

NANOMATERIALEN IN ONDERHOUDSWERK: BEROEPSRISICO'S EN PREVENTIE

Nanotechnologie is aan een snelle opmars bezig en het gebruik van nanomaterialen wordt steeds gangbaarder in zowel ons dagelijks leven als onze werkomgeving. Dit betekent dat meer werknemers die onderhoudswerkzaamheden uitvoeren aan nanomaterialen blootgesteld zouden kunnen worden. Ondanks voortdurend onderzoek ontwikkelt de nanotechnologie zich sneller dan de aanwas van kennis van de gezondheids- en veiligheidseffecten van nanomaterialen. Er zijn nog steeds een groot aantal onbekende factoren, wat vragen oproept ten aanzien van de evaluatie van risico's voor de veiligheid en gezondheid op het werk.

Dit nummer van E-facts legt uit hoe werknemers nanomaterialen kunnen tegenkomen tijdens het verrichten van onderhoudswerkzaamheden en geeft informatie over wat er gedaan moet worden om potentiële gevallen van blootstelling te voorkomen.

1 Inleiding

1.1 Wat zijn nanomaterialen?

Nanomaterialen zijn materialen bestaande uit deeltjes die een of meer dimensies in het bereik van 1 tot 100 nm bezitten ⁽¹⁾, een schaal die vergelijkbaar is met atomen en moleculen. Ze kunnen natuurlijk zijn, zoals wanneer ze afkomstig zijn van vulkaanas, of ze kunnen het onbedoelde gevolg van menselijk handelen zijn, zoals wanneer ze afkomstig zijn van de uitlaatgassen van dieselmotoren. Echter, een groot aantal nanomaterialen wordt doelbewust vervaardigd en in de handel gebracht, en dit nummer van E-facts gaat met name in op deze nanomaterialen.

Hoewel nanomaterialen agglomeraten of aggregaten kunnen vormen die groter zijn dan 100 nm, kunnen deze uiteenvallen en kunnen er nanomaterialen uit vrijkomen. Derhalve moeten deze agglomeraten/aggregaten bij iedere risicobeoordeling ook in aanmerking worden genomen.

De specifieke (innovatieve) eigenschappen van geproduceerde nanomaterialen bieden vele voordelen voor talrijke toepassingen. Geproduceerde nanomaterialen kunnen hetzij zelfstandig hetzij in combinatie met andere materialen worden gebruikt om, bijvoorbeeld, het volgende te bereiken

1. miniaturisatie (bijv. van elektronische apparatuur);
2. gewichtsverlaging (als gevolg van een verbeterde materiaalefficiëntie); en
3. verbeterde functionaliteiten van materialen (bijv. verbeterde duurzaamheid, geleidingsvermogen, thermische stabiliteit, oplosbaarheid, verminderde frictie).

Welke typen geproduceerde nanomaterialen mogelijk op werkplekken aanwezig zijn, is afhankelijk van de typen processen die worden uitgevoerd, de typen producten die worden geproduceerd en de materialen die als productiemiddel of als verwerkingshulpmiddel worden gebruikt.

(¹) Volgens de Aanbeveling van de Europese Commissie [1]:

- Een "nanomateriaal" is "een natuurlijk, incidenteel of geproduceerd materiaal dat uit deeltjes bestaat, hetzij in ongebonden toestand of als een aggregaat of agglomeraat en waarvan minstens 50 % van de deeltjes in de gekwantificeerde grootteverdeling een of meer externe dimensies bezitten binnen het bereik van 1 nm tot 100 nm. De gekwantificeerde grootteverdeling wordt uitgedrukt als het aantal objecten binnen een bepaald groottebereik gedeeld door het totale aantal objecten."
- "In specifieke gevallen en waar nodig vanuit milieu-, gezondheids-, veiligheids- of mededingingsoogpunt kan de drempelwaarde van 50 % voor de gekwantificeerde grootteverdeling worden vervangen door een drempel tussen 1 en 50 %."
- "In afwijking van het bovenstaande dienen fullerenen, grafeenvlokken en enkelwandige koolstofnanobuizen met één of meer externe dimensies beneden 1 nm als nanomaterialen te worden beschouwd."

1.2 Onderhoud

Regelmatig onderhoud is van essentieel belang om de veiligheid en betrouwbaarheid van apparatuur, machines, gebouwen en bouwwerken (zoals bruggen of tunnels) evenals van de arbeidsomgeving te waarborgen. Onderhoudswerk omvat een groot aantal verscheidene activiteiten binnen zeer



Fotograaf: Dovile Cizaite

verschillende sectoren en typen arbeidsomgevingen. Onderhoudswerk bestaat doorgaans uit het onderhouden, repareren, controleren, testen, aanpassen of vervangen van onderdelen en kan ook verwijzen naar, bijvoorbeeld, het openen van gesloten productiesystemen, het vervangen van filters, het verwijderen van verflagen, stralen, slijpen, zandstralen, het aanbrengen van plamuur, het aanbrengen van verf, isoleren en het repareren van een spanningsnet, gas- of watervoorziening. Aangezien onderhoudswerk in zekere mate in alle sectoren en arbeidsomgevingen wordt verricht, lopen onderhoudswerkers meer risico dan andere werknemers om blootgesteld te worden aan een groot aantal verschillende beroepsrisico's.

Onderhoud kan proactief zijn – om storingen in machines of gebouwen en onveilige arbeidsomstandigheden te voorkomen – of reactief – om apparatuur of modules in gebouwen te repareren. Onderhoudswerkzaamheden kunnen derhalve deel uitmaken van de dagelijkse werkprocedure van een werknemer, bijvoorbeeld het reinigen en controleren van een spuitpistool aan het einde van een werkdag, of bijzondere werkzaamheden die worden uitgevoerd als een apparaat of machine niet naar behoren werkt. Voor werknemers in de bouw kan onderhoudswerk hun hoofdactiviteit zijn.

Nuttige informatie over onderhoud en veiligheid en gezondheid op het werk is te vinden op de website van EU-OSHA op <https://osha.europa.eu/nl/topics/maintenance>.

1.3 Nanomaterialen in onderhoudswerk

Hoewel nanotechnologie een relatief nieuwe industrietak is, worden nanomaterialen vanwege hun specifieke eigenschappen al in talrijke toepassingen gebruikt. Dit betekent dat mogelijke blootstelling aan nanomaterialen tijdens onderhoudswerkzaamheden in aanmerking moet worden genomen in een toenemend aantal sectoren en werkomgevingen.

Naarmate het aantal geproduceerde producten met nanomaterialen toeneemt, neemt de kans toe dat werknemers onderhoudswerk aan dergelijke producten moeten uitvoeren en daarbij mogelijk aan nanomaterialen worden blootgesteld. Voorbeelden van dergelijke producten die nanomaterialen bevatten, zijn onder meer auto's, banden met een lage rolweerstand, elektrische en elektronische apparatuur zoals zeer efficiënte sensoren en elektronica, apparatuur voor energieopwekking zoals hoogvermogensystemen voor herlaadbare accu's of slimme dunne-filmzonnepanelen. Ook gebouwen zelf kunnen nanomaterialen bevatten.

Daarnaast is er een toenemend aantal onderhoudsproducten in de handel die geproduceerde nanomaterialen bevatten en die gebruikt worden om onderhoudswerk mee te verrichten, zoals smeermiddelen, coatings of lijmen. Bij afwezigheid van passende preventiemaatregelen kunnen deze ook leiden tot de blootstelling van werknemers aan nanomaterialen.

Bepaalde toepassingen van geproduceerde nanomaterialen kunnen onderhoudswerkers tevens enorme voordelen bieden vanuit het oogpunt van veiligheid en gezondheid op het werk, zoals bijvoorbeeld slimme verfsoorten die gebruikt worden voor het opsporen van scheuren of corrosie in geverfde oppervlakken. Slimme verf bevat koolstofnanobuizen die elektriciteit geleiden. Het geleidende vermogen van slimme verf wordt nadelig beïnvloed door de aanwezigheid van dergelijke gebreken in het oppervlak en daardoor kan deze verf worden gebruikt voor het op afstand opsporen

van microscopische constructieproblemen, bijvoorbeeld in bruggen of windturbines, waardoor werken op hoogte om dergelijke bouwwerken te inspecteren niet meer nodig is.

