

# Full paper

## Het effect van stoffigheid op huidblootstelling – een experimenteel onderzoek

Stan de Poot<sup>1</sup>

Trefwoorden: Stoffigheid, huidblootstelling, depositie, modellen, blootstellingsschatting

### Samenvatting

Stoffigheid als eigenschap van een vaste stof is een determinant van blootstelling. Terwijl de relatie tussen stoffigheid en inhalatieblootstelling al is bewezen, is het nog onduidelijk welk effect deze eigenschap heeft op huidblootstelling. Het doel van dit onderzoek was om te onderzoeken wat het effect van stoffigheid is op huidblootstelling via depositie.

Van vier vrijwilligers werden de handen in een afgesloten box blootgesteld aan vaste materialen (als stof in de lucht) met verschillende stoffigheid (calciumacetaat, zinkoxide en magnesiumsulfaat). De dermale belading van de hand werd afgenomen middels een systematische veegtechniek, waarna de hoeveelheid materiaal met atomaire-emissiespectrometrie werd bepaald.

De luchtconcentratie tijdens de experimenten was significant groter bij calciumacetaat (hoge stoffigheid) dan bij de twee materialen met lage stoffigheid ( $P < 0,0001$ ). Na de experimenten werd alleen calciumacetaat op de huid teruggevonden.

Depositie op de huid lijkt hierdoor geen belangrijke rol te spelen bij blootstelling aan niet-stoffig materiaal. Bij materiaal met hoge stoffigheid is deze route mogelijk wel belangrijk.

### Inleiding

Bij gebruik van gevaarlijke stoffen moeten bedrijven, sinds de invoering van de Europese REACH wetgeving, voldoen aan aanvullende verplichtingen omtrent het in kaart brengen van beroepsmatige blootstelling en het beoordelen van de bijbehorende gezondheidsrisico's. Naast de daggemiddelde inhalatoire blootstelling gaat tegenwoordig extra aandacht uit naar de taakgebonden inhalatoire blootstelling en dermale blootstelling. Vanuit dit perspectief zijn in de afgelopen jaren verschillende modellen ontwikkeld: zogenaamde *exposure assessment tools*. Een voorbeeld is de ECETOC-Targeted Risk Assessment tool (ECETOC-TRA) [European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, 2012] die wordt beschouwd als een Tier 1 model binnen REACH. Tier 1 modellen worden ingezet bij een eerste eenvoudige beoordeling, maar de uitkomsten zijn conservatief. Een meer realistische schatting kan worden verkregen met een geavanceerder (Tier 2) model, zoals bijvoorbeeld de Advanced REACH Tool (ART) [Tielemans *et al.*, 2011]. ART beoordeelt echter alleen blootstelling via inhalatie.

### Abstract

While the effects of dustiness on inhalation exposure are known, the relationship between dustiness and dermal exposure is still poorly understood. The goal of this study was to investigate the effects of dustiness on dermal exposure by the deposition pathway.

The hands of four volunteers were exposed to substances with varying dustiness (calcium acetate, zinc oxide, and magnesium sulphate). Dermal exposure was measured by a systematic wipe of the entire hand. The wipes were consequently analyzed by atomic emission spectrometry. The air concentration of particulate during the experiments was significantly higher for calcium acetate (high dustiness) compared to the other (non-dusty) substances ( $P < 0,0001$ ). After the experiments, only calcium acetate was detected on the skin.

It appears that deposition on skin is unlikely to be an important pathway of exposure for non-dusty solids. The dermal deposition pathway, however, cannot be ruled out for dusty materials.

Een onderzoek naar de haalbaarheid van een valide ART voor dermale blootstelling heeft aangetoond dat momenteel onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om de huidblootstelling op Tier 2 niveau te kunnen schatten en beoordelen [Brouwer, 2010]. Voor verschillende determinanten bleek de relatie met dermale blootstelling nog onduidelijk. Deze moeten, zo concludeert Brouwer, daarom verder worden onderzocht. Eén van de relaties waarover onvoldoende kennis is betreft het effect van de stoffigheid van een vaste stof op huidblootstelling.

### Stoffigheid

Stoffigheid kan worden gedefinieerd als de neiging van een vaste stof om te emitteren naar de lucht tijdens hantering of bewerking. Het is de vertaling van het Engelse begrip *dustiness*: 'the tendency of a material to emit dust into the air during handling' [Brouwer *et al.*, 2006]. De maat voor stoffigheid is de thoracale massafractie (PM10) in mg/kg testmateriaal dat vrijkomt tijdens het testen. Deze fysisch-chemische eigenschap van vaste

<sup>1</sup> Caesar Consult, Toernooveld 100, 6503CB Nijmegen; email: stan.depoot@caesar-consult.nl

stoffen is complex en onder andere afhankelijk van de dichtheid en deeltjesgrootteverdeling van het materiaal, het vochtgehalte, de aard van de adhesiekrachten die de deeltjes binden en de vorm en oppervlaktegrootte van de afzonderlijke deeltjes [Fransman *et al.* 2011; Liden, 2006].

