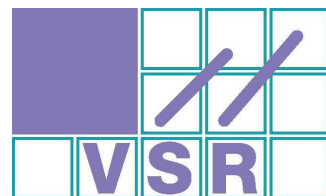


GEZOND SCHOONMAKEN

Onderzoek:

**Stofopwerveling door stofzuigen en
stofwissen van harde kantoorvloeren**



© VSR september 2005

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

Inleiding

“Schoon is gezond” luidt het motto van VSR, maar hoe schoon is dat? Draagt de huidige manier van schoonmaken wel bij aan een gezonde werkomgeving in kantoren, scholen en ziekenhuizen? Vaak niet blijkt uit onderzoek van VSR.

Hoe gezonder de ruimten in een gebouw zijn, des te meer presteren de mensen daar. Minder ademhalingsproblemen, geïrriteerde ogen, hoofdpijn en vermoeidheid maken het leven van de kantoorgebruiker aangenamer. Die raakt beter gemotiveerd en wordt productiever. De gevolgen laten zich raden: minder ziektekosten, lagere instroom in de WAO.

De belangrijkste ziekmakers in een gebouw zijn de micro-organismen (bacteriën en schimmels) die voorkomen in het aanwezig stof. Micro-organismen kunnen infecties veroorzaken, maar wat belangrijker is: ze maken giftige stoffen.

Een andere groep ziekmakers zijn de allergenen, stoffen die bij daarvoor gevoelige mensen allergische reacties oproepen. Mensen die niet allergisch zijn, kunnen dat worden als ze lang genoeg allergenen binnen krijgen. De belangrijkste allergenen komen van dieren en planten.

Reden temeer voor VSR om onderzoek uit te voeren naar het opwerpen van stof bij schoonmaakhandelingen. Het onderzoek stofopwerveling door stofzuigen en stofwissen van harde kantoorvloeren is een aanvullend onderzoek op eerdere onderzoeken, zoals onder meer opgenomen in Vaknieuws nr. 3 Gezond Schoonmaken.

Doel van dit onderzoek is vast te stellen hoeveel stof verschillende droge reinigingsmethoden voor harde vloeren opwerpen en bij welke deelhandelingen dat precies gebeurt.

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

**STOFOPWERVELING DOOR STOFZUIGEN EN
STOFWISSEN VAN HARDE KANTOORVLOEREN**

Onderdeel van de onderzoeken Gezond Schoonmaken

DOI-RPT-040021

Stofopwerveling door stofzuigen en stofwissen van harde kantoorvloeren

Datum	7 maart 2005
Auteur(s)	A.E. Duisterwinkel
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	37
Aantal bijlagen	
Cofinanciers	Ministerie van Economische Zaken (cofinanciering). Vereniging Schoonmaak Research (VSR), Tilburg Stichting ReinigingsTechnologie, Delft
Projectnaam	Resuspensie van deeltjes: meting, modellering en maatregelen
Projectnummer	008.05105

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, 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 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.

Voor de rechten en verplichtingen van de cofinancier wordt verwezen naar de "Voorwaarden voor cofinanciering van vernieuwende kennisontwikkeling".

© 2005 TNO

Samenvatting

Stofwissen is de methode voor het dagelijks professioneel onderhoud van harde vloeren. Maar in cleanrooms wordt ook stofgezogen. Cleanroomstofzuigers hebben een speciale stofzuigermond met rubber flappen en een HEPA-filter op de uitblaas, om zo min mogelijk fijn stof in de cleanrooms te blazen. Misschien dat stofzuigen daarom beter past in een programma voor gezond schoonmaken. Doel van dit onderzoek is na te gaan of stofzuigen inderdaad minder stof opwerfelt.

Daarvoor zijn metingen verricht in twee bezette kantoren met een linoleum vloerbedekking. Gemeten is aan stofzuigen en stofwissen (bij dezelfde lineaire snelheid, namelijk ongeveer 0,25 meter per seconde), maar ook aan gewoon kantoorwerk om de metingen in een kader te plaatsen. Deeltjes per kubieke meter zijn geteld met een deeltjesteller. We zien, net als in de literatuur, dat handelingen zoals rondlopen, gaan zitten en stofzuigen vrijwel uitsluitend effect hebben op de deeltjes van 5 tot 10 micrometer. Alle onderstaande conclusies hebben betrekking op die deeltjes.

Stofzuigen van een harde vloer met een gebruikte professionele stofzuiger veroorzaakt meer stofopwerveling dan stofwissen van dezelfde vloer bij eenzelfde tempo, ongeveer 5 m²/min. De concentratietoename door stofzuigen is 20±10 µg/m³ bij een achtergrondconcentratie van 2 tot 7 µg/m³. De toename door stofzuigen kent twee belangrijke bijdragen: het rondlopen (10±1 µg/m³) en de borstelmond. Het belang van die laatste is bewezen door de stofzuigermond over de vloer te bewegen met uitgeschakelde stofzuigmotor, wat tot pieken van 30±10 µg/m³ leidt. Een nieuwe stofzuigermond die op een wiel rijdt geeft overigens een heel wat lagere stofpiek. De uitblaas, de stofzuigerslang en het rijden met de machine wervelen geen meetbare hoeveelheid stof op.

Stofwissen geeft een concentratietoename van 14±7 µg/m³, grotendeels door rondlopen (10±1 µg/m³). De stofopwerveling door schoonmaken met een ‘vochtig’ systeem (hier stofwissen, 14-10 = 4 µg/m³) is een vijfde van die door schuiven met een droog systeem (hier borstelmond met uitgeschakelde motor: 30-10 = 20 µg/m³). Exact dezelfde verhouding is in eerder onderzoek gevonden bij bureaureiniging (klamvochtige doek wervelt 2,5% van het stof van bureaublad op; een tissue wervelt 12% op). Op grond van die analogie durven we aan te nemen dat langzamer stofwissen (met een bredere wisser om de productie gelijk te houden) de stofopwerveling beperkt.

Rondlopen gedurende 3 minuten gaf in één kantoor een verhoging van 10±1 µg/m³ en in een, recent heringericht, kantoor een verhoging van 3 tot 4 µg/m³, misschien omdat daar minder stof op de vloer ligt. Activiteiten zoals binnenlopen, een collega die even binnenwipt, het gaan zitten, of een minuut rondlopen in een normaal kantoor met harde vloer leiden allemaal tot een concentratie verhoging van 2 tot 3 µg/m³. Een complexere activiteit zoals het binnenlopen en gaan zitten geeft een dubbel zo grote stofpiek. Stofwissen geeft een grotere stofpiek, al was het alleen al vanwege het langdurig rondlopen.

Aanbevelingen:

- Gezond schoonmaken van harde vloeren is stofwissen
- Meer onderzoek naar stofopwervelen bij stofzuigen van tapijt is wenselijk.
- Het ontwerp van de stofzuigermond kan beter als het gaat om stofopwervelen.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	7
1.1	Literatuur over zachte vloerbedekkingen.....	7
2	Methode	10
2.1	Validatie van de meetmethode.....	14
2.1.1	Werkwijze.....	11
2.1.2	Reproduceerbaarheid en onderscheidend vermogen.....	12
2.1.3	Handelingen en deelhandelingen	13
2.1.4	Rondlopen.....	13
2.1.5	Schoonmaken.....	14
2.1.6	Conclusies van de validatie van de meetmethode.....	15
3	Resultaten: op zoek naar de bron van het stof.....	16
3.1	Resultaten van de complete handelingen.....	17
3.1.1	Snelheid van reinigen	18
3.2	Bijdragen van deelhandelingen.....	18
3.2.1	Uitblaas.....	18
3.2.2	Lopen met materieel	19
3.2.3	Schuiven van het mondstuk	19
3.2.4	Nieuwe meetkamer	19
3.2.5	Invloed stofzuigermond	20
3.2.6	Slang en machine.....	21
3.2.7	Optelsom.....	21
4	Discussie en conclusies.....	22
4.1	Lopen en zitten	22
4.1.1	Zitten.....	23
4.2	Stofwissen versus stofzuigen	23
4.2.1	Centraal stofzuigen	24
4.2.2	Stofwolk door reinigen	24
4.3	Hoe komen deeltjes van de vloer?	24
4.4	Conclusies en aanbevelingen	25
5	Referenties.....	26
	Bijlage(n)	
	A Gebruikte materialen.....	27

1 Inleiding

Regelmatig en vakkundig schoonmaken is essentieel om de hoeveelheden schadelijk stof in ruimtes binnen gezonde perken te houden [1, 2]. Maar niet alle schoonmaakmethoden zijn even effectief, bijvoorbeeld omdat ze veel stof opwerpen, ofwel resuspenderen [1-4]. Dit opgewervelde stof zweeft een tijdje rond, vooral bij de schoonmaker, en valt dan terug op oppervlakken zoals het bureau en de vloer. Gevolg is mogelijk dat de schoonmaker een relatief grote kans loopt op longaandoeningen [5] en in ieder geval dat de ruimte blijft stoffiger en dus ongezonder achter.

Eerder onderzoek geïnitieerd door de VSR laat zien welke methoden op harde bureauoppervlakken fijn stof het best weghalen en er weinig van opwerpen [3,4]. Dit noemen we ‘gezonde schoonmaaktechnieken’. Vochtige methoden, zoals een klamvochtige microvezeldoek of een oliegeïmpregneerde wisdoek voldoen het beste. Een laag werktempo, liefst onder 10 centimeter per seconde in lineaire beweging, beperkt de stofopwerveling.

Stofzuigen vormde geen onderdeel van deze metingen en daarom kon over de reiniging van vloeren nog niet worden vastgesteld welke methoden het meest geschikt zijn om gezond schoon te maken. Institutioneel zal men niet of nauwelijks stofzuigen, maar vooral stofwissen om harde vloeren stofvrij te maken. Stofwissen is efficiënt en licht werk. Opmerkelijk genoeg wordt in cleanrooms eerst stofgezogen en daarna gewist om heel fijne stofdeeltjes te verwijderen. Het stofzuigen gaat in cleanrooms met speciale cleanroomstofzuigers, waarbij de uitblaas extra gefilterd wordt met HEPA-filters. Er zijn berichten dat men stofzuigt in cleanrooms omdat dat veel minder stof opwerft. Moeten we daarom ook in de institutionele omgeving harde vloeren stofzuigen?