2 Risico's van nanomaterialen voor de veiligheid en gezondheid op het werk voor werknemers die onderhoudswerk verrichten

Hoewel nanomaterialen talrijke voordelen bieden, kunnen sommige een gevaar vormen voor de veiligheid en gezondheid van mensen [2-4] en een risico inhouden voor werknemers die onderhoudswerk verrichten.

2.1 Gevaren en blootstellingsroutes

Veiligheidsrisico's kunnen voortkomen uit de hoge ontplofbaarheid, ontvlambaarheid en het katalytische vermogen van sommige nanopoeiers (nanomaterialen in poedervorm), in het bijzonder metalen nanopoeiers.

Nanomaterialen kunnen een groot aantal diverse potentieel toxische effecten hebben, zelfs als dit niet het geval is bij hetzelfde materiaal op macroschaal. Dit houdt voornamelijk verband met hun geringe omvang, maar is ook afhankelijk van de vorm van het deeltje, het chemische karakter, de toestand van het oppervlak (bijv. oppervlaktgrootte, functionalisering van het oppervlak, oppervlakbehandeling), de aggregatie-/agglomeratietoestand, enz. [3, 4].

Onder normale omgevingsomstandigheden kunnen nanomaterialen agglomeraten of aggregaten vormen die groter zijn dan 100 nm, waardoor hun nanospecifieke eigenschappen veranderen (maar niet noodzakelijkerwijs verloren gaan). Echter, nanomaterialen kunnen opnieuw vrijkomen uit zwak gebonden agglomeraten en, onder bepaalde omstandigheden, zelfs uit agglomeraten met een sterkere binding. Momenteel wordt onderzocht of dit zou kunnen gebeuren in longvocht na inademing van dergelijke agglomeraten of aggregaten [3, 4]. Agglomeraten en aggregaten die nanomaterialen bevatten, moeten derhalve ook in aanmerking worden genomen in de evaluatie van de risico's op het werk.

Het interne blootstellingsmechanisme, na opname van de nanomaterialen in het lichaam, zou verdere absorptie, distributie en metabolisme kunnen zijn. Sommige nanomaterialen zijn aangetroffen in, bijvoorbeeld, de longen, lever, nieren, het hart, de voortplantingsorganen, foetus, hersenen, milt, het skelet en zachte weefsels [5]. Er zijn onbeantwoorde vragen met betrekking tot de bioaccumulatie van nanomaterialen en eliminatiemechanismen van cellen en organen. Een bijkomend probleem is dat, zelfs indien een nanomateriaal op zich niet toxisch is, het als een Trojaans paard zou kunnen fungeren, dat wil zeggen een materiaal met een grotere toxiciteit kan zich aan het nanomateriaal hechten en worden opgenomen in het lichaam, organen of cellen [6].

De belangrijkste effecten van nanomaterialen zijn geobserveerd in de longen en zijn onder meer ontsteking, weefselschade, oxidatieve stress, chronische toxiciteit, cytotoxiciteit, fibrose en tumorvorming. Sommige nanomaterialen kunnen ook een negatief effect hebben op het bloedvatstelsel. De mogelijk gevaarlijke eigenschappen van geproduceerde nanomaterialen zijn het voorwerp van voortdurend onderzoek [3, 4].

Voorbeelden van nanomaterialen waaraan onderhoudswerkers zouden kunnen worden blootgesteld en hun gezondheidsrisico's zijn in tabel 1 vermeld. Deze nanomaterialen zijn in het bijzonder relevant voor onderhoudswerk, omdat ze worden gebruikt in verf, desinfectiemiddelen, reinigingsmiddelen of andere producten die gewoonlijk voor onderhoudswerk worden gebruikt.

Tabel 1: Voorbeelden van nanomaterialen waaraan onderhoudswerkers kunnen worden blootgesteld en hun potentiële gezondheidsrisico's

Type nanomateriaal	Gezondheidsrisico's
Zilveren nanodeeltjes	<p>Het gebruik van zilveren nanodeeltjes vormt een potentieel gevaar voor de gezondheid van mensen [8] en het Wetenschappelijk Comité voor nieuwe gezondheidsrisico's van de EU is om een wetenschappelijk advies gevraagd met betrekking tot de veiligheids-, gezondheids- en milieueffecten van nanozilver en de rol van nanozilver in antimicrobiële resistentie [9].</p> <p>Er bestaat bezorgdheid over het feit dat zilveren nanodeeltjes nadelige gevolgen voor de gezondheid kunnen hebben, zoals allergieën [10], longoedemen [11] en argyria (d.w.z. grijze of grijsblauwe verkleuring of zwarte pigmentatie van de huid, nagels, ogen, slijmvliezen of interne organen door zilverophoping), die onomkeerbaar en ongeneeslijk zijn [12]. Bij ratten is gedocumenteerd dat zilveren nanodeeltjes de hersenen kunnen bereiken via de bovenste luchtwegen [13]</p>
Nanodeeltjes titaandioxide (TiO ₂)	<p>Deeltjes titaandioxide zijn, indien geïnhaleerd, door het Internationaal Instituut voor Kankeronderzoek (IARC) ingedeeld onder 'mogelijk kankerverwekkend voor mensen' (groep 2b kankerverwekkend) [14]. Het Amerikaanse National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) beveelt een lagere blootstellingslimiet aan voor ultrafijne deeltjes TiO₂: 0,3 mg/m³ voor TiO₂-nanodeeltjes (<100 nm) tegenover 2,4 mg/m³ voor fijne deeltjes (>100 nm) [15]</p>
Silica nanodeeltjes	<p>De beschikbare onderzoeken naar nanosilica zijn gebaseerd op de gevolgen voor de gezondheid van silica na blootstelling via de luchtwegen, na acute of subacute blootstelling. Longontsteking, granuloomvorming en focaal emfyseem zijn enkele van de gemelde gezondheidseffecten [16]</p>

Er zijn in hoofdzaak drie mogelijke blootstellingsroutes voor nanomaterialen op de werkplek [2, 3, 6, 17–19]:

- **Inhalatie** is de meest voorkomende blootstellingsroute voor in de lucht zwevende nanodeeltjes op de werkplek. Geïnhaleerde nanodeeltjes kunnen in de luchtwegen en longen achterblijven afhankelijk van hun vorm en grootte. Na inhalatie kunnen ze het longepitheel passeren, in de bloedbaan worden opgenomen en andere organen en weefsels bereiken. Bij sommige geïnhaleerde nanomaterialen is waargenomen dat ze de hersenen bereiken via de reukzenuw.
- **Ingestie** kan voorkomen als gevolg van onbedoelde hand-naar-mondoverdracht van verontreinigde oppervlakken of door ingestie van verontreinigd voedsel of water. Ingestie kan voorkomen als gevolg van de inhalatie van nanomaterialen, aangezien geïnhaleerde deeltjes die uit de luchtwegen worden verwijderd via de mucociliaire lift ingeslikt kunnen worden. Sommige ingeslikte nanomaterialen kunnen het darmepitheel passeren, in de bloedbaan worden opgenomen en andere organen en weefsels bereiken.
- **Dermale** penetratie wordt momenteel nog onderzocht [2, 18]. Intacte huid lijkt een goede barrière te zijn tegen de opname van nanomaterialen [20]. Beschadigde huid lijkt minder effectief te zijn, maar het opnameniveau is waarschijnlijk lager dan het opnameniveau dat met inhalatie wordt geassocieerd [20]. Niettemin moet contact met de huid ook worden voorkomen en beheerst.

De mogelijkheid van blootstelling is derhalve voornamelijk afhankelijk van de kans dat nanomaterialen in de lucht vrijkomen, waarbij poeders of spuitniveaus een groter risico inhouden dan suspensies in vloeistof, pasta's, korrelig materiaal of composieten. Op hun beurt vormen nanomaterialen in vloeistoffen een groter risico dan gebonden of gefixeerde nanostructuren, zoals die in een polymeermatrijs [21].