De complexe samenhang tussen de determinanten van stoffigheid is bevestigd door Pensis *et al.* (2010) die twee meetmethoden voor stoffigheid hebben geëvalueerd. Uit deze studie is bovendien gebleken dat ook de manier waarop het materiaal bewerkt wordt (dus het type handeling of activiteit) invloed heeft op de relatie tussen stoffigheid en de hoeveelheid geëmitteerd stof. Het is dus van belang om rekening te houden met het blootstellingsscenario wanneer het effect van stoffigheid op dermale blootstelling via depositie wordt onderzocht. De invloed van stoffigheid op inhalatieblootstelling is reeds voldoende bewezen in verschillende studies [Heitbrink *et al.*, 1990; Breum *et al.*, 2003; Brouwer *et al.*, 2006]. Aan de hand van die gegevens is voor de Advanced REACH Tool een kwalitatief classificatiesysteem ontwikkeld (Tabel 1), zodat gebruikers eenvoudig de stoffigheid van een materiaal kunnen inschatten. Aan iedere stoffigheids categorie is een vermenigvuldigingsfactor toegekend die via het algoritme in ART de schatting van inhalatieblootstelling beïnvloedt [Fransman *et al.*, 2011]. Voor de relatie tussen stoffigheid en huidblootstelling bestaan enkele aanwijzingen [Hughson en Cherrie, 2002; Brouwer *et al.*, 2007], maar er zijn onvoldoende gegevens om dit te valideren.

#### Huidblootstelling via depositie

Met een conceptueel model van huidblootstelling beschrijven Schneider *et al.* (1999) drie verschillende blootstellingsroutes: (i) depositie van materiaal uit de lucht op de huid, (ii) overdracht van materiaal na contact tussen de huid en een gecontamineerd oppervlak en (iii) direct contact tussen huid en materiaal door onderdompeling, morsen of spatten.

De focus in dit onderzoek ligt op huidblootstelling via depositie. Deze route is relevant wanneer het materiaal zich (deels) in de lucht bevindt: deeltjes kunnen dan neerdalen en op de huid terechtkomen. Depositie is tijdafhanke-lijk en kan plaatsvinden bij vaste stoffen, vloeistoffen en dampen. De snelheid van depositie wordt beïnvloed door de deeltjesgrootte, dichtheid en temperatuur van de lucht. Naast deze factoren spelen ook de vochtigheid van de huid en fysieke beweging van het oppervlak een rol bij huidblootstelling via depositie [Andersson *et al.*, 2006]. Verschillende studies tonen aan dat huidblootstelling via depositie ook is geassocieerd met het proces of type activiteit waardoor emissie van materiaal naar de lucht plaatsvindt. Deze determinant is echter algemeen, moeilijk te specificeren en bovendien indirect van invloed op depositie. Over het algemeen bestaan er te weinig gegevens om eenduidige conclusies te trekken over de precieze determinanten van huidblootstelling via depositie [Marquart *et al.*, 2003].

Het doel van dit onderzoek was om het effect van stoffigheid op huidblootstelling via depositie te onderzoeken om daarmee experimentele gegevens te verschaffen voor de ontwikkeling van een tool waarmee huidblootstelling kan worden geschat. Hiervoor is een gecontroleerde omgeving ontwikkeld, een zogenaamde depositiebox, waarmee huidblootstelling via depositie is nagebootst.

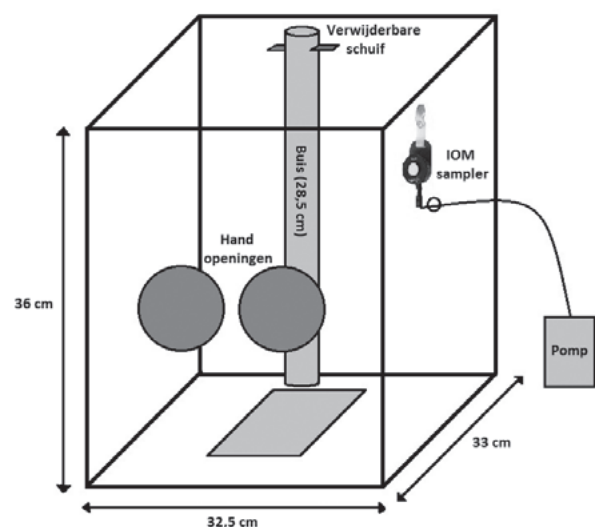
#### Methoden

Om de relatie tussen de stoffigheid van een vaste stof en huidblootstelling door depositie te onderzoeken is een experimentele onderzoeksmethode ontwikkeld waarmee de handen van vier vrijwilligers (twee mannen en twee vrouwen) zijn blootgesteld aan niet-toxische, vaste stoffen met verschillende stoffigheid.

