigen stoelen, 1 minuut per zitting, stofzuiger met HEPA-filter (zoals gebruikt in een cleanroom)
 - B twee kasten volledig uitruimen, klamvochtig schoonmaken en opnieuw inrichten; boeken en ordners uitzuigen.
 - C alle horizontale vlakken volledig klamvochtig afnemen (microvezeldoek),
 - D vloer stofwissen (oliegeïmpregneerde doeken), waarbij alle meubels zo mogelijk werden verplaatst

De gebruikte methoden zijn stofbindend en zijn kalm uitgevoerd. Dit kostte ongeveer een uur voor een eenpersoonskantoor van 15 m² met twee volle kasten. Opmerkelijk is dat de deeltjesconcentratie tijdens dat werk zelden uitkwam boven concentraties die gemeten worden bij rondlopen (Figuur 29), in schril contrast met traditioneel uitgevoerde schoonmaakwerkzaamheden.



Figuur 29: Vergelijking van de werkelijke deeltjesconcentratie in het meetkantoor tijdens de grote schoonmaak met een schatting voor rondlopen en voor traditioneel schoonmaken. De grote schoonmaak wordt 'gezond' uitgevoerd: stofbindend en in een rustig werktempo. Daardoor komen ongeveer net zo veel deeltjes in de lucht als bij rondlopen, dus deze 'gezonde' manier van schoonmaken draagt niet bij aan een hogere fijn stofconcentratie in de lucht. Traditionele schoonmaak zou uiteindelijk leiden tot veel hogere concentraties (zwarte lijn).

Na de grote schoonmaak werd enkele weken gezond schoongemaakt. In die tijd bleef de gemeten concentratie (bij één persoon in het kantoor) voor deeltjes en bacteriën significant lager dan in het referentiekantoor (respectievelijk 30% en 50%). Als na gezond schoonmaken wordt teruggestapt op gewoon schoonmaken stijgen de concentraties van de ziekmakers. De significantie van deze effecten is moeizaam aan te tonen door een combinatie van

- een grote spreiding in de meetresultaten, 33 tot 50% van de meetwaarde
- een gering aantal metingen onder exact dezelfde condities; de grootste storende factoren zijn het aantal mensen in het kantoor (waarschijnlijk niet alleen tijdens, maar ook vlak voor de meting), en het weer (vooral voor schimmels en in mindere mate voor bacteriën in dit gebouw met natuurlijke ventilatie).
- de relatief schone uitgangssituatie (harde vloeren, nog maar een half jaar in gebruik), waardoor eventuele effecten klein zijn.

6.3 Praktische consequenties

Omdat de positieve effecten van gezond schoonmaken ondanks deze gegevens toch aannemelijk te maken zijn, is een grootschaliger onderzoek wenselijk. Bij het opzetten daarvan kan lering uit dit vooronderzoek worden getrokken.

- Kies een voldoende vuile uitgangssituatie. Denk aan een kantooromgeving met tapijt dat al tien jaar of meer niet vervangen is.
- Sla de fase met een clean desk over; die heeft geen toegevoegde waarde.
- Richt de studie op deeltjes en bacteriën, en eventueel endotoxine (bacteriegif).
- Meet ook buitenluchtconcentraties, luchtvochtigheid en temperatuur.
- Zorg voor meer meetpunten, bijvoorbeeld door meer kantoren in de studie te betrekken en meermalen per dag te meten. Om verschillen van 25% met 90% betrouwbaarheid aan te tonen zijn tientallen metingen per fase nodig, voor het aantonen van een verschil van 10% met 95% betrouwbaarheid honderden
- Registreer exacter, liefst automatisch, het aantal personen in de kamer vóór en tijdens metingen en indexeer ook voor de mate van activiteit in beide gevallen.

7 Discussie en Conclusies

Een stofzuiger met goed werkend HEPA-filter hoort thuis in een gezond schoonmaakprogramma, maar alleen voor reinigen van tapijt en het uitzuigen van ordners, boeken en bureaustoelen. Harde vloeren kunnen het best worden gereinigd met een stofwisser met oliegeïmpregneerde doeken. Dat is effectiever (want stofzuigen verwijdert nauwelijks deeltjes van harde vloeroppervlakken) en werfelt minder stof op. Bovendien werkt stofwissen sneller en lichter, dus economischer en ergonomischer. Ook al wordt stofzuigen opmerkelijk genoeg in cleanrooms wel toegepast, in kantoren is het geen zinvol alternatief voor stofwissen.