2.2 Onderhoudswerkzaamheden met een risico van blootstelling aan nanomaterialen

Onderhoudswerkers kunnen aan geproduceerde nanomaterialen worden blootgesteld in de volgende situaties:

- bij het gebruiken van onderhoudsproducten die nanomaterialen bevatten;
- bij het onderhouden van installaties waar nanomaterialen bij betrokken zijn, bijvoorbeeld een productielijn waarin nanomaterialen of producten met nanomaterialen worden gebruikt of verwerkt, en wanneer deze nanomaterialen, bijvoorbeeld, zijn achtergebleven op het oppervlak van de te onderhouden installatie; en
- wanneer bij het onderhoudsproces zelf nanomaterialen vrijkomen, bijvoorbeeld bij slijpen of polijsten.

Tabel 2 vermeldt voorbeelden van producten die onderhoudswerkers mogelijk gebruiken, hanteren of verwerken en die nanomaterialen bevatten waaraan ze kunnen worden blootgesteld bij de uitvoering van hun werk.

Tabel 2: Voorbeelden van in onderhoudswerk gebruikte producten die nanomaterialen bevatten

Voornaamste typen nanomaterialen	Voorbeelden van producten die bij onderhoudswerk worden gebruikt
Titaandioxide (TiO ₂)	Verfsoorten, antibacteriële coatings, reinigingsproducten, cementen, tegels, wandcoatings, vuilafstotende coatings voor ramen, autocoatings (al deze producten benutten de steriliserende, deodoriserende, anticondens- en zelfreinigende eigenschappen van TiO ₂ op nanoschaal); en in glas voor zijn eigenschap om van kleur te veranderen bij blootstelling aan licht [6, 22-24]
Silica (SiO ₂)	Verf, beton en reinigingsproducten [6, 23]
Zilveren nanodeeltjes	Worden gebruikt als biociden in verfstoffen/verf en vernis, polymeren, gootstenen en sanitair keramiek evenals diverse toepassingen voor gebruik door consumenten zoals desinfectiemiddelen en reinigingsmiddelen [6]
Koolstofnanobuizen	Verf [23], lichtgewichtconstructies
Koolstof	Pigmenten
Carbiden (bijv. WC, TiC, SiC), nitriden (bijv. TiN, CrN), metalen (bijv. W, Ti, Mo) of keramische composieten (bijv. Al ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃)	Tribologische coatings worden aangebracht op het oppervlak van een component om de frictie en slijtage ervan te beheersen [25]
IJzeroxiden	Additieven in lijm; formuleringen die het mogelijk maken op commando bindingen te vormen en bindingen op te heffen [25]
Zirkoniumdioxide	Additieven in cement en in kunststoffen
Koperoxiden	Houtconserveringsmiddelen
Gouden nanodeeltjes	Auto's en smeermiddelen [26]

Enkele van de onderhoudswerkzaamheden die zouden kunnen leiden tot blootstelling van werknemers aan nanomaterialen zijn:

- **Gebruik van vloeibare producten die nanomaterialen bevatten:**

- het hanteren van vloeibare producten (bijv. smeermiddelen, verf, coatings, lijm) of het opruimen van gemorste vloeistof, wat kan leiden tot dermale blootstelling van onbeschermd huid;
- in sommige omstandigheden omvat onderhoudswerk het bereiden van vloeibare producten en hierbij kan het nodig zijn om producten uit te schenken en te mengen en daarbij stevig te roeren, waardoor aerosolen vrijkomen die geïnhaleerd kunnen worden (en dan gedeeltelijk ingeslikt) of op onbeschermd huid achterblijven en zo tot dermale blootstelling leiden;
- spuiten, bijvoorbeeld van een isolerende nanocoating of nanoverf, kan leiden tot inhalatie, ingestie of dermale blootstelling; en
- het spuiten van vloeibaar brandbaar nanomateriaal vergroot tevens het risico van ontploffing of brand.
- **Gebruik van poeders van nanomaterialen**
 - bij het hanteren (bijv. wegen, uitschenken of mengen) van poeders die nanomateriaal bevatten, om producten te bereiden die nodig zijn voor onderhoudswerkzaamheden, kunnen nanomaterialen vrijkomen in de lucht, en kunnen dermale blootstelling, inhalatie en ingestie van nanomaterialen worden veroorzaakt.
- **Gebruik van gebonden of gefixeerde nanostructuren (polymeermatrijs)**
 - Bij afspanen, zandstralen, boren of andere werkzaamheden die de matrijsstructuur kunnen beschadigen, kunnen nanodeeltjes vrijkomen in de lucht, wat kan leiden tot dermale penetratie, inhalatie of ingestie van nanodeeltjes. De in de matrijs vervatte nanomaterialen die worden afgeschuurd, komen niet noodzakelijkerwijs als primaire deeltjes vrij, omdat ze zich ook kunnen binden aan andere deeltjes van de aerosol die in het proces ontstaat; echter, het is mogelijk dat de binding van deze gebonden nanomaterialen wordt opgeheven zodra ze geïnhaleerd zijn en dat ze derhalve in het lichaam worden opgenomen.
- **Onderhoud van apparatuur die wordt gebruikt om nanomaterialen te produceren of verwerken of van producten die nanomaterialen bevatten**
 - hieruit kunnen nanomaterialen vrijkomen, in sommige gevallen onbedoeld, met een mogelijk risico van dermale blootstelling, inhalatie en ingestie.
- **Reinigen van stofverzamelingsystemen die worden gebruikt om nanomaterialen op te vangen**
 - deze kunnen werknemers blootstellen aan hoge gehalten op oppervlakken achterblijvende of in de lucht zwevende nanomaterialen, wat kan leiden tot dermale blootstelling, inhalatie en ingestie.
- **Opruimen van gemorste nanomaterialen:**
 - kan leiden tot dermale blootstelling, inhalatie en ingestie.
- **Vervoer en verwijdering van afvalmateriaal dat nanomaterialen bevat:**
 - kan leiden tot dermale blootstelling, inhalatie en ingestie.

Daarnaast vergroot de verspreiding van nanopoeders in de lucht het risico van ontploffing of brand. Zonder passende beheersmaatregelen zal het blootstellingsniveau hoger zijn in gevallen waarin de werkzaamheden in besloten ruimten worden uitgevoerd, zoals in tanks.

3 Preventie

Volgens EU-Richtlijn 89/391/EEG [5] moeten werkgevers regelmatige evaluaties van de risico's op het werk uitvoeren en passende preventieve maatregelen nemen. Dit is ook van toepassing op de potentiële risico's van nanomaterialen op het werk. Daarnaast legt Richtlijn 98/24/EG betreffende chemische agentia op het werk [27] strengere bepalingen op aan de beheersing van risico's die verbonden zijn aan stoffen op het werk, die ook gelden voor nanomaterialen aangezien deze onder de definitie van 'stoffen' vallen. Daarnaast moet worden voldaan aan Richtlijn 2004/37/EG betreffende carcinogene of mutagene agentia op het werk [28], indien een nanomateriaal, of materiaal met dezelfde samenstelling op macroschaal, kankerverwekkend of mutageen is. In ieder geval kan nationale wetgeving strengere bepalingen bevatten en deze dient dan ook te worden geraadpleegd.

Aangezien nanomaterialen als stoffen worden aangemerkt, zijn de REACH-verordening (inzake de registratie en beoordeling van en de autorisatie en beperkingen ten aanzien van chemische stoffen) [29] en de CLP-verordening (betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels) [30] eveneens van toepassing.