#### Simulatie van huidblootstelling via depositie

Voor het onderzoeken van het effect van stoffigheid op huidblootstelling via depositie is een depositiebox ontwikkeld (zie Figuur 1). Deze gesloten plexiglasen box heeft in de voorzijde twee openingen met daarin een nitrilrubberen manchet. Door deze openingen plaatste de vrijwilliger de handen alvorens de teststoffen in de box werden gebracht. Gedurende de proef hield de vrijwilliger de handen stil met de palm naar boven en de vingers gestrekt.

Introductie van het testmateriaal vond plaats via een buis (lengte: 28,5 cm, doorsnede: 3,5 cm) door het midden van de bovenzijde van de box. Het ondereinde van de buis bevindt zich 7,5 cm boven de bodem waarop een metalen plaat ligt. Bovenin de buis zit een schuifje waarop aan het begin van elk experiment 5 gram testmateriaal werd geplaatst. Na het wegtrekken van dit schuifje verplaatste de substantie zich in vrije val door de buis waarna het op de metalen plaat op de bodem van de box terecht kwam. Door de impact van de stof met de bodem kwamen stofdeeltjes vrij in de lucht. Deze 'stofwolk' vormde de bron voor de gemeten luchtconcentratie en



Figuur 1 Depositiebox voor het onderzoeken van het effect van stoffigheid op huidblootstelling via depositie

voor het materiaal dat beschikbaar was voor depositie op de huid. Over een periode van 25 minuten na de eerste val werd deze handeling iedere 5 minuten herhaald. In totaal werd dus (6 keer 5 gram) 30 gram testmateriaal via de valbuis in de depositiebox gebracht. Daarna werd nog 5 minuten gewacht alvorens de handen van de vrijwilliger uit de box werden verwijderd, zonder hiermee contact te maken (om verlies van materiaal te voorkomen). Vervolgens werd de huidblootstelling gemeten.

#### Methodeontwikkeling

Gedurende de ontwikkeling van de experimentele opzet zijn verschillende tests uitgevoerd.

Om de variabiliteit van de val- of *drop* methode te onderzoeken is een experiment uitgevoerd waarbij in vijf individuele runs éénmaal 1 gram van het stoffige poeder calciumacetaat (hydraat 99%, Acros Organics, België) via de valbuis de depositiebox is binnengebracht (*single drop*). Met een Sidepak Aerosol Monitor (model AM510; TSI Inc. Shoreview, Verenigde Staten) is de luchtconcentratie (PM10) binnenin de box gemonitord. Na iedere *drop* werd de box doorgeblazen en de bodem ervan schoongemaakt. Tevens zijn tests uitgevoerd om te bepalen wat het effect van verschillende factoren van de methode (hoeveelheid materiaal per drop, het aantal *drops*, de duur van de periode tussen twee *drops* en de hoogte van de valbuis) op de luchtconcentratie binnenin de depositiebox is. Uiteindelijk is hiermee de definitieve methode voor de simulatie van huidblootstelling via depositie bepaald.

Ter controle is met een Dusttrak DRX Aerosol Monitor (model 8533; TSI Inc. Shoreview, Verenigde Staten) tijdens een test met de definitieve methode het verloop van de luchtconcentratie binnenin depositiebox gemonitord.

#### Bepalen van de stoffigheid

Voor de experimenten zijn drie verschillende materialen gebruikt; calciumacetaat (hydraat 99%, Acros Organics,

België), zinkoxide (Zoco 112 USP grade, Combined Chemical Services Ltd, Verenigd Koninkrijk) en magnesiumsulfaat (Food & Bath Grade, The Essential Oil Company Ltd, Verenigd Koninkrijk). Deze materialen zijn niet-toxisch en werden verondersteld sterk te verschillen qua stoffigheid. De stoffigheid van de drie teststoffen is subjectief beoordeeld door tien deskundigen met ruime ervaring in het schatten van blootstelling. Zij werden gevraagd om de drie stoffen te plaatsen in één van de vijf categorieën van het classificatiesysteem voor stoffigheid van vaste stoffen in ART (Tabel 1) op basis van visuele inspectie van een monster van iedere teststof.

#### Vaststellen van de luchtconcentratie

Gedurende de experimenten is de luchtconcentratie van inhaleerbaar stof binnenin de box gemeten middels een IOM sampler met voorgewogen Whatman 25mm filter van glasfiber, aangesloten op een SKC pomp (model 24-44 XR, SKC Ltd. Dorset, Verenigd Koninkrijk) met een ingestelde luchtstroom van 2,0 L/min. Gravimetrische analyse van het verzamelde materiaal op de filter is uitgevoerd met een balans van Sartorius (model KC BA100).