Doel van dit (deel)onderzoek is daarom vast te stellen hoeveel stof verschillende droge reinigingsmethoden voor harde vloeren opwerpen en bij welke deelhandelingen dat precies gebeurt.

Op grond van de resultaten van dit onderzoek, en een parallel lopend onderzoek naar de effectiviteit van stofzuigen, kunnen we opmaken hoe op een gezonde manier harde vloeren gereinigd kunnen worden: effectief en zo min mogelijk stof opwerpend.

De beperking tot *harde* vloeren is ingegeven door twee redenen: het onderzoek sluit zo goed aan bij het eerdere werk aan harde bureauoppervlakken en, heel pragmatisch, er is bij de reiniging van zachte vloerbedekkingen zoals tapijt weinig keus in de methodiek voor dagelijks onderhoud. Bovendien is tijdens dit onderzoek een artikel verschenen van Van Strien en anderen [6] dat een centraal stofzuigstelsel vergelijkt met traditionele stofzuigers, op tapijt in woningen.

1.1 Literatuur over zachte vloerbedekkingen

Van Strien [6] wilde weten of het voor astmapatiënten nuttig is om over te schakelen op een centraal stofzuigstelsel. Dat zou de overlast wegnemen van deeltjes die door het stoffilter heen komen. Katallergeen (Fel d 1) kan normale stofzuigzakken passeren, zodat er relatief veel in de lucht komt, wat allergische reacties opwekt bij gevoelige personen. Daarom heeft Van Strien niet alleen het totale stof (alle deeltjes groter dan 2 micrometer) maar ook katallergeen gemeten, voorafgaand (30 min), tijdens en direct na (30 min) en na afloop van het stofzuigen (210 minuten).

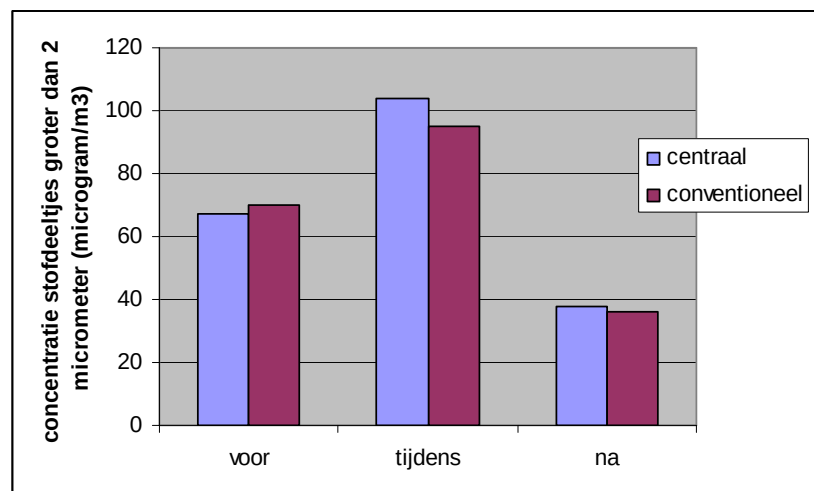
De metingen zijn uitgevoerd in twaalf Nederlandse woonhuizen met het daar aanwezige centrale stofzuigstelsel of een nieuwe huishoudelijke stofzuiger (Electrolux Clario)

zonder speciale HEPA-filterinrichting. In twintig minuten werd het tapijt (dat wil zeggen de volledige vloer) en alle met stof beklede meubilair gezogen. De bewoners mochten thuis zijn tijdens de metingen en maakten verder schoon zoals ze gewend waren.

Van Strien vond geen verschil tussen de centrale stofzuiger en de conventionele stofzuiger voor wat betreft de stofconcentraties (zie figuur 1). Zoals gebruikelijk is de concentratie stof hoger tijdens het stofzuigen, maar naderhand is de concentratie ongeveer de helft van de waarde voorafgaand aan stofzuigen. Ook dat is geen ongebruikelijk resultaat, waarbij Van Strien overigens opmerkt dat de meting vooraf beïnvloed kan zijn door het installeren van de meters.

Van Strien verwijst naar werk van anderen die wel verschil hebben gezien tussen centrale en gewone stofzuigers. Sly vond minder deeltjes (in aantal) bij centraal stofzuigen, en Rønberg vond dat de concentratie katallergeen na centraal stofzuigen beduidend lager was dan na gewoon stofzuigen (2,1 in plaats van 5,2 ng/m³). Van Strien meet 0,64 versus 0,91 ng/m³ na centraal en conventioneel stofzuigen, respectievelijk en vind dus voor wat betreft kattenallergeen wel degelijk een verschil.

Er is een goede verklaring voor deze schijnbaar tegenstrijdige waarnemingen. Ten eerste is de stofzuigeruitlaat niet de enige stofbron bij stofzuigen, en misschien niet eens de belangrijkste. Lopen brengt al stof in de lucht, de borstelmond van de stofzuiger doet dat ook en wellicht ook de stofzuiger(slang) die over de grond sleept.



Figuur 1 Massa van stof in de lucht bij stofzuigen in woonkamers [6]

Tijdens centraal stofzuigen neemt de stofconcentratie toe (figuur 1) terwijl er zeker geen deeltjes uit de uitlaat in de binnenlucht kunnen komen. Dit toont aan dat die andere stofbronnen inderdaad van belang zijn. In tegenstelling tot centraal stofzuigen zouden er bij conventioneel stofzuigen deeltjes uit de uitblaas in de kamer kunnen komen. Maar grotere deeltjes (meer dan 5 micrometer) worden zeer efficiënt afgevangen door stofzakken, en die grotere deeltjes dragen juist sterk bij aan de totale massa. Een deeltje van 5 micrometer weegt net zoveel als duizend deeltjes van 0,5 micrometer. Van Strien heeft de massa stof in de lucht gemeten. Kortom, als een gewone stofzak grote deeltjes goed filtert, dan mag Van Strien inderdaad geen verschil zien tussen centraal stofzuigen en gewoon stofzuigen.

Dat wordt anders als je naar kleine deeltjes kijkt. Deeltjes kleiner dan twee micrometer worden vaak minder goed afgevangen door stofzuigerzakken. Bij gewoon stofzuigen

komen dan ook veel meer deeltjes in de lucht dan bij centraal stofzuigen, zoals Sly inderdaad gemeten heeft. Katallergeen bestaat vooral uit deeltjes kleiner dan 2 micrometer [2]. Dus bij centraal stofzuigen moet dus minder kattenallergeen in de lucht komen. Zowel Van Strien als Rønberg hebben dat ook gemeten.

De conclusie die Van Strien trekt, namelijk dat centraal stofzuigen geen voordelen biedt als het gaat om de reductie van allergieopwekkend stof is dus te kort door de bocht. Zijn bewering klopt als het gaat om grote deeltjes (5 micrometer en groter), maar voor kleine deeltjes biedt een centraal stofzuigersysteem wel degelijk enig soelaas. Van Strien had dit ook gevonden als hij deeltjes had geteld, in plaats van ze te wegen.

Van Strien besteedt weinig aandacht aan de stofpiek tijdens schoonmaken, het onderwerp van deze studie. Zijn onderzoek geeft niet aan welke bron deze piek veroorzaakt: lopen door de bediener van de stofzuiger, de beweging van de stofzuigermond over de vloer, of het slepen van de stofzuiger(slang) over de vloer.

Ten slotte is de spreiding in de meetresultaten van Van Strien erg groot. Een mogelijke verklaring daarvan is dat tijdens het onderzoek de bewoners in de kamers aanwezig waren. Afhankelijk van het aantal bewoners en hun activiteiten kan dit een sterke invloed hebben op het stofniveau.

Voor ons onderzoek trekken we de volgende lessen uit Van Striens werk:

- We moeten deeltjes tellen en niet wegen
- Voorafgaand aan de meting van een activiteit moet de meetkamer in rust zijn
- Geen andere personen of verstoringen in de meetruimte tijdens de meting
- Het is belangrijk de bijdrage van afzonderlijke handelingen vast te stellen

Verder blijkt dat tijdens stofzuigen de uitblaas relatief weinig deeltjes van 5 micrometer genereert en daarom niet de focus van het onderzoek moet hebben.

2 Methode

Tijdens het onderzoek is gemeten aan de opwerveling van stof tijdens stofzuigen en stofwissen in de kamer van één van de medewerkers van TNO TPD. Deze kamer (figuur 2) heeft een marmoleum vloer en is ongeveer de helft van de werkdag bezet, waarbij met enige regelmaat ook anderen de kamer bezoeken. Met zeven planten en het nodige papier maakt de kamer een wat rommelige indruk, een 'worst case' als het gaat om kantoorhygiëne.

Tijdens de meting is in eerste instantie het normale schoonmaakprogramma voortgezet. De schoonmaakdienst was op de hoogte van de test en voerde het 5/10 programma strak uit. Tijdens de test werd de duur van de schoonmaakactie vastgelegd, maar in eerste instantie niet exact de handelingen. De handelingen van overige aanwezigen werden wel nauwgezet gelogd, zodat de invloed van verschillende handelingen op het aantal deeltjes in de lucht goed was na te gaan.