3.1 Uitdagingen voor de preventie van risico's van nanomaterialen in onderhoudswerk

Het uitvoeren van de evaluatie van risico's op het werk kan voor nanomaterialen, in het algemeen, een uitdaging zijn vanwege de huidige beperkingen in verband met:

1. de beperkte kennis van de gevaarlijke eigenschappen van nanomaterialen;
2. beperkingen van de beschikbare methoden en hulpmiddelen om nanomaterialen en de emissiebronnen te identificeren en om blootstellingsniveaus te meten; en
3. gebrek aan informatie over de aanwezigheid van nanomaterialen, in het bijzonder in mengsels of artikelen alsmede binnen de gebruikersketen, waarin nanomaterialen of producten die nanomaterialen bevatten, worden gebruikt of verwerkt.

Veiligheidsinformatiebladen (VIB's), die een belangrijk informatiehulpmiddel zijn voor de preventie van risico's die verbonden zijn aan gevaarlijke stoffen op het werk, bevatten over het algemeen weinig tot geen informatie over de aanwezigheid van nanomaterialen en hun kenmerken, risico's voor werknemers en preventie [31-34]. Dit is in het bijzonder problematisch voor de lager gelegen niveaus van de toeleverings- of onderaannemingsketen. Zo is bijvoorbeeld 75 procent van de werknemers en werkgevers in de bouw zich niet bewust van de aanwezigheid van nanoprodukten op hun werkplek [35]. Organisaties wordt daarom aangeraden om voor aanvullende informatie rechtstreeks met leveranciers contact op te nemen. Er zijn ook enkele nuttige databases beschikbaar die de commerciële producten identificeren die nanomaterialen bevatten [36-38]. Daarnaast zal de kwaliteit van de informatie in VIB's naar verwachting worden verbeterd door wijzigingen in bijlage II van de Reach-verordening [39], het rechtskader voor de VIB's, alsmede door de richtsnoer van het Europees Agentschap voor chemische stoffen (ECHA) inzake de VIB's [40], die nadere adviezen bevat over de manier waarop de kenmerken van nanomaterialen moeten worden behandeld.

E-facts nr. 72 (<https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-the-management-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures>) behandelt de richtsnoeren en hulpmiddelen die beschikbaar zijn voor het beheer van de risico's van nanomaterialen in de huidige context. Er kunnen echter specifieke bijkomende uitdagingen zijn voor het beheer van de risico's van nanomaterialen en de bescherming van werknemers met betrekking tot onderhoudswerk.

Onderaanneming van onderhoudswerk komt zeer vaak voor. Onderaannemers verrichten hun werk regelmatig in faciliteiten waarmee ze niet vertrouwd zijn en, als ze niet naar behoren geïnformeerd zijn, kunnen ze aan nanomaterialen worden blootgesteld zonder zich er zelfs van bewust te zijn. Een gebrek aan informatie over de nanomaterialen die aanwezig zouden kunnen zijn in te onderhouden machines (bijv. in productielijnen waarin nanomaterialen of producten die nanomaterialen bevatten worden geproduceerd of verwerkt), apparatuur (bijv. afzuigsystemen) of gebouwen (bijv. oppervlakken die geleverd zijn met verf die nanomateriaal bevat) maakt het moeilijk om de risico's op passende wijze te evalueren en voorkomen. Dergelijke situaties zijn voornamelijk het gevolg van een slechte planning van werkzaamheden, gebrekkige organisatie van het werk en slechte communicatie tussen verschillende niveaus van de onderaannemingsketen.

Een andere uitdaging is verbonden aan het feit dat onderhoudssituaties vaak betrekking hebben op abnormale bedrijfsomstandigheden en een abnormaal gebruik van apparatuur. Risicobeheersmaatregelen zijn in sommige gevallen niet van kracht vanwege het onderhoudswerk dat wordt uitgevoerd, bijvoorbeeld wanneer een gesloten systeem wordt geopend voor toegang van werknemers voor het onderhoud van een machine die nanomaterialen produceert of verwerkt of wanneer het onderhoud wordt uitgevoerd aan het apparaat voor technische risicobeheersing zelf. De beschikbare richtsnoeren voor de preventie van aan nanomaterialen verbonden risico's voor de veiligheid en gezondheid op het werk hebben doorgaans betrekking op normale bedrijfsomstandigheden, maar de blootstelling van werknemers onder deze 'abnormale' bedrijfsomstandigheden tijdens onderhoudswerkzaamheden zou zeer verschillend kunnen zijn. Indien er tijdens het onderhoudswerk geen passende beheersmaatregelen gelden, lopen de onderhoudswerkers, maar mogelijk ook de werknemers van de opdrachtgever, hierdoor natuurlijk risico.

Potentiële met nanomaterialen geassocieerde beroepsrisico's moeten naar behoren worden geïdentificeerd, geëvalueerd en gecommuniceerd, voordat onderhoudswerk wordt gepland en uitgevoerd (uitbesteed) [41]. Het is belangrijk dat onderhoudswerkers voldoende worden geïnformeerd over de aanwezigheid, kenmerken en mogelijke risico's van en passende preventieve maatregelen in

verband met nanomaterialen die worden gebruikt, gehanteerd of verwerkt in de arbeidsomgevingen waar zij onderhoudswerkzaamheden moeten verrichten, evenals met betrekking tot andere risico's op het werk. Passende opleidingen en werkinstructies voor werknemers zijn eveneens van cruciaal belang.

3.2 Preventieve maatregelen

De keuze van preventieve maatregelen moet worden gebaseerd op de evaluatie van risico's op het werk waarbij tevens de hiërarchie van beheersmaatregelen in acht moet worden genomen. Daarbij wordt prioriteit gegeven aan verwijdering en vervanging, gevolgd door technische maatregelen bij de bron, organisatorische maatregelen en, ten slotte, persoonlijke beschermingsmiddelen in laatste instantie. In het geval van twijfels over de risico's van nanomaterialen moet het voorzorgsbeginsel worden toegepast op de keuze van preventieve maatregelen teneinde blootstelling te voorkomen.

3.2.1 Verwijdering en vervanging

Mogelijkheden om gevaarlijke nanomaterialen te verwijderen of te vervangen moeten worden onderzocht bij het bedrijf waarvoor het onderhoudswerk wordt uitgevoerd. Indien onderhoud wordt uitgevoerd in arbeidsomgevingen waar nanomaterialen vrijkomen of gebruikt worden voor de voordelen op grond van hun specifieke nano-eigenschappen, of indien onderhoud wordt uitgevoerd aan bestaande bouwwerken die nanomaterialen bevatten, zijn verwijdering en vervanging mogelijk geen optie. Er moet echter altijd rekening worden gehouden met het evenwicht tussen de gewenste eigenschappen en effecten enerzijds en de gezondheidsrisico's anderzijds en verwijdering en vervanging moeten terdege in overweging worden genomen. In het geval van gevaarlijke nanomaterialen in producten die worden gebruikt voor, bijvoorbeeld, reiniging of reparatie, moet de beschikbaarheid van minder gevaarlijke alternatieven worden geëvalueerd.

In elk geval moeten alle vormen van nanomaterialen die in de lucht kunnen vrijkomen (zoals poeders) worden vervangen door oplosbaar gemaakte of vloeibare vormen, korrels, pasta's of nanomaterialen die aan vaste stoffen gebonden zijn en moet het gebruik van poeders zoveel mogelijk worden vermeden.

De mogelijkheid kan ook bestaan om het gevaarlijke gedrag van een nanomateriaal te verminderen door het te modificeren, bijvoorbeeld door er een coating op aan te brengen teneinde de stofvormende, oplossende en andere eigenschappen aan te passen.

Specifieke online informatiehulpmiddelen, zoals Stoffenmanager [42] of GISBAU [43], kunnen gebruikt worden om vervangingsopties te identificeren.

3.2.2 Technische beheersmaatregelen

Technische preventieve maatregelen moeten worden ingevoerd bij de emissiebron van nanomaterialen. De meest efficiënte technische beheersmaatregel bij de bron is insluiting door gebruik te maken van gesloten systemen en door behuizingen omsloten installaties. Geschikte, doeltreffende lokale afzuigsystemen met een absoluutfilter van het type HEPA (*high-efficiency particulate air*) of van het type ULPA (*ultra-low penetration air*) zijn eveneens efficiënte hulpmiddelen om nanomaterialen bij de bron af te vangen in gevallen waarin insluiting niet haalbaar is.