Met een Aerodynamic Particle Sizer (APS) Spectrometer (TSI Inc. Shoreview, Verenigde Staten) is de gemiddelde deeltjesgrootteverdeling (*particle size distribution*) van de stofdeeltjes in de lucht binnenin de depositiebox tijdens een 30 minuten durende proefblootstellingperiode gemeten. Per type materiaal werd deze meting eenmaal uitgevoerd. Bij deze metingen werden geen handen blootgesteld.

#### Metten van huidblootstelling

De huidblootstelling van de handen is bepaald met een veegtechniek zoals beschreven door Fenske *et al.* (1999). Na ieder experiment zijn de vingers, palm en rug van de hand systematisch afgeveegd met drie afzonderlijke gaasdoekjes (Premier 12 ply 7.5 x 7.5 cm, Shermond Surgical

Tabel 1 De vijf categorieën voor de classificatie van stoffigheid van vaste stoffen in de Advanced REACH Tool [Fransman *et al.*, 2011]

Categorie	Beschrijving
<i>Extremely fine and light powder</i>	A powdered product containing very fine, free flowing, light particles. This category may also contain products with a mixture of very fine particles and large particles or granules. Handling the product in its dry form results in a dust cloud that remains airborne for a long time. The product may be wind swept: e.g. magnesium stearate
<i>Fine dust</i>	A powdered product containing fine particles. This category may also contain products with a mixture of fine particles and large particles or granules. Handling the product in its dry form results in a dust cloud that is clearly visible for some time: e.g. talcum powder, carbon black
<i>Coarse dust</i>	A powdered product containing coarse particles. Handling the product in its dry form results in a dust cloud that settles quickly due to gravity: e.g. sand
<i>Granules, flakes or pellets</i>	Granules or flakes may fall apart and crumble, resulting in only a very limited amount of fine particles. Handling the product does not result in a visible dust cloud; e.g. fertilizer, garden peat, animal pellets
<i>Firm granules, flakes, pellets or solid objects</i>	Product does not result in dust emission without intentional breakage of products: e.g. firm polymer granules, granules covered with a layer of wax, a woodblock, a brick

Tabel 2 Analytische methode per teststof

	Calciumacetaat	Zinkoxide	Magnesiumsulfaat
Geanalyseerde stof	Calcium	Zink	Magnesium
Analytische methode	ICP/AES <sup>a</sup>	ICP/AES <sup>a</sup>	ICP/AES <sup>a</sup>
Detectielimiet (mg)	0,03	0,16	0,10
Recovery (%)	69,7	84,5	56,0

<sup>a</sup> ICP/AES= inductief gekoppeld plasma/atomaire emissiespectrometrie

Supply Ltd, Peacehaven, Verenigd Koninkrijk) die zijn bevochtigd met gedeïoniseerd water (1 ml). De samples werden afzonderlijk opgeslagen in een Sterilin tube (Sterilin Ltd, Newport, Verenigd Koninkrijk). Voor analyse zijn de drie afzonderlijke doekjes per hand samengevoegd tot één sample.

Om de massa van de stoffen calciumacetaat, zinkoxide en magnesiumsulfaat op de doekjes te bepalen zijn respectievelijk calcium, zink en magnesium als marker gebruikt (OSHA ID121, 2002). De samples met calciumacetaat en magnesiumsulfaat zijn eerst opgelost in geconcentreerd salpeterzuur. Voor zinkoxide is hiervoor zoutzuur gebruikt. Na oplossing zijn de samples aangevuld met gedeïoniseerd water tot een bepaald volume, waarna een aliquot van ieder sample is geanalyseerd middels 'inductief gekoppeld plasma/atomaire emissiespectrometrie' (ICP/AES).

Met proeven is de *recovery* van deze methode bepaald. Hiervoor werd een bekende hoeveelheid van een teststof op een gaasdoekje geplaatst, waarna de massa middels ICP/AES werd geanalyseerd. Deze procedure is voor elk van de drie stoffen viermaal uitgevoerd, waarna het gemiddelde resultaat per stof is gebruikt om de experimentele resultaten te corrigeren (Tabel 2).

Vóór ieder experiment vonden achtergrondmetingen plaats. Nadat de vrijwilliger de handen zorgvuldig had gewassen, afgespoeld met gedeïoniseerd water en vervolgens aan de lucht had laten drogen is het proces van monsternamen uitgevoerd zoals die ook plaatsvond na ieder experiment. Met een corneometer (DermaLab, Cortex Technology, Hadsund, Denemarken) is na iedere achtergrondmeting de huidvochtigheid gemeten.