Een waarschuwing is wel op zijn plaats: hoe sneller het stofwissen, des te meer stof werfelt er op⁴. Gebruik bij het stofwissen van grote oppervlakken, zoals gangen en zalen, liever brede stofwissers in een laag tempo, dan normale met een hoog tempo.

Opmerkelijk is verder dat stofzuigers vooral stof in de lucht brengen door de bewegingen van het mondstuk over de vloer. Uitstoot via het filter wordt pas belangrijk voor deeltjes kleiner dan drietiende micrometer. Centraal stofzuigen heeft dus geen voordelen als het gaat om de relatief grote deeltjes (van ongeveer 5 micrometer) waarop ziekmakers van biologische oorsprong kunnen zitten.

Een nieuw mondstuk dat op wieljes rijdt in plaats van op de borstels glijdt, geeft veel minder deeltjesopwerveling. Een reductie in stofopwerveling is ook te bereiken door de borstelharen af te snijden aan de voorzijde van het mondstuk, in de richting waarin de mond bewogen wordt. Daardoor is de mond nog maar in één zuigrichting bruikbaar.

Een pilotonderzoek naar het effect van gezond schoonmaken op de luchtkwaliteit in kantoren laat vooral zien aan welke voorwaarden een grotere studie moet voldoen om effecten aan te kunnen tonen. Een vuile uitgangssituatie en een mechanisch geventileerde ruimte zullen de meetbaarheid van het effect vergroten. Om iets zinnigs te kunnen zeggen moet er in tientallen kantoren gemeten worden – liefst tientallen keren. Het activiteitsniveau in het kantoor heeft een sterke invloed op de gemeten waarden en daarvoor moet dus gecorrigeerd worden, op basis van de resultaten uit dit onderzoek.

De eerste signalen zijn gunstig. Tijdens de gezond uitgevoerde grote schoonmaak, met stofbindende methoden in een kalm tempo, bleef de stofconcentratie veel lager dan zou zijn gebeurd bij traditionele methoden. En, minstens zo belangrijk, de lucht was 30 tot 50% schoner in het kantoor dat een grote schoonmaak had gehad en daarna gezond werd schoongemaakt.

7.1 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Een onderzoek beantwoordt vragen, maar roept ook nieuwe op. In dit geval zijn dat de volgende vragen.

- Is het mogelijk het ontwerp van het mondstuk van stofzuigers te verbeteren, om deeltjesopwerveling te beperken?
- Is het mogelijk het stofzuigproces te verbeteren, vooral voor tapijt, door elektrostatische krachten te neutraliseren, door trillingen, door te blazen in plaats van te zuigen en door de actie vaker te herhalen?
- Bevestiging van de effecten van gezond schoonmaken in een groter onderzoek, mogelijk ook met meting van gezondheidseffecten en verzuim, blijft wenselijk.

8 Referenties

- [1] Anton Duisterwinkel, *Gezond Schoonmaken, een programma voor betere hygiëne van de werkplek*, Vaknieuws 3, VSR, Tilburg, 2004
- [2] AE Duisterwinkel, *Schoonmaken beperkt de schadelijke gezondheidseffecten van Fijn Stof*, SM61, TNO rapport 70037.001, VSR, Tilburg, september 1999
- [3] AE Duisterwinkel, *Schoonmaken beperkt de schadelijke blootstelling aan Fijn Stof*, SM63, TNO rapport 70037.003, VSR, Tilburg, december 1999
- [4] AE Duisterwinkel, *Metingen aan het opwerpen van Fijn Stof tijdens stofverwijdering bij interieurreiniging*, SM65, TNO rapport DOI-RPT-020009, VSR, Tilburg, juni 2002
- [5] A. van de Runstraat, J. van der Donck, *Resuspensie van deeltjes 1: Literatuur en modellering*, TNO rapport OMI-RPT-060017, Delft, maart 2004
- [6] A.E. Duisterwinkel, *Stofopwerveling door stofzuigen en stofwissen van harde kantoorvloeren*, TNO rapport DOI-RPT-040021, Delft, maart 2005
- [7] A.E. Duisterwinkel, A.G.T.M. Bastein, *Pilotonderzoek naar de effecten van Gezond Schoonmaken*, TNO rapport DOI-RPT-060016, Delft, november 2005
- [8] C. Gomes, J. Freihaut, W. Bahnfleth, *Resuspension of allergen-containing particles under mechanical and aerodynamic disturbances from human walking – introduction to an experimental controlled methodology*, Proc. Indoor Air 2005, Beijing, september 2005, pp 1445-1449
- [9] FM-praktijk Schoonmaak-nr 1, jan 2002, rubriek RJ-301