In sommige gevallen echter kan het onderhoudswerk zelf bestaan uit het controleren en herstellen van technische beheerssystemen en kan hun preventieve functie om die reden uitgeschakeld zijn. Wanneer bijvoorbeeld een productievat voor nanomateriaal (normaal een gesloten systeem) wordt geopend voor onderhoudswerk en het afzuigstelsel daarom wordt stopgezet, is de onderhoudswerker vervolgens afhankelijk van persoonlijke beschermingsmiddelen (zie paragraaf 4.4). Lokale (mobiele) luchtafzuigsystemen kunnen in het bijzonder nuttig zijn om werknemers te beschermen tegen blootstelling tijdens onderhoudswerkzaamheden, bijvoorbeeld wanneer zij verf van oppervlakken verwijderen, wat leidt tot het vrijkomen van deeltjes. De afvangefficiëntie van lokale afzuigsystemen is in het geval van nanomaterialen niet lager dan in het geval van grove materialen. Bij het gebruik van mobiele afzuigapparaten mogen de ademhalingszones van de werknemers zich niet binnen de luchtstroom tussen de potentiële emissiebron van nanomateriaal en het afzuigstelsel bevinden.

Ventilatiesystemen die worden gebruikt om de blootstelling aan nanomaterialen te beheersen moeten multitrapsfilters hebben met HEPA-filters (H14) of ULPA-filters als laatste filter. Onderzoek dat is uitgevoerd naar de doeltreffendheid van filtermaterialen voor nanodeeltjes en aerosolen heeft

aangetoond dat traditionele van glasvezels en elektreetfilters doeltreffend zijn voor nanodeeltjes en aerosolen in het algemeen.

In besloten ruimten moet de afgezogen lucht worden vervangen door frisse lucht.

3.2.3 Organisatorische maatregelen

Organisatorische maatregelen spelen een belangrijke rol bij preventie. Vanwege de grote verscheidenheid van onderhoudslocaties en -taken zijn passende procesplanning en andere organisatorische maatregelen van cruciaal belang. Dit omvat de volgende maatregelen:

- Specifieke zones aanwijzen voor het uitvoeren van onderhoudswerk waarbij nanomaterialen zouden kunnen vrijkomen (hetzij uit onderhoudsproducten hetzij uit de te onderhouden voorwerpen). Deze zones moeten worden geïsoleerd of gescheiden, bijvoorbeeld door muren, van andere werkplekken en duidelijk worden aangeduid met passende signalering.
- Het aantal werknemers dat mogelijk risico loopt en de duur van de blootstelling aan nanomaterialen tot een minimum beperken.
- Voor onbevoegd personeel de toegang verbieden tot de zone waar het onderhoudswerk wordt uitgevoerd, bijvoorbeeld door signalering te plaatsen of de zone af te zetten.
- Regelmatige reiniging (nat afnemen) van werkplekken waar nanomaterialen worden gebruikt of gehanteerd.
- Bewaking van luchtconcentratieniveaus, bijv. in vergelijking met achtergrondniveaus wanneer nanomaterialen niet worden gehanteerd.

Aangezien er op dit moment geen gestandaardiseerde benadering is voor het gebruik van veiligheidssignalering of voor de etikettering van werkplekken of verpakkingen met nanomaterialen, wordt een zorgvuldige aanpak aanbevolen waarbij gebruik wordt gemaakt van bestaande waarschuwingssignalen en veiligheidsaanbevelingen in de EU-verordening betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels (CLP-verordening) [30] en van waarschuwingssignalen om passende, relevante en specifieke informatie te geven over alle bestaande of potentiële risico's die aan het gebruik en de hantering van nanomaterialen verbonden zijn.

Bij onderhoudsprocessen moet een aantal algemene beginselen in acht worden genomen die van toepassing zijn ongeacht of er sprake is van nanomaterialen:

- De planning van onderhoudswerk moet gebaseerd zijn op de risicoanalyse en de werknemer moet hierbij worden betrokken. Als onderhoudswerk plaatsvindt op werkplekken waar nanomaterialen met onbekende toxiciteit en onbekend gedrag worden gehanteerd, moet daarmee rekening worden gehouden. Bij het risicobeheer moet niet alleen prioriteit worden gegeven aan bekende risico's, maar ook aan de evaluatie en het beheer van nanomaterialen op werkplekken waar informatie over risico's en blootstelling ontbreekt, onvolledig is of twijfelachtig is.
- Tijdsdruk moet worden vermeden door genoeg tijd in te plannen voor de uitvoering van het onderhoudswerk.
- Voldoende onderwijs moet worden aangeboden om te waarborgen dat onderhoudswerkers de vaardigheden en kennis hebben om het werk veilig te verrichten en zichzelf te beschermen tegen blootstelling aan eventueel vrijkomende nanomaterialen.
- Onderhoudsinstructies en -informatie moeten altijd aan alle onderhoudswerkers worden aangeboden, in het bijzonder wanneer werknemers worden ingehuurd voor een enkele taak en/of niet vertrouwd zijn met chemische risico's in het algemeen en risico's die aan nanomaterialen verbonden zijn in het bijzonder. Deze informatie moet tevens worden gedocumenteerd in werkplekinstructies.
- Risicopreventie voor nanomaterialen moet gebaseerd zijn op het voorzorgsbeginsel: alle beschikbare maatregelen moeten worden genomen, overeenkomstig de hiërarchie van preventieve maatregelen, om het vrijkomen van nanomaterialen te beperken.
- Na afronding van onderhoudswerkzaamheden moet de werkplek worden gereinigd en moet het volledige onderhoudsproces worden gedocumenteerd.

Werknemers die tijdens onderhoudswerkzaamheden worden blootgesteld aan gevaarlijke nanomaterialen, moeten worden opgenomen in gezondheidsbewakingsprogramma's met gedetailleerde documentatie van de blootstellingssituaties.

3.2.4 Persoonlijke beschermingsmiddelen

Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's) moeten in laatste instantie worden gebruikt, indien blootstelling niet doeltreffend genoeg kan worden verminderd met de bovenstaande maatregelen. In gevallen waarin bij de risicoanalyse wordt vastgesteld dat een PBM nodig is, moet een PBM-programma worden ontworpen. Een goed PBM-programma bestaat uit de volgende elementen: selectie van het geschikte PBM, het aanmeten van het PBM, gebruiksinstructies en onderhoud van het PBM.

De aanbevelingen voor beschermingsmiddelen tegen nanomaterialen zijn momenteel dezelfde als die voor de preventie van blootstelling aan stofdeeltjes en aerosolen of, afhankelijk van het type blootstelling in kwestie, dermale blootstelling [44]. Deze beschermende maatregelen worden geacht even doeltreffend te zijn voor nanomaterialen.

Het arbeidstempo en de medische geschiktheid van de PBM-gebruiker moeten worden geëvalueerd om te waarborgen dat het PBM het passende beschermingsniveau biedt en naar behoren kan worden gebruikt. Door proeven uit te voeren met het PBM moet worden gewaarborgd dat de gebruikers ervan hun werk veilig kunnen verrichten terwijl ze hun PBM dragen en dat ze nog steeds in staat zijn om, indien nodig, tegelijkertijd andere noodzakelijke apparatuur (bijv. een bril) of hulpmiddelen te gebruiken. Hierbij moet in overweging worden genomen dat het beschermingsniveau van het PBM kan afnemen bij gelijktijdig gebruik van meerdere PBM-sets. Ook kunnen bijkomende risico's die niet aan nanomaterialen verbonden zijn een nadelige invloed hebben op de doeltreffendheid van het PBM. Derhalve moeten alle risico's op de werkplek in aanmerking worden genomen bij het kiezen van een PBM. Alle gebruikte PBM's moeten een CE-markering hebben en moeten zonder enige aanpassingen worden gebruikt overeenkomstig de instructies van de fabrikant.