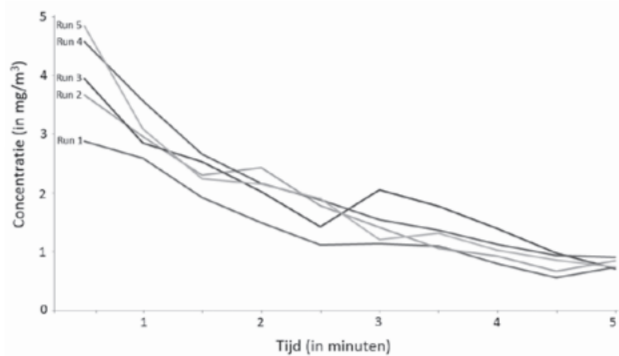
De oppervlakte van de handen is geschat middels de handomtrek en vingerdikte, die is gemeten met een digitale schuifmaat (KDP Tools Ltd., Devon, Verenigd Koninkrijk). Door de totale huidbelading te delen door deze geschatte oppervlakte van de handen is de huidblootstelling in massa stof per eenheidoppervlakte bepaald. Verdere details over de methoden van dit onderzoek zijn beschreven in onderzoeksrapport RR949 van Health and Safety Executive [Gorman Ng *et al.*, 2012].

De vrijwilligers hebben een toestemmingsverklaring gegeven en ethische goedkeuring voor deze studie werd verkregen bij de College of Life Science and Medicine Ethics Review Board van de University of Aberdeen (nummer: CERB/2010/7/528).

## Resultaten

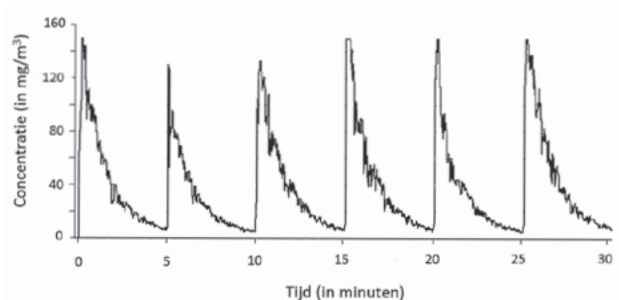
### Methodeontwikkeling en -validatie

Figuur 2 laat het verloop zien van de luchtconcentratie (PM10) in de depositiebox gedurende vijf individuele runs (*single drop*). De gemiddelde luchtconcentratie tijdens de runs lag tussen 1,44 mg/m<sup>3</sup> (run 1) en 2,08 mg/m<sup>3</sup> (run 4) en het verloop van de concentratie blijkt vergelijkbaar. De metingen zijn niet gecorrigeerd voor de achtergrondconcentratie. Deze heeft mogelijk kunnen oplopen door de korte duur van de pauzes tussen de runs en het onvoldoende schoonmaken van de depositiebox na iedere run.



Figuur 2 Concentratie calciumacetaat (PM10) in de depositiebox na introductie van 1 gram calciumacetaat (*single drop*), gemeten met Sidepak Aerosol Monitor

Het verloop van de concentratie calciumacetaat in de depositiebox tijdens de test met de definitieve methode om blootstelling via depositie te simuleren (*multiple drops*) is weergegeven in Figuur 3. De pieken corresponderen met de introductie van steeds 5 gram calciumacetaat. De luchtconcentratie in de depositiebox daalt tussen iedere *drop* tot steeds hetzelfde niveau.



Figuur 3 Concentratie calciumacetaat in de depositiebox na introductie van 6 keer 5 gram calciumacetaat (*multiple drops*), gemeten met Dusttrak DRX

Tabel 3 Stoffigheid van de teststoffen volgens het expertpanel

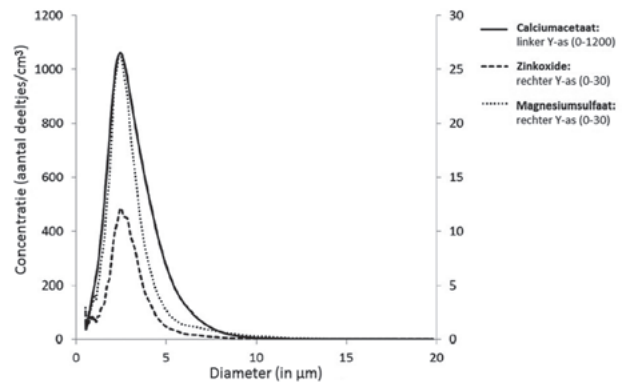
Categorie	Aantal classificaties door experts		
	Calciumacetaat	Zinkoxide	Magnesiumsulfaat
<i>Extremely fine and light powder</i>	4	3	0
<i>Fine dust</i>	6	1	0
<i>Coarse dust</i>	0	6	1
<i>Granules, flakes or pellets</i>	0	0	3
<i>Firm granules, flakes, pellets or solid objects</i>	0	0	6
Totaal	10	10	10

#### Stoffigheid van de testmaterialen

Het resultaat van de beoordelingen van de stoffigheid door de tien experts is samengevat in Tabel 3. Calciumacetaat wordt tamelijk consistent geassocieerd als het materiaal met de hoogste stoffigheid. Magnesiumsulfaat wordt als een laag-stoffig materiaal geassocieerd. Zinkoxide zit er qua stoffigheid tussenin, al is het door drie van de tien experts als *extremely fine powder* beoordeeld.