Op het bureau was een MetOne Laser Counter opgesteld (figuur 2), die in vier kanalen het aantal deeltjes telde van 0,3; 0,5; 1 en 5 micrometer. Uit overleg met de leverancier blijkt dat de precieze definitie van de deeltjesgrootte als volgt is:

- 0,3: aantal deeltjes tussen 0,3 en 0,5 micrometer
- 0,5: aantal deeltjes tussen 0,5 en 1 micrometer
- 1: aantal deeltjes tussen 1 en 5 micrometer
- 5: aantal deeltjes tussen 5 en 10 micrometer

Gedurende één minuut werd een debiet van 1 cf/min (kubieke voet per minuut) door de meter geleid, zodat daarna bekend was hoeveel deeltjes er in een kubieke voet zaten (aantal/cf). Door vermenigvuldigen met 35 verkrijgt men het aantal deeltjes per kubieke meter.

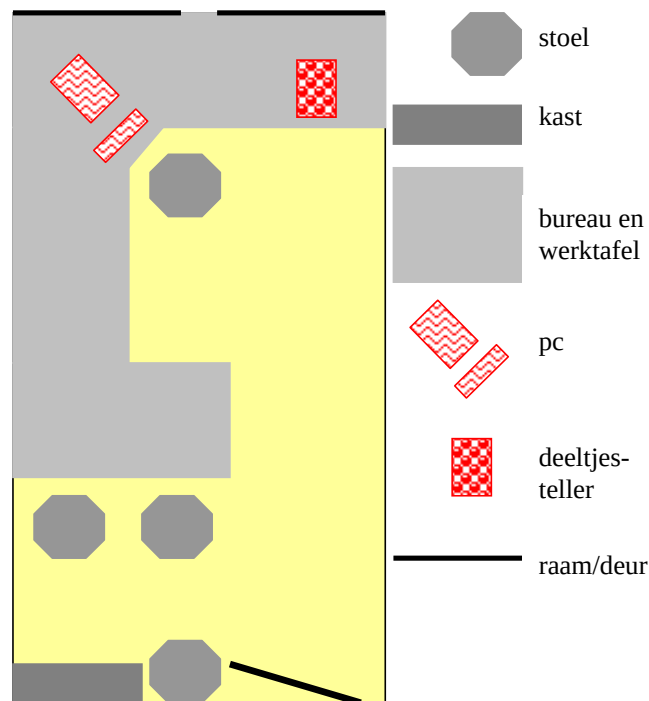


Fig. 2 Indeling van het meetkantoor met legenda. Het kantoor heeft een marmoleum vloer, er staan zeven planten en ligt het nodige aan papieren.

2.1 Validatie van de meetmethode

Omdat bekend is dat veel omstandigheden een grote invloed kunnen hebben op de deeltjesconcentratie is een voorstudie gedaan. Het doel daarvan was

- een werkwijze vast te stellen
- de reproduceerbaarheid daarvan vast te stellen
- na te gaan of zinvolle verschillen te meten zijn

2.1.1 Werkwijze

Een typisch resultaat van een deeltjestelling in het kantoor (figuur 3) laat zien dat alleen de concentratie van de grotere deeltjes (5 micrometer) sterk verandert bij activiteiten zoals schoonmaken, binnenlopen en verlaten van de ruimte. Zie ook tabel 1. Zeer intensieve handelingen verhogen wel tijdelijk het aantal deeltjes van 1 micrometer, maar het effect van subtielere handelingen is niet op te merken, zo blijkt ook uit de literatuur [7]. Deze studie richt zich daarom uitsluitend op de deeltjes van 5 micrometer.

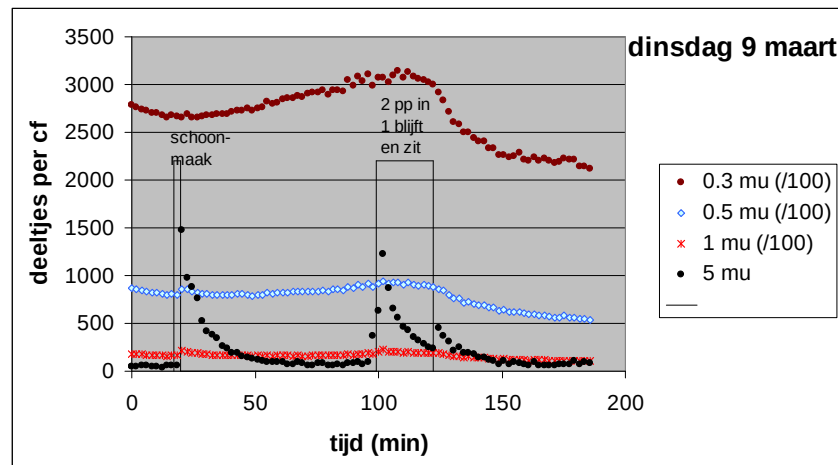


Fig. 3 Typisch resultaat van een deeltjestelling in een kantoor toont de effecten van schoonmaak; het binnenkomen en werken van twee personen ('2 pp in'), en het vertrek van een persoon ('1 blijft en zit'). Het aantal deeltjes per kubieke foot (cf) is weergegeven als functie van de tijd. Voor de kleine deeltjes (0,3; 0,5 en 1 micrometer) is dit aantal gedeeld door honderd om zo alle gegevens op een leesbare manier in één grafiek te brengen. De echte concentratie van 0,3 micrometerdeeltjes ligt dus tussen 200.000 en 300.000 deeltjes per kubieke foot, en wordt niet beïnvloed door de activiteiten.

Tabel 1 Voorbeeld van een procentuele toename in deeltjesconcentraties (zie fig. 3)

	Schoonmaken	Twee personen lopen kamer in	Een van beiden verlaat kamer
0,3 – 0,5 μm	-1	1	-4
0,5 – 1,0 μm	7	6	-4
1,0 – 5,0 μm	28	23	-1
5,0 – 10,0 μm	2784	1363	57

De concentratie van 5 microneeltjes in de kamer is relatief constant als de kamer lang leeg is (10 tot 100 deeltjes/cf). In het ideale geval zouden we per proef steeds moeten

wachten tot deze achtergrondconcentratie is bereikt voordat het effect van een handeling gemeten wordt. Dat is echter niet te realiseren in een werkkamer die gewoon wordt gebruikt. Het blijkt echter dat een bepaalde handeling altijd leidt tot een vrijwel gelijke *toename* in deeltjesconcentratie, onafhankelijk van de concentratie vlak voor de handeling. Zie bijvoorbeeld figuur 4. We rapporteren daarom in het vervolg de toename in deeltjesconcentratie als gevolg van een handeling (zoals binnenlopen, gaan zitten, stofwissen). Die toename is berekend als de hoogst gemeten waarde vlak na de handeling minus de laagst gemeten waarde vlak ervoor, zie ook het voorbeeld in figuur 4.

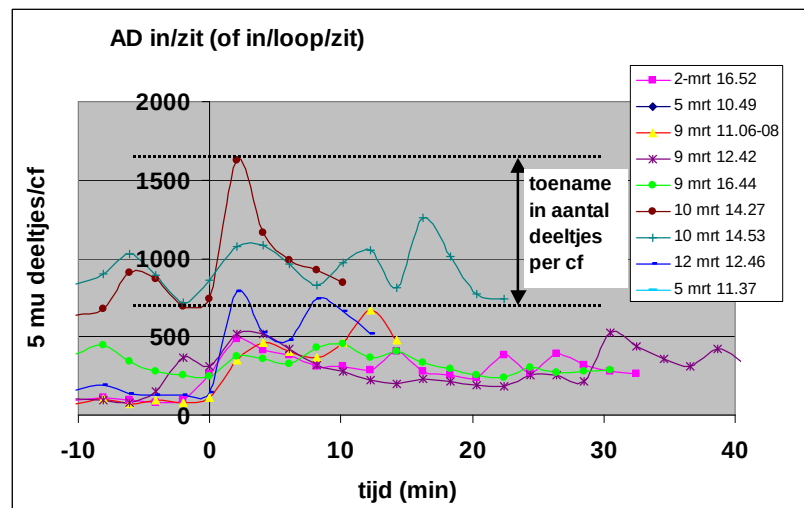


Fig. 4 Deeltjesconcentratie (5 micrometer) bij het binnenlopen en gaan zitten van de standaard gebruiker van de kamer (AD). De toename in deeltjesconcentratie door de handeling is gemeten als de hoogst gemeten waarde vlak na de handeling minus de laagst gemeten vlak ervoor.

2.1.2 Reproduceerbaarheid en onderscheidend vermogen

Verskillende handelingen zijn meermalen gemeten (Tabel 2). De spreiding in gemeten deeltjestoename per handeling is vrij groot, tussen 25 en 60 procent van het gemiddelde. Maar de verschillen tussen verschillende handelingen zijn zo groot, dat ze significant zijn (wiskundig gezien betekenisvol), ondanks de grote spreidingen.

Tabel 2 Overzicht van toename in 5 microneeltjes/cf bij verschillende handelingen

actie	gemiddelde (aantal/cf)	stdev ¹ (aantal/cf)	stdev/gemiddelde (%)	aantal metingen
inlopen + zitten	460	240	52	11
2x inlopen + zitten	570	190	33	2
3x inlopen + zitten	1160	360	31	8
deur open/dicht	40	10	25	3
in- en uitlopen	160	80	50	5
opstaan en uitlopen	220	130	59	10
rijden (verzitten)	490	200	41	5
10 x verzitten	1730			1

¹ stdev: standaarddeviatie

2.1.3 Handelingen en deelhandelingen

De deeltjestoename bij een complexe handeling zoals 'inlopen en gaan zitten' is groter dan bij een van de handelingen afzonderlijk, zoals in- en uitlopen (respectievelijk 460 en 160 deeltjes per cf, Tabel 2). De optelsom van de toenames als gevolg van alle deelhandelingen komt goed overeen met de totale toename (figuur 5).