Onderhoudswerkers moeten mogelijk PBM's dragen die niet nodig zijn tijdens normale bedrijfsvoering op de werkplek, wanneer het onderhoudswerk wordt uitgevoerd. Als bijvoorbeeld een productievat wordt geopend waarin verf wordt gemengd die nanomateriaal bevat, moet de werknemer een ademhalingstoestel met externe luchttoevoer dragen om inhalatie van nanomaterialen te voorkomen. Tijdens normale bedrijfsvoering blijft het vat gesloten en zijn ademhalingsbeschermingsmiddelen niet nodig.

▪ Bescherming van de ademhaling

Indien blootstelling aan in de lucht zwevende nanomaterialen niet kan worden vermeden door middel van de preventieve maatregelen die in de paragrafen 4.1 t/m 4.3 zijn vermeld, wordt aanbevolen om voor dergelijke blootstellingssituaties een geschikt ademhalingsbeschermingsmiddel te gebruiken. Dit kan zijn een half- of volgelaatsmasker met P3/FFP3- of P2/FFP2-filters, een deeltjesfilterapparaat met luchtventilator en helm (TH2P of MH3P), of een deeltjesfilterapparaat met luchtventilator en vol- of halfgelaatsmasker (TM2P en TM3P)⁽²⁾ [45].

HEPA-filters, maskers met filterpatronen en maskers met vezelige filtermaterialen worden beschouwd als een doeltreffende bescherming tegen in de lucht zwevende nanomaterialen.

De keuze van het ademhalingsbeschermingsmiddel is afhankelijk van:

- het type, de grootte en de concentratie van het in de lucht zwevende nanomateriaal;
- de aan het ademhalingsbeschermingsmiddel toegekende beschermingsfactor (waaronder begrepen de doeltreffendheid van de filtratie en de pasvorm van het masker); en
- de werkomstandigheden.

De filtratiedoeltreffendheid van ademhalingstoestellen en filters is een belangrijke factor voor het evalueren van PBM's. Andere factoren, zoals het vermogen om het gelaat goed af te sluiten, de duur van het dragen en of het PBM correct wordt onderhouden, kunnen ook van invloed zijn op de vermindering van de blootstelling. Wat betreft het filteren door halfgelaatsmaskers is aangetoond dat

² Volgens onderzoeken is de penetratie van P2-filters 0,2 % en van P3-filters 0,011 % voor nanodeeltjes kaliumchloride. Proeven met verschillende grootten van grafietdeeltjes toonden een penetratie van maximaal 8 % aan. Dit duidt op een hogere bescherming door P3-filters, maar de resultaten kunnen niet worden gegeneraliseerd voor alle nanodeeltjes (zie [45]).

het niet goed afsluiten van het gelaat door het masker een dominante risicofactor is [44]. Vermindering van blootstelling moet altijd worden gezien als een combinatie van de filtratiedoeltreffendheid en de gebruikskennmerken van het ademhalingstoestel, wat in sommige EU-landen in zogenaamde "ademhalingsfactoren" wordt uitgedrukt.

Ingeval het ademhalingsbeschermingsmiddel de ogen niet bedekt, moet tevens oogbescherming (nauwsluitende veiligheidsbril) worden toegepast.

▪ **Beschermende kleding**

Aan niet-geweven textielsoorten (luchtdichte materialen), zoals polyethyleen met hoge dichtheid (lage stofretentie en stofafgifte) moet de voorkeur worden gegeven boven geweven textielsoorten. Aanbevolen wordt om het gebruik van beschermende kleding van katoen te vermijden [44].

Bij gebruik van herbruikbare beschermende kleding zoals overalls moet worden gezorgd voor regelmatig wassen van de kleding en moet secundaire blootstelling worden voorkomen. Er moeten voorzieningen worden getroffen waardoor werknemers een schone overall en schone beschermende jassen kunnen aantrekken en vuile kleding kunnen uittrekken op een manier die voorkomt dat personen of de werkomgeving in het algemeen worden verontreinigd.

▪ **Handschoenen**

Handschoenen zijn tijdens onderhoudswerk bijzonder belangrijk, aangezien werknemers regelmatig rechtstreeks in aanraking komen met nanomaterialen, hetzij via de producten die ze gebruiken hetzij via de voorwerpen en materialen die ze onderhouden. Wat betreft chemische stoffen in het algemeen is de doeltreffendheid van beschermende materialen specifiek voor de kenmerken van de nanomaterialen. De specifiek voor nanomateriaal bedoelde aanbevelingen van leveranciers, bijv. in het veiligheidsinformatieblad, moeten in acht worden genomen. Voor titaandioxide en platina deeltjes zijn nitril, latex en neopreen doeltreffend gebleken [44]. De dikte van het materiaal waarvan de handschoenen zijn gemaakt, is een belangrijke factor voor het bepalen van de diffusiesnelheid van het nanomateriaal. Daarom wordt het gebruik van twee paar handschoenen tegelijkertijd aanbevolen [46].

Echter, dit zegt niets over de doeltreffendheid van handschoenen bij het hanteren van vloeistoffen of colloïden. Hoe effectief handschoenen zijn voor een specifiek nanomateriaal is afhankelijk van de vorm waarin het voorkomt op de werkplek (stof, vloeistof, enz.) en dit moet specifiek worden nagegaan bij de leverancier van de handschoenen.

3.3 Preventie van ontploffing en/of brand

Als gevolg van hun geringe omvang kunnen nanomaterialen in poedervorm risico's van ontploffing inhouden, terwijl dat niet het geval is voor dezelfde materialen in grovere vorm ⁽³⁾ [47]. Zorgvuldigheid moet in acht worden genomen wanneer nanopoeiers vrijkomen of worden gehanteerd, onder meer bij het slijpen, zandstralen of polijsten van objecten die nanomaterialen bevatten.

De preventieve maatregelen voor nanomaterialen in poedervorm zijn in essentie dezelfde als de maatregelen voor ander ontplofbaar en brandbaar grof materiaal en ontplofbare stofwolken en moeten zijn gebaseerd op de vereisten in Richtlijn 99/92/EG betreffende minimumvoorschriften voor de verbetering van de gezondheidsbescherming en van de veiligheid van werknemers die door explosieve atmosferen gevaar kunnen lopen. Deze omvatten de volgende maatregelen:

- De hantering moet zoveel mogelijk worden beperkt tot specifieke zones voor explosiegevaarlijke materialen en plaatsvinden in inerte atmosferen.
- Materialen moeten oplosbaar worden gemaakt door de werkplek te bevochtigen (voorkomen van stofdeeltjes).
- De werkplek moet worden ontdaan van apparatuur met een snelstarter en andere ontstekingsbronnen of omstandigheden die het opbouwen van elektrostatische ladingen mogelijk maken. In plaats daarvan moet zoveel mogelijk inherent veilige apparatuur worden gebruikt (signalerings- en controlecircuits die met lage stroomsterktes en spanningen werken);

⁽³⁾ De ontplofbaarheid van de meeste organische en metalen stofdeeltjes neemt toe naarmate de grootte van het deeltje afneemt. 500 µm blijkt de bovengrens te zijn voor de deeltjesgrootte van een ontplofbare stofwolk. Op dit moment is er geen benedengrens voor de grootte vastgesteld waaronder stofontploffingen kunnen worden uitgesloten [47]).

- Stoflagen moeten worden verwijderd door ze nat op te dweilen.
- De opslag van ontplofbare of brandbare materialen op de werkplek moet tot een minimum worden beperkt. Het gebruik van antistatische zakken valt te overwegen.

3.4 De doeltreffendheid van preventieve maatregelen controleren

De risicoanalyse moet op regelmatige basis worden herzien en de keuze en invoering van risicobeheermaatregelen moeten regelmatig worden gecontroleerd en getoetst op hun doeltreffendheid. Dit houdt in dat gewaarborgd moet worden dat alle beschermingsmiddelen naar behoren werken (schone werkbanken of laminaire stromingsdozen) en dat alle afzuig- en ventilatieapparatuur en hun filtersystemen regelmatig worden geïnspecteerd. Daarnaast moet de geschiktheid van PBM's worden gecontroleerd en, indien nodig, bijgewerkt.