#### Luchtmetingen: concentratie stof in de positiebox

De resultaten van de luchtmetingen zijn weergegeven in Tabel 4. Bij ieder experiment is de concentratie van de stof in de lucht binnenin de depositiebox gemeten. De concentratie calciumacetaat in de lucht binnen de depositiebox bleek zeer hoog (gemiddeld 44 mg/m<sup>3</sup>) in vergelijking met de concentratie zinkoxide (gemiddeld 0,57 mg/m<sup>3</sup>) en magnesiumsulfaat (0,92 mg/m<sup>3</sup>). De luchtconcentratie van calciumacetaat blijkt statistisch significant hoger dan zowel magnesiumsulfaat als zinkoxide (p<0,05). Er is geen significant verschil aange-



Figuur 4 Grootteverdeling van de deeltjes in de lucht binnenin de depositiebox tijdens de simulatie van blootstelling via depositie

toond tussen de luchtconcentratie magnesiumsulfaat en zinkoxide (p>0,05). Figuur 4 toont de deeltjesgrootteverdeling van de verschillende testmaterialen in de depositiebox. Opvallend is dat deze verdeling voor elk

Tabel 4 Concentratie en deeltjesgrootte van stof in de lucht en depositie van deeltjes op de huid tijdens de experimenten

		Calciumacetaat	Zinkoxide	Magnesiumsulfaat
<b>Luchtconcentratie (mg/m<sup>3</sup>)<sup>a</sup></b>	N	4	4	4
	AM	44,0	0,57	0,92
	SD	14,1	0,38	0,86
	Min-Max	26,5 - 62,5	<0,1 - 1,0	<0,1 - 2,2
<b>Diameter van stofdeeltjes in lucht (µm)</b>	GM	2,31	2,02	2,12
	GSD	1,61	1,69	1,62
<b>Belading van huid</b>	N	4	4	4
	Aantal metingen > detectielimiet	2	0	0
	Range (µg/cm <sup>2</sup> )	<0,07 <sup>b</sup> - 3,35	<0,5 <sup>b</sup>	<0,32 <sup>b</sup>

AM= rekenkundig gemiddelde; SD= standaarddeviatie; Min-Max= minimum-maximum; GM= geometrisch gemiddelde; GSD= geometrische standaarddeviatie

<sup>a</sup> Bonferroni's test laat zien dat de luchtconcentratie van calciumacetaat significant groter is dan zinkoxide en magnesiumsulfaat (P < 0,05) maar dat er geen significant verschil bestaat tussen zinkoxide en magnesiumsulfaat (P > 0,05)

<sup>b</sup> Lager dan de detectielimiet van ICP/AES



van de materialen ongeveer gelijk is (zie ook Tabel 4 voor de diameter van de stofdeeltjes). Het aantal deeltjes in de lucht was wel vele malen groter voor calciumacetaat.

#### *Huidmetingen: depositie van stof op de handen*

Tien van de twaalf metingen van de huidblootstelling die zijn uitgevoerd na de experimenten waren onder de detectielimiet. De blootstelling aan zinkoxide en magnesiumsulfaat bleek in geen enkel geval te detecteren. Vanwege het grote aantal waarden onder de detectielimiet is op deze gegevens geen verdere statistische analyse uitgevoerd. De meetresultaten suggereren wel dat de huidblootstelling aan calciumacetaat het grootst was.

### **Discussie**

In dit onderzoek zijn de materialen calciumacetaat (fijn poeder), zinkoxide (grover poeder) en magnesiumsulfaat (grove korrels) op stoffigheid beoordeeld met als doel de rol die depositie bij huidblootstelling speelt beter in kaart te brengen. Deze beoordeling is uitgevoerd door een panel van tien deskundigen met ruime ervaring in het schatten van blootstelling. Zij hebben hiervoor de subjectieve, kwalitatieve beoordelingsschaal gebruikt die is ontwikkeld door Fransman *et al.* (2011). Aangezien fabrikanten meestal geen informatie verschaffen over de stoffigheid van hun producten moeten gebruikers van blootstellings- en risicobeoordelingsmodellen het materiaal vaak op dezelfde subjectieve wijze beoordelen.

De beoordeling van stoffigheid door de deskundigen komt niet overeen met de gemeten luchtconcentraties. Vooral de stoffigheid van zinkoxide werd ruim overschat. Op basis van de uiterlijke kenmerken van dit materiaal werd een hoge stoffigheid verwacht, maar uit de metingen blijkt dat de stofdeeltjes slechts in zeer geringe mate in de lucht geraken. Voor een realistische inschatting van de stoffigheid blijkt het uitvoeren van alleen een visuele inspectie ontoereikend.