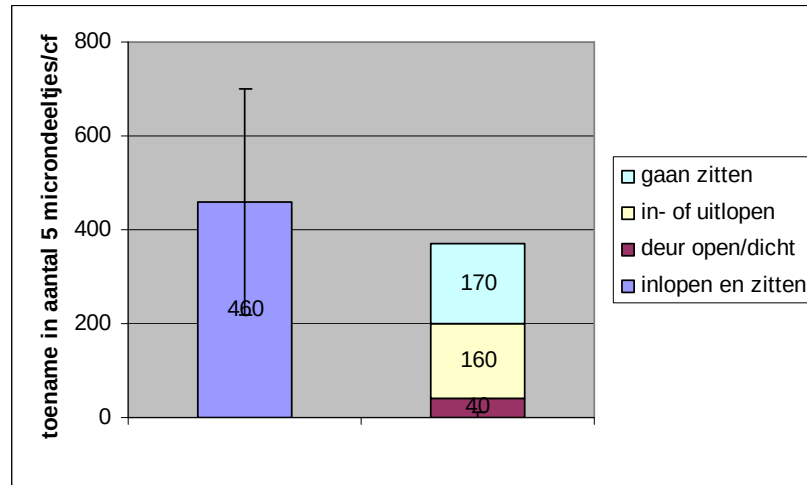


Fig. 5 Vergelijking tussen de gemeten waarde voor een complexe handeling (inlopen en zitten, links) en de som van de deelhandelingen (rechts)

De handeling 'inlopen en gaan zitten', bijvoorbeeld, bestaat uit de deelhandelingen 'deur openen', 'lopen' en 'gaan zitten'.^a De som van de deeltjestoename daardoor is $40 + 160 + 170 = 370$ deeltjes/cf. De gemeten toename van bij de totale handeling is 460 ± 240 . Binnen de meetfouten klopt deze som.^b Het effect van deelhandelingen opgeteld is dus gelijk aan het effect van de totale handeling. Omgekeerd: als het effect van de totale handeling en dat van alle deelhandeling op één na bekend zijn, dan is het effect van die ene deelhandeling te berekenen.

Dat is handig, want niet alle deelhandelingen zijn apart uit te voeren. Zo is het niet mogelijk om een stofzuigermond over de vloer te bewegen zonder tegelijk rond te lopen, terwijl de deeltjestoename door het bewegen van de stofzuigermond als zodanig wel heel interessant is. Dat is dus te berekenen uit de totale toename minus die door het rondlopen.

2.1.4 Rondlopen

Speciale aandacht is nodig voor de (deel)handeling rondlopen. Het ligt voor de hand dat langer lopen leidt tot een grotere toename in de deeltjesconcentratie. Dit is inderdaad gemeten (figuur 6), en opvallend genoeg is een bijzonder goed lineair verband gevonden. Per minuut langer rondlopen, komen er bijna 200 deeltjes/cf bij. Trek je de lijn terug naar 0 minuten rondlopen (dus alleen inlopen), dan klopt dit ook erg goed met de gemeten waarde voor inlopen.

De bijdrage van de rondlopende persoon zelf is ongeveer driekwart van het totaal. Dit is gemeten door die persoon te hullen in cleanroomkleding, waarna de toename is

^a We gaan ervan uit dat eenmaal 'gaan zitten' een tiende van de deeltjes genereert van 10 keer gaan zitten, dus $1730/10 = 170$ deeltjes/cf.

^b Een ander voorbeeld: '3x inlopen en gaan zitten' bestaat uit 'deur openen', 5 keer 'in/uitlopen' en 1 keer 'gaan zitten', dus $40 + 5 \times 160 + 170 = 1010$, wat goed vergelijkt met de gemeten waarde van 1160 ± 360 .

stofconcentratie nog maar een kwart was van de toename in gewone kleding. Dit is een op zich weinig verrassend effect: in cleanrooms is de mens de belangrijkste stofbron, zelfs in cleanroomkleding. Het roept wel de vraag op waarom we zoveel aandacht besteden aan de vloer, terwijl het merendeel van het stof, althans bij rondlopen, daar niet vandaan komt. Deze vraag wordt in de discussie nader besproken.

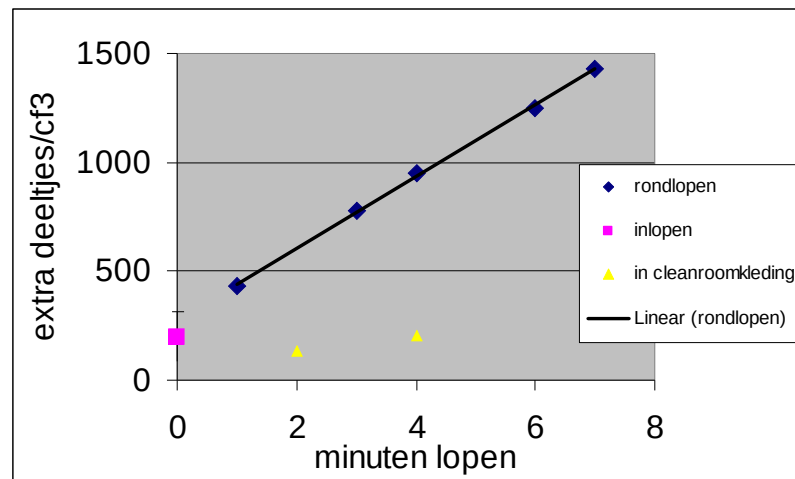


Fig. 6 De toename in het aantal deeltjes door inlopen en rondlopen in gewone kleding en in cleanroomkleding

2.1.5 Schoonmaken

Tijdens de validatie van de meetmethode is de meetkamer een aantal malen schoongemaakt volgens het normale schoonmaakprogramma, om de (werk)dag met verschillende extra taken per dag. Geregistreerd is hoe lang de taak duurde en hoeveel deeltjes er extra in de ruimte kwamen (figuur 7). Omdat een schoonmaker altijd rondloopt, is die toename vergeleken met de toename door rondlopen.

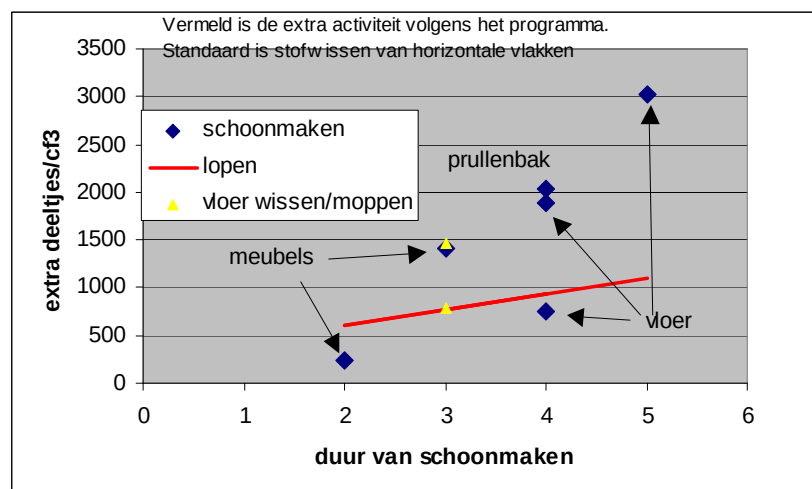


Fig. 7 De toename in het aantal deeltjes door verschillende schoonmaakhandelingen vergeleken met de toename door rondlopen door de normale gebruiker.

De deeltjestoename varieert sterk per meting. Eén meting met een toename van meer dan 10.000 deeltjes/cf is overigens niet getoond in figuur 7 omdat de extra taak het wissen

van de vensterbanken was en het vermoeden bestaat dat de schoonmaakster tijdens die handeling de meter (vrijwel) heeft geraakt.

Langer schoonmaken leidt tot meer deeltjes in de lucht en in de meeste metingen leidt schoonmaken tot hogere deeltjesconcentraties dan rondlopen. Toch is uit deze metingen lastig af te leiden hoeveel stofdeeltjes opwervelen door specifieke handelingen, vooral vloerreiniging. Daarom is een meetprogramma opgesteld dat uitsluitend is gericht op vloerreiniging. Figuur 7 toont de eerste twee resultaten daarvan (gele driehoekjes), die inderdaad consistenten lijken dan de eerste metingen.

2.1.6 *Conclusies van de validatie van de meetmethode*

Deeltjestellingen met de MetOne levert zinvolle conclusies op over de stofgeneratie door allerlei activiteiten (handelingen) in een gewoon kantoor met harde vloer. Belangrijk is wel dat de handelingen goed geregistreerd zijn en dat de metingen meermalen herhaald worden.

Hoeveel deeltjes een deelactiviteit in de lucht brengt (op ademhoogte voor een zittende persoon) is te meten, maar alleen met ‘modelmetingen’ is na te gaan wat de precieze bronnen zijn (kleding, meubels, vloer). Het is overigens zelfs mogelijk om te achterhalen hoeveel een bepaalde deelhandeling in de lucht brengt door het effect van een totale handeling en van alle andere deelhandelingen te meten.

Hoe langer een handeling duurt (rondlopen, schoonmaken), des te meer stof komt er in de lucht. Bij vergelijkingen moet met deze factor rekening worden gehouden of er voor worden gecorrigeerd.

3 Resultaten: op zoek naar de bron van het stof

Doel van dit (deel)onderzoek is om vast te stellen hoeveel stof verschillende droge reinigingsmethoden voor harde vloeren opwervelen en welke deelhandelingen daarvoor verantwoordelijk zijn, dit alles in een zo realistisch mogelijke kantoor situatie.

Uit het werk van Van Strien (zie inleiding) weten we bovendien het volgende.

- We moeten deeltjes tellen en niet wegen
- Voorafgaand aan de meting van een activiteit moet de meetkamer in rust zijn
- Geen andere personen of verstoringen in de meetruimte
- Het is belangrijk de bijdrage van afzonderlijke handelingen vast te stellen.

Om dit doel onder de genoemde randvoorwaarden te bereiken is in hetzelfde kantoor als waar de validatie plaatsvond (zie hoofdstuk 2) het schoonmaakprogramma aangepast. Om de dag is alleen de vloer gereinigd en wel met één van de volgende methoden:

- stofwissen met oliegeïmpregneerde doekjes.
- stofzuigen met een al enkele jaren gebruikte professionele Nilfisk stofzuiger.
- stofzuigen met een verlengde slang om een centraal stofzuigstelsel te simuleren (figuur 8).