Ook kan de doeltreffendheid van een maatregel ter vermindering van risico's worden geëvalueerd door de concentratie nanomaterialen in de lucht voor en na de preventieve maatregel te analyseren. De blootstellingsniveaus die worden gemeten wanneer risicobeheermaatregelen worden toegepast, zouden niet significant mogen afwijken van achtergrondconcentraties, als er geen bron van geproduceerde nanomaterialen is. Er kunnen ook andere indirecte metingen voor de doeltreffendheid van technische preventieve maatregelen worden toegepast, zoals rookproeven en/of stroomsnelheidsmetingen.

Grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling voor nanomaterialen ⁽⁴⁾ [48] worden mogelijk in de toekomst ontwikkeld. Echter, het hoofddoel van het beheer van risico's op het werk is om blootstelling tot een minimum te beperken en daarom is het niet voldoende om enkel deze grenswaarden in acht te nemen.

Referenties

1. Aanbeveling van de Commissie van 18 oktober 2011 inzake de definitie van nanomateriaal, PB L 275, blz. 38–40. Beschikbaar op: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:NL:PDF>
2. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Approaches to Safe Nanotechnology - Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials*, Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, Publication No. 2009–125, 2009.
3. Europese Commissie (EC), *Commission Staff Working Paper: Types and Uses of Nanomaterials, Including Safety Aspects. Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee on the Second Regulatory Review on Nanomaterials*, SWD(2012) 288 final, Brussel, 3 oktober 2012. Beschikbaar op: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
4. Europees Agentschap voor veiligheid en gezondheid op het werk (EU-OSHA), *Workplace Exposure to Nanoparticles*, Europese waarnemingspost voor risico's, literatuurbesprekingen, 2009. Beschikbaar op: http://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles
5. Richtlijn 89/391/EEG van de Raad van 12 juni 1989 betreffende de tenuitvoerlegging van maatregelen ter bevordering van de verbetering en de gezondheid van de werknemers op het werk, PB L 183 van 29.6.1989. Beschikbaar op: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31989L0391:NL:NOT>
6. Senjen, R., "Nanomaterials - Health and Environmental Concerns", *Nanotechnologies in the 21st century*, European Environmental Bureau, Issue 2, juli 2009. Beschikbaar op: <http://www.eeb.org/?LinkServID=540E4DA2-D449-3BEB-90855B4AE64E8CE6&showMeta=0>

⁽⁴⁾ Zie, bijvoorbeeld, de Nederlandse Sociaal-Economische Raad (SER) (2012), *Voorlopige nanoreferentiewaarden voor synthetische nanomaterialen*, en Nanowerk (2012), *SAFENANO Team Complete BSI British Standards Guide to Safe Handling of Nanomaterials*.

7. Nanowerk, *Introduction to Nanotechnology*, 2012. Beschikbaar op: http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction_to_nanotechnology_1.php (geraadpleegd op 19 oktober 2012).
8. Het ENRHES-project *Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety (ENRHES)*, 2009. Beschikbaar op: <http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/whats-new/enhres-final-report> (geraadpleegd op 29 april 2013).
9. Wetenschappelijk Comité voor nieuwe gezondheidsrisico's (SCENIHR), *Request for a Scientific Opinion on Nanosilver: Safety, Health and Environmental Effects and Role in Antimicrobial Resistance*, 2012. Beschikbaar op: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_q_027.pdf
10. Bundesministerium für Gesundheit (BMG, Oostenrijkse ministerie van Volksgezondheid), *Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien - Produkte, gesundheitliche und regulatorische Aspekte (Nanosilver in cosmetica, hygiëneartikelen en materialen die in contact komen met levensmiddelen – producten en gezondheids- en wetgevingsaspecten)*, Wenen, 2010. Beschikbaar op: http://bmg.gv.at/cms/home/attachments/9/7/2/CH1180/CMS1288805248274/bmg_nanosilber_fassung_veroeffentlichung_final_mit_deckblaetter1.pdf
11. Europese Commissie (EC), *Commission Staff Working Paper: Types and Uses of Nanomaterials, Including Safety Aspects. Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee on the Second Regulatory Review on Nanomaterials*, SWD(2012) 288 final, Brussel, 3 oktober 2012. Beschikbaar op: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
12. Luoma, S.N., *Silver Nanotechnologies and the Environment: Old Problems or New Challenges?*, the Pew Charitable Trust and the Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2008. Beschikbaar op: http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano_pen_15_final.pdf
13. Haase, A., Rott, S., Manton, A., Graf, P., Plendl, J., Thünemann, A.F., Meier, W.P., Taubert, A., Luch, A., Reiser, G., 'Effects of silver nanoparticles on primary mixed neural cell cultures: uptake, oxidative stress and acute calcium responses', *Toxicology Science*, 2012, 126(2): blz. 457–468.
14. Wereldgezondheidsorganisatie (WHO), *Carbon Black, Titanium Dioxide and Talc*, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 93, 2010. Beschikbaar op: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol93/mono93.pdf>.
15. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 'Occupational exposure to titanium dioxide', *Current Intelligence Bulletin* 63, 2011. Beschikbaar op: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/>.
16. Napierska, D., Thomassen, L.C.J., Lison, D., Martens, J.A., Hoet, P.H., 'The nanosilica hazard: another variable entity', *Particle and Fibre Toxicology*, 2010, 7: blz. 39.
17. Lauterwasser, C., *Small Size that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies*, rapport van het Allianz Center for Technology en de OESO, ongedateerd. Beschikbaar op: <http://www.oecd.org/dataoecd/32/1/44108334.pdf>
18. Murashov, V., 'Occupational exposure to nanomedical applications', *WIREs Nanomed Nanobiotechnol*, 2009, 1: blz. 203–213.
19. Hanson, N., Harris, J., Joseph, L.A., Ramakrishnan, K., Thompson, T., *EPA Needs to Manage Nanomaterial Risks More Effectively*, U.S. Environmental Protection Agency, Report No. 12-P-0162, 2011. Beschikbaar op: <http://www.epa.gov/oig/reports/2012/20121229-12-P-0162.pdf>
20. Gratieri, T., Schaefer, U.F., Jing, L., Gao, M., Kostka, K.H., Lopez, R.F.V., Schneider, M., 'Penetration of quantum dot particles through human skin', *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 2010, 6(5): blz. 586–595.
21. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories*, Department Of Health And Human Services, Publication Number 2012-147, 2012.
22. Elvin, G., *Nanotechnology for Green Building*, Green Technology Forum, 2007. Beschikbaar op: http://esonn.fr/esonn2010/xlectures/mangematin/Nano_Green_Building55ex.pdf
23. Responsible Nano Forum, *Nano Products - Where and How Nanotechnologies are Used Now*, ongedateerd. Beschikbaar op: <http://www.nanoandme.org/nano-products/> (geraadpleegd op 19 oktober 2012).