In zowel inhalatie- als huidblootstellingsmodellen is de stoffigheid van een materiaal (of een afgeleide determinant zoals het effect van *local exhaust ventilation* in de ECETOC-Tra Worker assessment tool voor dermale blootstelling) een belangrijke determinant van blootstelling, waardoor deze eigenschap van grote invloed kan zijn op de uitkomst van deze modellen. Een overschatting van de stoffigheid, zoals in deze studie het geval was voor zinkoxide, leidt tot een extra verhoging van de vaak toch al conservatieve uitkomst. Andersom is het denkbaar dat de gebruiker de stoffigheid onderschat en dat daardoor tevens een onderschatting van het risico ontstaat.

De arbeidshygiënist die zich bezig houdt met het maken van blootstellingschattingen en risicobeoordelingen (aan de hand van modellen) dient zich bewust te zijn van de complexiteit van de stoffigheid als eigenschap van een chemische vaste stof. De kans op over- of onderschatting van het risico is kleiner wanneer de gebruiker de stof visueel kan beoordelen. Maar dan nog blijkt het beslist essentieel om de output van een model met behoedzaamheid te interpreteren.

Ondanks de aanzienlijke verschillen in deeltjesgrootte van de geteste materialen (fijn poeder, grof poeder, korrels) bleek dat de deeltjesgrootteverdeling van het stof dat tijdens de experimenten de luchtconcentratie in de depositiebox vormde vergelijkbaar was voor elk van de drie testmaterialen. Dit wijst erop dat onder invloed van een gecontroleerde externe kracht een bepaalde fractie van een stof (op basis van diameter) in de lucht kan geraken ongeacht de deeltjesgrootteverdeling van het materiaal zelf. Dit wordt in de meeste inhalatie- en huidblootstellingsmodellen niet onderkend.

Meten van stoffigheid is onder andere mogelijk met de *rotating drum* en de *continuous single drop* methoden [European Committee for Standardization, 2006]. De resultaten van stoffigheidstesten met deze methodieken blijken echter afhankelijk van verschillende factoren, zoals de gebruikte apparatuur, de duur van de test, de massa van het materiaal en de gemeten fractie stof. Bovendien geven deze methoden niet altijd dezelfde rangorde van geteste stoffen [Back en Schmidt, 2008; Pensis *et al.*, 2010]. Hiermee is de keuze voor een stoffigheidstest van grote invloed op de onderzoeksresultaten.

Om eenvoudige kwantificatie van stoffigheid van een materiaal mogelijk te maken is de ontwikkeling van één algemene, gestandaardiseerde meetmethode hard nodig. Hiermee zou met meer zekerheid de stoffigheid te bepalen zijn, zodat met modellen ook blootstelling nauwkeuriger kan worden geschat. Want ondanks dat het kwalitatieve ART classificatiesysteem voor stoffigheid van vaste stoffen (Fransman *et al.*, 2011; Tabel 1) gevalideerd is, blijkt het bij gebruik toch eenvoudig tot fouten te kunnen leiden.

De manier waarop een vaste stof bewerkt wordt kan de relatie tussen stoffigheid en de hoeveelheid geëmitteerd stof en daarmee de huidblootstelling beïnvloeden [Marquart *et al.*, 2003; Pensis *et al.*, 2010]. Met de experimentele methode van dit onderzoek is alleen het dumpen van een poeder nagebootst. Het is niet duidelijk welke effect deze methode heeft gehad op de gevonden relatie tussen stoffigheid en huidblootstelling. Onduidelijk is ook welke rol eventuele statische geladenheid van de plexiglazen box hierin heeft gespeeld.

Om een beter beeld te krijgen van de onderzochte relatie is het voor toekomstige studies aangeraden om verschillende blootstellingsscenario's te hanteren bij het nabootsen van huidblootstelling via depositie. De relatie tussen stoffigheid en huidblootstelling via depositie kan mogelijk ook kwantitatief inzichtelijk worden gemaakt wanneer middels de *rotating drum* en de *continuous single drop* methoden de stoffigheid van de teststoffen wordt bepaald en de selectie van de teststoffen hierop wordt gebaseerd.

## Conclusie

Deze studie laat zien dat er een positief verband bestaat tussen de mate van stoffigheid van een materiaal en huidblootstelling ten gevolge van depositie. Deze relatie wordt bepaald door de luchtconcentratie van de stof: de hoogste concentratie in de depositiebox ontstond na het introduceren van het meest stoffige materiaal (calciumacetaat). De luchtconcentratie calciumacetaat bedroeg tijdens de experimenten gemiddeld 44 mg/m<sup>3</sup> en was ruim 40 keer groter dan de luchtconcentratie zinkoxide en magnesiumsulfaat, materialen met een lagere stoffigheid. Na de experimenten werd alleen het relatief stoffige calciumacetaat als gevolg van depositie op de huid gedetecteerd.