Zie bijlage A voor een nadere beschrijving en foto's van de gebruikte materialen. Alle keren is de reiniging uitgevoerd door een ervaren, SVS-getrainde schoonmaakster van een schoonmaakbedrijf, dat het genoemde kantoor in dagelijks onderhoud heeft. De metingen zijn uitgevoerd met de MetOne deeltjesteller, 's ochtends rond half acht, een uur voordat de kantoorgebruiker binnenkwam.



Fig. 8: 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. De vloer is met marmoleum bedekt.

Naast de metingen aan de complete schoonmaakhandelingen zijn ook metingen uitgevoerd om het effect van deelhandelingen vast te stellen, en wel door de stofzuiger direct onder de stofmeter te plaatsen, en door te meten tijdens het lopen met de stofzuigerbuis door de kamer, met de stofzuigermond net boven de vloer, of juist er gewoon op.

3.1 Resultaten van de complete handelingen

De metingen aan de complete reinigingshandelingen zijn om praktische redenen in serie uitgevoerd (eerst vijf keer A, dan vijf keer B, dan vier keer). Het effect van '3x inlopen' geldt als referentie, om na te gaan of een trend de metingen verstoort.

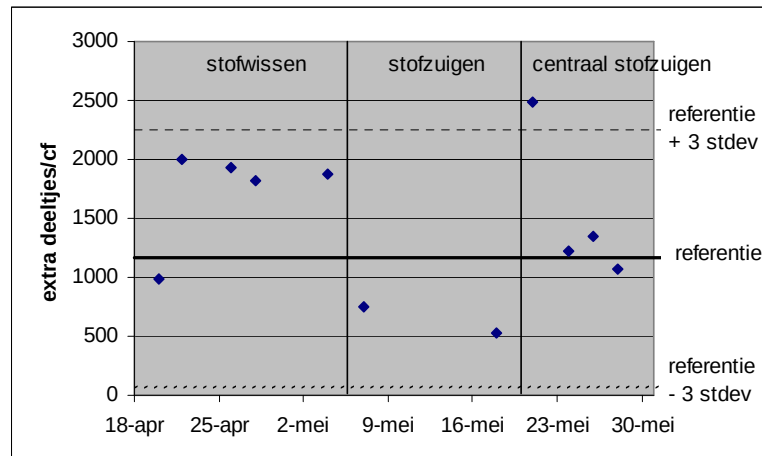


Fig. 9 Toename in 5 micron deeltjes bij de referentie-actie '3x inlopen'. Gemiddelde toename: 1160/cf, standaarddeviatie 362/cf ('stdev'), 8 metingen.

Er is geen trend te zien in de deeltjestoename door '3x inlopen' (fig. 9). In één geval is de gemeten toename groter dan de referentie + drie maal de standaarddeviatie. Er is geen reden voor de afwijking bekend en de gemeten waarde voor centraal stofzuigen wijkt niet af van de overige resultaten. Daarom is ook dit meetpunt gehandhaafd.

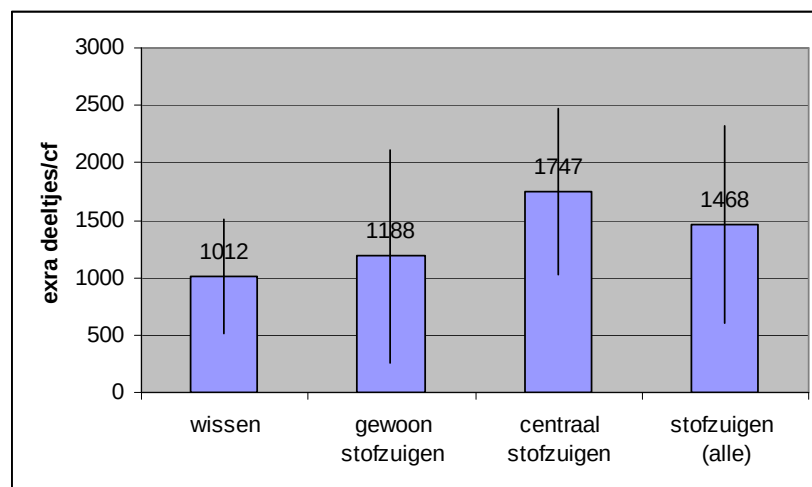


Fig. 10 Toename in 5 micron deeltjes tijdens twee minuten vloerreiniging. De labels geven het gemiddelde aan, de verticale lijnen de standaarddeviatie.

Twee tot drie minuten vloerreinigen veroorzaakt een flinke piek in het aantal vijf micron deeltjes in de lucht (figuur 10), tot wel 1500 deeltjes/cf.^c De spreiding in de meetresultaten is groot met een standaarddeviatie tussen 50 en 80 procent van het

^c Vergelijk: Het gemeten maximum is 2600 deeltjes/cf ofwel 90000/m³, terwijl achtergrondconcentraties liggen tussen 10 en 100 deeltjes/cf (350 à 3500/m³).

gemiddelde. Mede daardoor is er geen significant verschil vastgesteld tussen stofwissen, stofzuigen en centraal stofzuigen. Maar vergeleken met alle stofzuigmetingen blijkt dat stofwissen ongeveer een derde minder stof opwerfelt (1000 ± 500 versus 1500 ± 800 deeltjes/cf). Volgens een eenzijdige Student t-test is dit verschil met 85% waarschijnlijkheid significant.

3.1.1 Snelheid van reinigen

De tijd die nodig was voor het schoonmaken is uitgedrukt in minuten, en daarmee niet exact bepaald. Stofwissen was in twee minuten afgerond, stofzuigen in twee à drie en centraal stofzuigen duurde wat langer vanwege het onhandige manoeuvreren met de lange stofzuigerslang.

Met een oppervlak van 15 m^2 komt dit neer op een uurprestatie voor stofwissen van 450 m^2 per uur en voor stofzuigen van 300 m^2 per uur, beide voor een bezet kantoor. De lineaire, voorwaartse bewegingssnelheid kan geschat worden door aan te nemen dat het oppervlak steeds eenmaal is aangeraakt. De wisser trekt banen van 55 cm en de stofzuiger van 30 cm, zodat in beide gevallen de lineaire snelheid ongeveer 25 cm per minuut bedraagt. De werkelijke snelheid zal nog iets hoger liggen door overlappende banen en tijdverlies bij het lopen.

Beide handelingen zijn met vergelijkbare snelheid uitgevoerd. Die snelheid zit aan de top van wat gemeten is in eerder onderzoek over stofopwerveling [4].

3.2 Bijdragen van deelhandelingen

3.2.1 Uitblaas

Centraal stofzuigen lijkt meer deeltjes op te werfelen dan stofzuigen met een gewone stofzuiger. Dit wijst er op dat de uitblaas een relatief kleine bron is voor deeltjes van 5 micron. Experimenten met een stilstaande stofzuiger onder de deeltjesteller onderbouwen deze conclusie. Aanzetten van de stofzuiger levert geen piek in deeltjes van 5 micrometer, alleen een rustige toename in zeer kleine deeltjes (figuur 11). Dit is in volledige overeenstemming met de literatuur (zie inleiding).

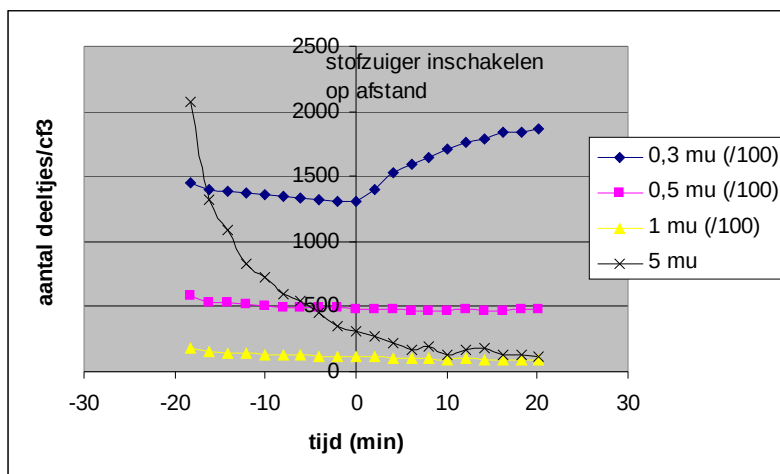


Fig. 11 Extra deeltjes als gevolg van de uitblaas van de stofzuiger. Alleen op het aantal deeltjes van 0,3 micrometer is een invloed te zien, al is het absolute aantal niet betrouwbaar wegens calibratieproblemen.

3.2.2 *Lopen met materieel*

Stofwissen en –zuigen duurde twee tot drie minuten. Volgens figuur 6 zou dit moeten resulteren in een toename van het aantal deeltjes met 550 tot 750/cf door het rondlopen. De extra bewegingen van het zuigen en het bukken, leiden wellicht tot grotere toenames. Dit is onderzocht door de schoonmaakster met de buis van de stofzuiger een stofzuigbeurt te laten simuleren, zonder dat het mondstuk daarbij de vloer aanraakte (figuur 12). Daarbij kwamen in totaal 700 ± 100 extra deeltjes/cf vrij (4 metingen), net zoveel als bij gewoon rondlopen.