24. United States Government Accountability Office Nanotechnology (GAO), *Improved Performance Information Needed for Environmental, Health, and Safety Research* (2012). Beschikbaar op: <http://www.gao.gov/assets/600/591007.pdf> (geraadpleegd op 19 oktober 2012).
25. Observatory NANO, *Coatings, Adhesives and Sealants for the Transport Industry*, 2010. Beschikbaar op: http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/NOB_coating_adhesives_sealants_transport_final.pdf (geraadpleegd op 19 oktober 2012).
26. Sung, J.H., Ji, J.H., Park, J.D., Song, M.Y., Song, K.S., Ryu, H.R., Yoon, J.U., Jeon, K.S., Jeong, J., Han, B.S., Chung, Y.H., Chang, H.K., Lee, J.H., Kim, D.W., Kelman, B.J., Yu, I.J., 'Subchronic inhalation toxicity of gold nanoparticles', *Particle and Fibre Toxicology*, 2011, 8: blz. 16.
27. Richtlijn 98/24/EG van de Raad van 7 april 1998 betreffende de bescherming van de gezondheid en de veiligheid van werknemers tegen risico's van chemische agentia op het werk (14e bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG), PB L 131 van 5 mei 1998. Beschikbaar op: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:NL:PDF>
28. Richtlijn 2004/37/EG van het Europees Parlement en de Raad van 29 april 2004 betreffende de bescherming van de werknemers tegen de risico's van blootstelling aan carcinogene of mutagene agentia op het werk (zesde bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG van de Raad), PB L 158 van 30 april 2004. Beschikbaar op: [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R\(01\):NL:NOT](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R(01):NL:NOT)
29. Verordening (EG) Nr. 1907/2006 van het Europees Parlement en de Raad van 18 december 2006 inzake de registratie en beoordeling van en de autorisatie en beperkingen ten aanzien van chemische stoffen (REACH), tot oprichting van een Europees Agentschap voor chemische stoffen, houdende wijziging van Richtlijn 1999/45/EG en houdende intrekking van Verordening (EEG) nr. 793/93 van de Raad en Verordening (EG) nr. 1488/94 van de Commissie alsmede Richtlijn 76/769/EEG van de Raad en de Richtlijnen 91/155/EEG, 93/67/EEG, 93/105/EG en 2000/21/EG van de Commissie, PB L 396 van 30 december 2006. Beschikbaar op: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006R1907:nl:NOT>
30. Verordening (EG) nr. 1272/2008 van het Europees Parlement en de Raad betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels (CLP-verordening), PB L 353 van 31 december 2008. Beschikbaar op: <http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/clp/legislation>
31. Schneider, T., Jansson, A., Jensen, K.A., Kristjansson, V., Luotamo, M., Nygren, O., Skaug, V., Thomassen, Y., Tossavainen, A., Tuomi, T., Wallin, H., 'Evaluation and control of occupational health risks from nanoparticles', *TemaNord* 2007: 581, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2007. Beschikbaar op: http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at_download/publicationfile
32. Borm, P., Houba, R., Linker, F., *Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands*, gepresenteerd en verspreid bij Nano4All, 15 oktober 2008.
33. Oostenrijkse Centrale Arbeidsinspectie, *Use of Nano at the Workplace*, 2009. Beschikbaar op: http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano_Untersuchung.pdf
34. SafeWork Australia, *An Evaluation of MSDS and Labels associated with the use of Engineered Nanomaterials*, 2010. Beschikbaar op: <http://safeworkaustralia.gov.au/AboutSafeWorkAustralia/Whatwedo/Publications/Pages/RP201006EvaluationOfMSDSAndLabels.aspx>.
35. Van Broekhuizen, F.A., van Broekhuizen, J.C., *Nanotechnology in the European Construction Industry— State of the art 2009 - Executive Summary*, European Federation of Building and Wood Workers (EFBWW), European Construction Industry Federation (FIEC), Amsterdam, 2009. Beschikbaar op: <http://www.efbww.org/pdfs/Nano%20-%20GB%20Summary.pdf>
36. The European Consumers' Organisation (ANEC/BEUC), *Inventory of Products Claiming to Contain Nano-silver Particles Available on the EU Market*, 2012. Beschikbaar op: <http://www.beuc.org/beucnoframe/Common/GetFile.asp?PortalSource=2530&DocID=24222&mfd=off&pdoc=1> (geraadpleegd op 19 oktober 2012).

37. National Library of Medicine, Consumer Product Information Database, *The Household Products Database*, 2011. Beschikbaar op: <http://hpd.nlm.nih.gov/about.htm> (geraadpleegd op 19 oktober 2012).
38. Europese Commissie (EC), *Commission Staff Working Paper: Types and Uses of Nanomaterials, Including Safety Aspects. Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee on the Second Regulatory Review on Nanomaterials*, SWD(2012) 288 final, Brussel, 3 oktober 2012. Beschikbaar op: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
39. Verordening (EU) nr. 453/2010 van de Commissie van 20 mei 2010 tot wijziging van Verordening (EG) nr. 1907/2006 van het Europees Parlement en de Raad inzake de registratie en beoordeling van en de autorisatie en beperkingen ten aanzien van chemische stoffen (REACH) , PB L 133 van 31 mei 2010.
40. Europees Agentschap voor chemische stoffen (ECHA), *Guidance on the Compliance of Safety Data Sheets*, december 2011. Beschikbaar op: http://echa.europa.eu/documents/10162/17235/sds_en.pdf
41. Nunes, I.L., 'The nexus between OSH and subcontracting', *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 2012, 41, supplement 1: blz. 3062–3068.
42. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, *Stoffenmanager 4.5*, ongedateerd. Beschikbaar op: <https://www.stoffenmanager.nl/> (Nederlands, Engels en Fins) (geraadpleegd op 3 december 2012).
43. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU), *Gefahrstoff-Informationssystem der BG BAU - GISBAU* [Informatiesysteem voor gevaarlijke stoffen van de BG-BAU]. Beschikbaar op: <http://www.gisbau.de/index.html> (geraadpleegd op 3 december 2012).
44. Golanski, L., Guillot, A., Tardif, F., *Are Conventional Protective Devices such as Fibrous Filter Media, Respirator Cartridges, Protective Clothing and Gloves also Efficient for Nanoaerosols?*, DR-325/326-200801-1, Nanosafe2, 2008. Beschikbaar op: http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf
45. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, 'Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche—Ein Betriebsleitfaden (*Veilige toepassing van nanomaterialen in de verfbranche—Een richtsnoer*)', *Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech*, Band 11, 2009. Beschikbaar op: www.hessen-nanotech.de
46. Klenke, M., *First Results for Safe Procedures for Handling Nanoparticles*, DR-331 200810-6, Nanosafe2, 2008. Beschikbaar op: http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6_s.pdf
47. Dyrba, B., *Explosionsschutz: Handlungsbedarf bei Nanostäuben (Ontploffingsbescherming: behoefte aan actie bij nanostofdeeltjes)*, ongedateerd. Beschikbaar op: <http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/fachbeitraege/anzeigen/337/Explosionsschutz-Nanostaub/> (geraadpleegd op 3 december 2012).
48. Institute of Technology (OAWITA), *Assessment of the Austrian Academy of Science*, 2010. Beschikbaar op: <http://epub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier016en.pdf> (geraadpleegd op 10 juni 2011).

Aanvullende informatie

- Europees Agentschap voor veiligheid en gezondheid op het werk (EU-OSHA), *Online Case-study Database*, 2012. Beschikbaar op: http://osha.europa.eu/en/practical-solutions/case-studies/index_html/practical_solution?SearchableText=&is_search_expanded=True&getRemoteLanguage=en&keywords%3Alist=nanotechnology&nace%3Adefault=&multilingual_thesaurus%3Adefault=&submit=Search (geraadpleegd op 23 juli 2012).
- Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IGBCE), *Nanomaterialien—Herausforderung für Arbeits- und Gesundheitsschutz (Nanomaterialen—een uitdaging voor gezondheid en veiligheid op het werk)*, Hauptvorstand, 2011. Beschikbaar op: <http://www.igbce.de/download/15044-15052/2/nanomaterialien.pdf>
- Europees Agentschap voor veiligheid en gezondheid op het werk (EU-OSHA), *Safe Maintenance in Practice*, 2010. Beschikbaar op: <http://osha.europa.eu/en/publications/reports/safe-maintenance-TEWE10003ENC/view>
- Europees Agentschap voor veiligheid en gezondheid op het werk (EU-OSHA), Magazine 12. – Healthy Workplaces. A European Campaign on Safe Maintenance, 2011. Beschikbaar op: <http://osha.europa.eu/en/publications/magazine/12/view>
- Europees Agentschap voor veiligheid en gezondheid op het werk (EU-OSHA), *Safe Maintenance for Employers, Safe Workers - Save Money, Facts 89*, 2011. Beschikbaar op: <https://osha.europa.eu/nl/publications/factsheets/89>
- Health and Safety Executive (HSE), *Risk Management of Carbon Nanotubes*, Crown, 2009. Beschikbaar op: www.hse.gov.uk/pubns/web38.pdf (geraadpleegd).