Ondanks de beperkte hoeveelheid gegevens in dit onderzoek lijkt depositie geen substantiële route voor huidblootstelling voor niet-stoffige vaste stoffen of materiaal dat bestaat uit grove korrels. Materiaal met een hoge stoffigheid blijkt pas bij relatief hoge stofconcentraties in de werkatmosfeer (enkele tientallen milligrammen per m<sup>3</sup>) te resulteren in een meetbare depositie van stof op de huid.

## Dankwoord

Ik wil Melanie Gorman Ng en collega's van het Institute of Occupational Medicine bedanken voor alle hulp tijdens het onderzoek, Paul Scheepers voor zijn rol als studieleider en collega's Daan Huizer en Joost van Rooij van Caesar Consult Nijmegen voor hun bijdrage aan het manuscript.

## Literatuur

Andersson K, Roed J, Byrne M, Hession H. (2006) Deposition of contaminant aerosol on human skin. *J Environ Radioactiv*; 85: 182-195

Back S, Schmidt E. (2008) Determining the dustiness of powders—a comparison of three measuring devices. *Ann Occup Hyg*; 52: 717–25

Breum NO, Schneider T, Jorgensen O, Valdbjorn Rasmussen T, Skibstrup Eriksen S. (2003) Cellulosic building insulation versus mineral wool, fiberglass or perlite: installer's exposure by inhalation of fibers, dust, endotoxin and fire-retardant additives. *Ann Occup Hyg*; 47: 653–69

Brouwer DH, Gijsbers J, Veldhof R. (2007) An experimental study to determine the effect of amount handled and dustiness on dermal exposure during manual transfer of powder. Gepresenteerd op 'Occupational and environmental exposures of skin to chemicals', 17–20 juni 2007, Golden Colorado, VS; Poster 51

Brouwer DH, Links IH, De Vreede SA, Christopher Y. (2006) Size selective dustiness and exposure; simulated workplace comparisons. *Ann Occup Hyg*; 50: 445–52

Brouwer M. (2010) The Dermal Advanced REACH Tool: 2010. Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne Symposium 2010, 24–25 maart 2010, Zeist, Nederland

European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals. (2012) TR 114: 2012. ECETOC TRA Version 3:

Background and rationale for the improvements. Brussel: European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals

European Committee for Standardization. (2006) EN 15051: 2006. Workplace atmospheres-measurement of the dustiness of bulk materials-requirements and test methods. Brussel: European Committee for Standardization. ISBN 0 580 48345 2

Fenske RA, Simcox NJ, Camp JE, Hines CJ. (1999) Comparison of Three Methods of Assessment of Hand Exposure to Azinphos-Methyl (Guthion) During Apple Thinning. *Appl Occup Environ Hyg*; 14: 618-623.

Fransman W, van Tongeren M, Cherrie JW. (2011) Advanced Reach Tool (ART): development of the mechanistic model. *Ann Occup Hyg*; 55: 957-79

Gorman Ng M, de Poot S, Schmid K, Lamb J, Cowie H, van Tongeren M. (2012) HSE RR949: 2012. Investigation of determinants of dermal exposure to enable development of a Dermal Advanced REACH Tool (DART). Londen: Health and Safety Executive

Heitbrink WA, Todd WF, Cooper TC, O'Brien DM. (1990) The application of dustiness tests to the prediction of worker dust exposure. *Am Ind Hyg Assoc J*; 51: 217–23

Hughson GW, Cherrie JW. (2002) TM/02/03: 2002. Identification of practical maximum levels of dermal dust exposure for zinc oxide and zinc metal dusts. Edinburgh: Institute of Occupational Medicine

Liden G. (2006) Dustiness testing of materials handled at workplaces. *Ann Occup Hyg*; 50: 437–9

Marquart J, Brouwer D, Gijsbers J, Links I, Warren N, Van Hemmen J. (2003) Determinants of dermal exposure relevant for exposure modelling in regulatory risk assessment. *Ann Occup Hyg*; 47: 599-607

OSHA. (2002) ID-121: Metal & metalloid particulates in workplace atmospheres (atomic absorption). Internet site OSHA. Beschikbaar via <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id121/id121.html> (toegang 21 jan 2014)

Pensis I, Mareels J, Dahmann D, Mark D. (2010) Comparative evaluation of the dustiness of industrial minerals according to European standard EN 15051, 2006. *Ann Occup Hyg*; 54: 204–16

Schneider T, Vermeulen R, Brouwer DH, Cherrie JW, Kromhout H, Fogh CL. (1999) Conceptual model for assessment of dermal exposure. *Occup Environ Med*; 56: 765–73

Tielemans E, Warren N, Fransman W, Van Tongeren M, McNally K, Tischer M, Ritchie P, Kromhout H, Schinkel J, Schneider T, Cherrie JW. (2011) Advanced REACH Tool (ART): overview of version 1.0 and research needs. *Ann Occup Hyg*; 55: 949–56