Fig. 12: Hoeveel deeltjes vrijkomen door het lopen van de schoonmaakster en de bewegingen die zij maakt is gemeten door het stofzuigen te simuleren met alleen de buis in de hand. Metingen met het mondstuk juist boven en gewoon op de vloer geven een indicatie van de hoeveelheid deeltjes die vrijkomen door het schuiven van het mondstuk over de vloer (deze situatie is gefotografeerd)



3.2.3 *Schuiven van het mondstuk*

Lopen met stofzuigbuis en tegelijkertijd bewegen van het mondstuk over de vloer (fig. 12) geeft een veel sterkere opwerveling van deeltjes, 2100 ± 600 /cf (4 metingen). De deelhandeling ‘schuiven met het mondstuk over de vloer’ veroorzaakt dus ongeveer 1400 deeltjes/cf^d, ongeveer 500 deeltjes/cf/min. Dit demonstreert het belang van het directe fysieke contact tussen een object en de vloer voor de opwerveling van deeltjes. Overigens is dit effect deels te voorkomen door de stofzuiger aan te zetten, immers dan komen er slechts 1500 deeltjes/cf in de lucht. Kortom, de stofzuiger zuigt ongeveer de helft op van het stof dat het mondstuk opwerfelt^e.

3.2.4 *Nieuwe meetkamer*

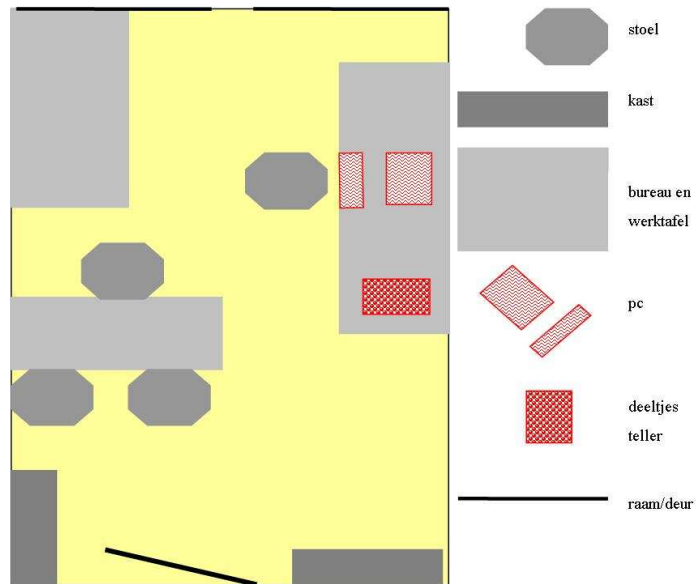
De metingen zijn voortgezet in een ander kantoor, vanwege de sloop van het gebouw waar de eerste metingen in zijn verricht. Het vloertype is in beide kantoren gelijk, maar in tegenstelling tot het eerste kantoor kent het tweede kantoor geen actieve ventilatie, is relatief kort in gebruik (4-8 maanden) en is anders ingericht (figuur 13). Ook de gebruiker is een ander.

In dit relatief schone kantoor is de bijdrage van rondlopen aanmerkelijk kleiner, 200 ± 20 deeltjes/cf in drie minuten. In rust is de concentratie van 5 microneeltjes gelijk aan het eerdere kantoor (10 tot 100 deeltjes/cf). Kennelijk is de nieuwe ruimte aanmerkelijk schoner.

^d Dit is berekend door van de gemeten 2100/cf de bijdrage van het rondlopen, 700/cf af te trekken.

^e Met de stofzuiger uitgeschakeld komen er 2100 deeltjes vrij per cf, minus 700/cf door lopen, is 1400/cf. Schakel de stofzuiger in, en het wordt 1500/cf minus 700/cf = 800/cf, ruwweg de helft van 1400/cf.

Fig. 13 Overzicht van het tweede kantoor (ook met marmoleum vloer) met legenda. De tafel linksachter ligt vol papier, de rest is relatief leeg.



3.2.5 Invloed stofzuigermond

Om een indruk te krijgen of de stofzuigermond van belang is bij het opwerpen van stof - zonder een poging te doen daarbij alle op de markt aanwezige stofzuigermonden te testen - is de stofopwerveling gemeten van een huishoudelijke, een professionele en een cleanroomstofzuiger met rubber flappen. Zie bijlage A voor foto's en nadere beschrijving.

In dit kantoor werpt niet alleen lopen, maar ook het bewegen van de professionele stofzuigermond minder deeltjes op, namelijk $1600 \pm 400/\text{cf}$ (Tabel 3), dan in de eerdere situatie ($2100 \pm 600/\text{cf}$). Dat neemt niet weg dat we een goede onderlinge vergelijking kunnen maken in het nieuwe kantoor.

Dan blijkt dat er significante verschillen zijn als de borstelmond gebruikt wordt. De huishoudelijke borstelmond rust voor een deel op een wielje, waardoor de druk op de vloer geringer is, en constanter. Dit leidt tot een halvering van de stofopwerveling ten opzichte van de professionele stofzuigermond, die volledig op de borstels rust. Overigens is die borstel al veel langer in gebruik, wat door slijtage en opbouw van fijn stof ook nadelig kan werken. Verreweg de slechtste resultaten zijn behaald met de cleanroomstofzuiger, die rubber flappen heeft in plaats van een borstel. Daarbij moet worden vermeld dat die mond is gebruikt als een normale stofzuigermond, met heen- en weer bewegingen. Als gewerkt was volgens de bedoelde methode, namelijk alleen trekken naar de persoon toe met de mond gekanteld om alle stof op te vangen, waren er volstrekt andere resultaten geboekt.

Zonder borstel of flap is er nauwelijks sprake van stofopwerveling, wellicht ongeveer 100 deeltjes per cf meer dan lopen alleen veroorzaakt, ook al raakt in beide gevallen een wielje en bij de huishoudelijke stofzuiger de bodem van de mond ook de vloer.

Tot slot valt ook hier op dat het aanzetten van de (huishoudelijke) stofzuiger weliswaar het opwerpen van deeltjes beperkt, maar zeker niet geheel uitsluit. Na aftrekken van de bijdrage voor lopen zien we ook hier dat ongeveer de helft van de deeltjes die de borstels opwerft, wordt opgezogen.

Tabel 3 De invloed van stofzuigermondten* (aantal deeltjes extra per kubieke foot)

	Huishoudelijk		Professioneel	Cleanroomstofzuiger	
	Met borstel	zonder	Met borstel	Met flappen	Zonder
Zonder zuigen	930 ± 30	300 ± 30	1600 ± 400	4000 ± 2600	300 ± 40
Met zuigen	670 ± 120	Niet bepaald	Niet bepaald	Niet bepaald	Niet bepaald

* 3 minuten (=de duur van het stofzuigen) lopen in deze meetserie: 200-300 deeltjes/cf extra

3.2.6 Slang en machine

In het nieuwe kantoor is vastgesteld dat het slepen van de slang en het heen en weer rijden van de stofzuiger geen meetbare invloed had op het stofniveau van 5 microneeltjes in de meetkamer. De bewegingen zijn verricht door een proefpersoon in de open deur van dit kantoor, wat leidt tot een toename van enkele honderden deeltjes per cf. In een alternatieve meetopzet is drie minuten rondgelopen met de huishoudelijke stofzuigmachine, zonder slang of borstel. Dit leidde tot een stofpiek die niet verschilde van gewoon rondlopen. De conclusie luidt dat de slang en stofzuigerkast een bijdrage leveren die verwaarloosbaar is.

3.2.7 Optelsom

Stofzuigen veroorzaakt een toename in aantal deeltjes van ongeveer 1500/cf (5 micron groot), ongeveer 50000/m³ of 40 microgram/m³^f. Bij lopen en tegelijk bewegen van het mondstuk op de vloer (fig. 14), komen nog meer deeltjes in de lucht (op 80% significant). De bijdrage van de uitblaas op het aantal 5 microneeltjes is niet significant, net als die door het rondrijden met een stofzuiger en het slepen van de slang.

Voor vloerwissen is de situatie eenvoudiger, daar kunnen alleen het rondlopen en het fysieke contact tussen stofwisser en vloer bijdragen aan het totaal van 1000 deeltjes/cf. De laatste bijdrage is niet gemeten, maar is te schatten op 300 deeltjes/cf in drie minuten, dus ongeveer 100 deeltjes/cf/min. Dat is veel minder dan de (borstel van) de stofzuigermond, ongeveer 20% ervan.

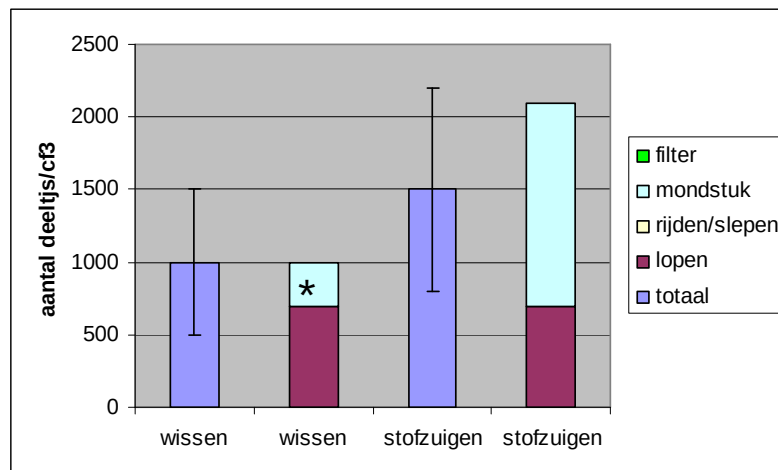


Fig. 14 Bijdrage van verschillende deelhandelingen aan het totale aantal deeltjes van 5 micron dat extra in de lucht komt tijdens schoonmaken. *: berekend; de bijdrage van rijden/slepen van de slang is niet gemeten; die van het filter (ofwel de uitblaas) ligt onder de detectielimiet van ca. 40 deeltjes/cf.

^f Voor deeltjes tussen 5 en 10 micron is een gemiddelde van 8 genomen (zwaardere tellen harder mee in massa), en als dichtheid is 1500 kg/m³ gebruikt

4 Discussie en conclusies

Metingen met een deeltjesteller in een kantoor met harde vloer laten eenduidig zien dat allerlei activiteiten veel invloed hebben op deeltjes van rond de 5 micrometer (micron). Dat is zorgelijk, want deeltjes van die afmetingen bevatten ongezonde biologische contaminanten zoals bacteriën, schimmels en de gifstoffen daarvan, en ook allergenen. Juist deeltjes van 5 micron blijven redelijk lang zweven, zodat een wolk daarvan om de lopende mens heen ontstaat. De mensen ademen die deeltjes in en kunnen daar hinder van ondervinden of zelfs ziek van worden.

Er zijn twee belangrijke oorzaken van de stofwolk, de concentratieverhoging door menselijke activiteiten. Aan de ene kant is dat de kleding en huid van de mens, aan de andere kant zijn dat allerlei andere aanrakingen van stoffige oppervlakken. De metingen die we hier hebben uitgevoerd geven inzicht in het relatieve belang van die twee bronnen.

Het blijkt dat de absolute toename van het aantal deeltjes door een handeling (menselijke activiteit) altijd vergelijkbaar is, onafhankelijk van het aantal deeltjes dat al in de lucht zweefde. Ook is aangetoond dat het effect op de deeltjesconcentratie van deelhandelingen optelbaar is. Hierbij merken we wel op dat de spreiding in de meetresultaten aanzienlijk kan zijn, van 15% voor eenvoudige handelingen tot 80% voor complexere handelingen. De spreiding is hier uitgedrukt als de standaarddeviatie gedeeld door het gemiddelde.

De grote spreiding kan veroorzaakt worden door de matige reproduceerbaarheid van de handeling, door concentratieverschillen op de aangeraakte oppervlakken, verschillen in luchtstroming en dus afvoersnelheid en dergelijke. In het algemeen zijn de effecten van bepaalde handelingen zo groot en vaak zo verschillend dat ondanks de grote spreiding significante verschillen aantoonbaar zijn.

4.1 Lopen en zitten

Een ruimte inlopen veroorzaakt ongeveer 160 extra deeltjes per kubieke foot (160/cf, ofwel $160 \times 35 = 5600/\text{m}^3$, ongeveer 2 microgram/ m^3) voor wat betreft de deeltjes tussen 5 en 10 micron. Daarna rondlopen veroorzaakt steeds circa 200 extra deeltjes/cf/min ($3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), onafhankelijk van andere invloeden.

In cleanroomkleding gehuld komen er heel wat minder deeltjes vrij, 70 deeltjes/cf bij inlopen en 35 deeltjes/cf/min bij rondlopen. Kortom, ongeveer driekwart van de deeltjes van 5-10 micron bij gewoon rondlopen komt van de kleding en de huid van mensen, en slechts een kwart van de vloer.

Toch maken we ons druk over de deeltjes van de vloer en niet die van de kleding en de huid. Daar zijn goede redenen voor. Huidschilfers en alles wat daarop zit zijn in het algemeen niet schadelijk voor de persoon zelf. Het immuunsysteem zal normaliter goed werken voor de eventuele schadelijke ziektekiemen die op de eigen huid zitten – anders zou een mens voortdurend ziek zijn. Bij anderen kunnen die kiemen mogelijk wel kwaad.

Verder is textielstof niet ongezond. Meegesleept stof, dat eerder van de vloer of andere objecten op één of andere manier in de kleding is gekomen kan dat wel zijn, maar ook daar mag worden aangenomen dat de mens zijn kleding wel gewassen zou hebben als hij er ernstig last van had. Zo vindt men kattenallergeen in scholen en kantoren. De katten komen daar niet, dus de allergenen moeten zijn meegesleept uit de huizen van katteneigenaars. Die hebben daar kennelijk geen last van (anders hadden ze geen kat,

mag men denken), maar dat kan anders liggen voor andere scholieren, leraren of kantoorwerkers.

Tot slot draagt het stof vanaf de vloer ongeveer een kwart bij aan de hoeveelheid stof op ademhoogte (meethoogte). Het valt aan te nemen dat stof van stoelen en van bureauoppervlakken relatief belangrijker is. In ieder geval is na schoonmaken van de bureaus de hoeveelheid stof in de ademzone tientallen procenten lager [3]. Kortom, schoonmaken van bureaus heeft zeker een positieve invloed op de hoeveelheid deeltjes rondom een werkende mens, ook al genereert die zelf ook steeds deeltjes.

In meerdere gevallen is aangetoond dat doeltreffend schoonmaken de blootstelling aan biocontaminanten van onveilige niveaus kan terugdringen naar veilige niveaus [1]. Terugdringen naar nul is onmogelijk, niet alleen omdat direct na schoonmaken oppervlakken weer beginnen te vervuilen, maar ook omdat er andere bronnen zijn zoals kleding en het ventilatiesysteem.

4.1.1 Zitten

Net als eerder onderzoek [3] zien we hier dat gaan zitten op een met stof beklede stoel significant bijdraagt aan de hoeveelheid stofdeeltjes op ademhoogte, ongeveer 5 microgram/m³. De concentratie van 5 tot 10 micron deeltjes bij een werkende persoon is hier gemeten als 2 tot 7 microgram/m³. (Ver)zitten draagt dus significant bij aan deze concentratie en het regelmatig stofzuigen van stoffen stoelbekleding, dat die bijdrage ongeveer zou halveren [3] is dus zeker van belang.

4.2 Stofwissen versus stofzuigen

De hamvraag van dit onderzoek was of stofwissen dan wel stofzuigen kan worden benoemd als ‘gezond’ schoonmaken van harde vloeren. Het antwoord op die vraag is dat stofwissen de voorkeur heeft omdat het minder stof opwerft en zeker zo goed de deeltjes verwijdt.

In totaal komen bij stofwissen ongeveer 1000 deeltjes van 5 tot 10 micron per kubieke voet (cf) vrij in drie minuten tijd. Bij stofzuigen is dat in dezelfde tijd ongeveer 1500 deeltjes/cf. Statistisch gesproken is dat met 85% betrouwbaarheid meer dan bij stofwissen. Overtuigender is het verschil als we de bijdrage van het rondlopen aftrekken van de beide metingen. Dan zien we dat de schoonmaakbeweging bij wissen ongeveer 100/cf/min bijdraagt, en zuigen een 270/cf/min, bijna drie keer zo veel.

Als de stofzuiger uit staat en de mond over de vloer beweegt komen er 500/cf/min (professionele stofzuiger) in de lucht, vijf keer zo veel opwerveling als de wisbeweging. Dat is opmerkelijk, want ook bij bureaureiniging is deze verhouding gevonden tussen klamvochtig (stofbindend) en droog reinigen. Respectievelijk werd 2,5 en 12,9% van het stof van een oppervlak in de lucht gebracht door een robotarm [4]. Stofwissen geeft minder stofoverlast door het stofbindende karakter van de methode.

Aannemende dat de analogie met bureaureiniging verder opgaat, vermindert de stofopwerveling als de snelheid van de beweging naar beneden gaat. Bij vloerwissen kan dezelfde productie worden gehaald door de snelheid te halveren en de breedte te verdubbelen. Bij stofzuigen kan dat niet, omdat de werking van de stofzuigermond dan teveel achteruitgaat.

Omdat stofwissen verder een lichtere, ARBO-technisch meer verantwoorde methode is dan stofzuigen, en naar verwachting 100% effectief (in analogie met bureaureiniging met een oliegeïmpregneerd doekje) is het eenduidige advies om dagelijks onderhoud van harde vloeren uit te voeren met een stofwismethode. **De voorkeur gaat daarbij uit naar een brede wisser met een rustig werktempo.**

4.2.1 *Centraal stofzuigen*

Bij centraal stofzuigen komen evenveel deeltjes van vijf tot tien micron vrij als bij gewoon stofzuigen. Net als uit literatuurgegevens blijkt dat de uitblaas bij een gewone stofzuiger nauwelijks deeltjes van 5 micron bevat. Een HEPA-filter heeft dus niet veel invloed op het aantal 5-micron-deeltjes dat vrijkomt, simpelweg omdat een goede (dubbele) stofzuigzak daarin al voldoende effectief is. Overigens kan er wel verschil zitten in de verschillende stofzakken [8]. Nog belangrijker is dat stofzak zeer goed aansluit op de buis [9]. De 'upright' stofzuigers met textielen stoffilters, zoals die in de Angelsaksische wereld gebruikelijk zijn, voldoen overigens veel slechter, omdat die ook grotere deeltjes doorlaten [10].

Verder komen deeltjes kleiner dan 0,5 micrometer door vrijwel elke normale stofzak heen. Voor dergelijke kleine deeltjes kan een HEPA-filter (of centraal stofzuigen) wel nuttig zijn, hoewel niet iedere stofzuiger met een HEPA-filter voldoet [8], vanwege aansluitproblemen en overbelasting van het HEPA-filter.

4.2.2 *Stofwolk door reinigen*

Van Strien [6] meet dat tijdens 20 minuten stofzuigen de totale deeltjesmassa in de lucht toeneemt met 30 tot 60 microgram/m³, ofwel 1,5 tot 3 µg/m³/min. Dit komt goed overeen met eerdere resultaten bij professioneel schoonmaakonderhoud (7 microgram per kuub in drie minuten, ofwel 2 µg/m³/min [3]). Bovenstaande resultaten zijn gemeten op tapijt, waarbij is gezogen zonder borstels.

Bij het hier gerapporteerde onderzoek bedraagt de grootste toename, die voor stofzuigen, ongeveer 500/cf/min ofwel 7 µg/m³/min. Dit is meer dan bij stofzuigen van tapijt, wat toe te schrijven is aan het opwervelen van stofdeeltjes door de borstelmond. Hoewel de stofzuiger ruwweg de helft van de opgewervelde deeltjes opzuigt, ontstaat er bij het stofzuigen van harde vloeren een opvallend grote stofwolk.

4.3 **Hoe komen deeltjes van de vloer?**

Stof kan op twee manieren van de vloer (of andere oppervlakken) afkomen: door opwaaien en door direct fysiek contact (trillen, schuiven en wegschieten). Fysiek contact gaat overigens altijd gepaard met een luchtstroming rond het bewegende object. Enkele van de uitgevoerde metingen geven aanwijzingen over het belang van beide mechanismen voor deeltjesopwerveling.

Het openen van een deur heeft een nauwelijks meetbare invloed op het aantal deeltjes vier meter verderop op ademhoogte (zittend persoon), ongeveer 1 microgram per kuub. Als een persoon langdurig in de deuropening zit of staat, leidt dat tot een verhoging van ongeveer 5 microgram per kuub op ongeveer 3 meter afstand. Daarbij is onduidelijk hoeveel daarvan komt door het opwervelen in een luchtstroming vanaf de vloer, en hoeveel over komt waaien uit de stofwolk rond de persoon. Ham [11] laat zien dat open deuren een belangrijke bron zijn van deeltjes in cleanrooms en OK's, maar vanwege de veel sterkere luchtstromingen daar zijn de resultaten moeilijk te vergelijken.

Rondlopen met een stofzuigermond die vlak boven een vloer beweegt geeft niet meer stof dan gewoon rondlopen. Hoewel de zuigmond zeker een luchtstroming op het oppervlak teweeg zal brengen lijkt die dus weinig invloed te hebben op het aantal deeltjes in de lucht. Tijdens het lopen beweegt de schoen op een vergelijkbare manier door de lucht als de zuigmond in deze test. Het lijkt redelijk te veronderstellen dat ook dit weinig stof opwerft.

Daarentegen vormt de beweging van een zuigmond over de vloer (zonder dat een stofzuiger is aangesloten) een zeer sterke bron voor 5 micron deeltjes (500/cf/min) en is ook de bijdrage van stofwissen significant (100/cf/min). Lopen in cleanroomkleding

veroorzaakt ongeveer 35/cf/min. Dit is lager omdat het aangeraakte oppervlak kleiner is, 2-4 m²/min voor lopen, vergeleken met 5 tot 10 m²/min voor schoonmaken, en waarschijnlijk ook omdat bij stappen veel deeltjes niet weg kunnen van onder de plakzool van de cleanroomschoen.

Oriënterende metingen laten daarbij zien dat er zeer grote verschillen kunnen bestaan tussen verschillende borstelmondtypen. Flappen zijn ronduit ongunstig (bij gebruik als een normale stofzuiger), een wielkje om de druk op te vangen lijkt zeer nuttig, halveert mogelijk de stofopwerveling. De opwerveling kan sterk worden beperkt door stofzuigen zonder borstel of flap, maar het is dan de vraag of er dan nog goed gezogen wordt.

De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat aanraken van stoffige oppervlakken een belangrijkere bron voor deeltjes is dan een luchtstroming over datzelfde oppervlak, bij luchtsnelheden zoals die normaal voorkomen in een kantoor (ventilatie, openen deuren, menselijke beweging vlak boven het oppervlak).

4.4 Conclusies en aanbevelingen

Opnieuw is bevestigd dat gewone activiteiten zoals lopen, gaan zitten en schoonmaken, stof opwervelen en significant bijdragen aan de stofwolk rondom een kantoorwerker. Veel meer dan luchtstromingen is fysiek contact met de vloer de oorzaak van het opwervelen van stof, zoals het schuiven of slepen met een voet, borstel of flap over de vloer.

De stofzuiger is in staat om een deel van het opgewervelde stof op te zuigen, ruwweg de helft blijkt uit twee oriënterende metingen. Daardoor blijft stofzuigen een activiteit die – op harde vloeren – veel stof opwerft, significant meer dan stofwissen.

Net als bij bureaureiniging blijkt dat de ‘vochtige’ doek de stofdeeltjes beter bindt. In een sterke parallel blijkt dat ‘droge’ methoden op vloer én bureau vijf maal zoveel stof opwervelen dan ‘vochtige’ methoden.

Die parallel voortzettend valt te verwachten dat de stofopwerveling nog verder kan worden teruggedrongen door langzamer stofwissen – met een bredere stofwisser om de productie op peil te houden. Samenvattend is stofwissen van harde vloeren te prefereren boven stofzuigen omdat:

- het minder stof opwerft
- het zonder productieprobleem langzamer kan worden uitgevoerd, wat de opwerveling nog verder terugdringt.
- de efficiëntie van stofverwijdering zeer goed is

Daar komt dan nog bij dat stofwissen ook ARBO-technisch ‘gezond’ te noemen is.

Bij stofzuigen is niet, zoals traditioneel gedacht [6, 8-10], het uitlaatfilter de belangrijkste stofbron, althans voor Europese modellen. Op harde vloeren is het mondstuk de grootste bron, en het rondlopen een goede tweede. Een HEPA-filter blijft desondanks aanbevelenswaardig omdat bepaalde allergenen (vooral kat) zo klein zijn dat ze een normaal filter ongestoord doorkomen. Maar de werkelijke winst in luchtkwaliteit valt te behalen door de stofzuigermond slimmer te ontwerpen. Die effecten zijn optimaal te constateren door de stofzuigbeweging met losgekoppelde stofzuigbuis en –mond te simuleren.

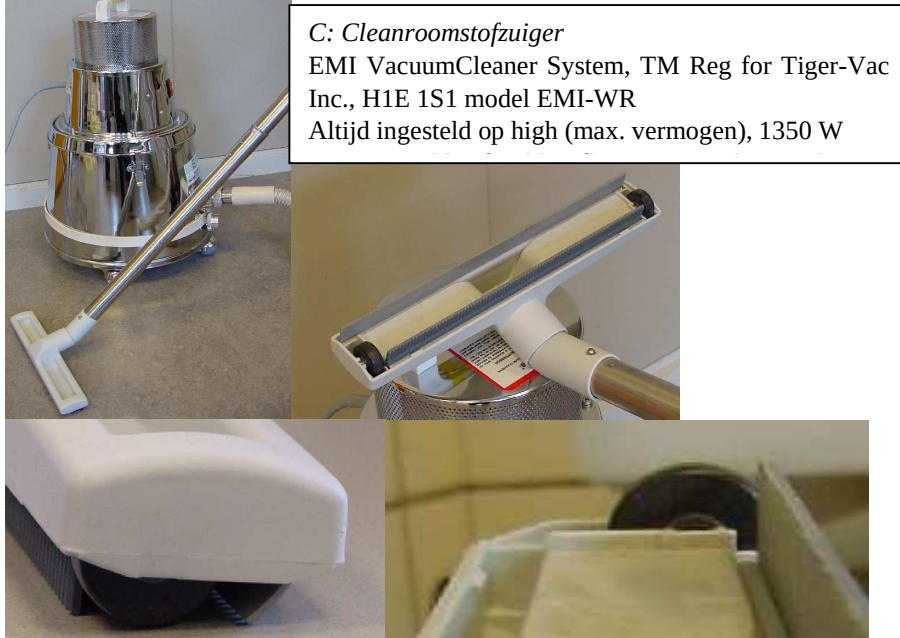
Op tapijt wordt een stofzuiger zonder borstel gebruikt. Hoewel er geen feitelijk alternatief is voor stofzuigen, kan het daarin wel van belang zijn om nader te kijken naar de potentiële reductie van stofopwerveling door een betere opbouw van het tapijt, een slimmer ontwerp van de stofzuigermond, en een rustige stofzuighandeling.

5 Referenties

- [1] AE 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 opwervelen van Fijn Stof tijdens stofverwijdering bij interieurreiniging*, SM65, TNO rapport DOI-RPT-020009, VSR, Tilburg, juni 2002
- [5] Manolis Kogevinas, Josep Maria Antó, Jordi Sunyer, Aurelio Tobias, Hans Kromhout, Peter Burney and the European Community Respiratory Health Survey Study Group, *Occupational asthma in Europe and other industrialised areas: a population-based study*, The Lancet, 353, 1999, pp 1750-4
- [6] RT van Strien e.a., *Do central vacuum cleaners produce less indoor airborne dust or airborne cat allergen, during and after vacuuming, compared with regular vacuum cleaners?*, Indoor Air, **14**, 174-77, 2004
- [7] T.L. Thatcher, D.W. Layton, *Deposition, resuspension, and penetration of particles within a residence*, Atmospheric environment, 1995, 29 (13), 1487-97
- [8] F de Blay, F. Spirlet, P Gries, S Casel, M Ott, G Pauli, *Effects of various vacuum cleaners on the airborne content of major cat allergen (Fel d 1)*, Allergy 1998 (53), 411-4
- [9] JM Hegarty, S Rouhakhsh, JA Warner, JO Warner, *A comparison of the effect of conventional and filter vacuum cleaners on airborne house dust mite allergen*, Respiratory Medicine 89, 1995, p 279-284
- [10] S Kalra, SJ Owen, J Hepworth, A Woodcock, *Airborne house dust mite antigen after vacuum cleaning*, The Lancet 336, 1990, p 449
- [11] Ph.J. Ham, Bijlage 2, *Luchttransport door open deur in operatiekamers*, TNO-Bouw; Bijlage 3, *Verspreiding van deeltjes in de operatiekamer na het openen van deuren*, TNO Bouw.

A Gebruikte materialen

Stofzuigers



C: Cleanroomstofzuiger
EMI VacuumCleaner System, TM Reg for Tiger-Vac Inc., H1E 1S1 model EMI-WR
Altijd ingesteld op high (max. vermogen), 1350 W

Breedte van zuigermond: 25 cm. Zuigermond heeft rubber flappen en wieltjes onder de zuigmond. De flappen raken de grond. De machine is enkele maanden oud.

H: Huishoudelijk

Miele HS05, model S716, max. 1800 W
Ingesteld op 1200 W. Breedte van de zuigermond: 27 cm. Vrijwel nieuw.



P: Professioneel

Nilfisk GS 90 prof. Vermogen onbekend
Breedte van de zuigermond: 28 cm
Onderhouden op 4 feb 1997



Stofwisdoeken

Novolin wispapier, wisser is 55 cm breed