

Nanoproducten in de Europese bouwnijverheid

Stand van zaken 2009
Samenvatting

Fleur van Broekhuizen
Pieter van Broekhuizen

Amsterdam, november 2009



Colofon

Titel: Nanotechnologie in de Europese bouwnijverheid – stand van zaken 2009 - Samenvatting
Auteurs: F.A. van Broekhuizen en J.C. van Broekhuizen
Stuurgroep: R. Gehring (EFBH), D. Campogrande (FIEC), J. Gascon (FCC, Spanje), U. Spannow (3F, DK), J. Waage (FNV Bouw, NL)

Dit rapport is opgesteld in opdracht van: de EFBH (Europese Federatie van Bouw- en Houtarbeiders) en de FIEC (Europees Verbond van het Bouwbedrijf) in het kader van de Europese maatschappelijke dialoog.

Erkentelijkheid

Deze studie is gesubsidieerd door het Directoraat-Generaal Werkgelegenheid van de Europese Commissie (subsidieovereenkomst nr. VS/2008/0500 - SI2.512656 in het kader van de Europese maatschappelijke dialoog in het bouwbedrijf).

De auteurs spreken hun dank uit jegens alle ondernemingen (bouwondernemingen, grondstofproducenten, afvalverwerkende bedrijven), de brancheorganisaties, instellingen voor onderzoek en ontwikkeling evenals individuele personen, die hun waardevolle bijdrage hebben geleverd aan de studie, voor hun inzichten en hun openheid tijdens gesprekken.

Voor meer informatie over het rapport kunt u contact opnemen bij:

IVAM UvA BV

Amsterdam-NL

Tel: +31 20 525 5080

www.ivam.uva.nl

Email: office@ivam.uva.nl

Gegevens uit dit rapport mogen worden overgenomen, mits deze overname gepaard gaat met een behoorlijke bronverwijzing.

IVAM UvA b.v. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor eventuele schade of nadelige gevolgen die voortvloeien uit het gebruik of de toepassing van de uitkomsten van dit rapport.

Samenvatting

Dit rapport bevat een studie naar de beschikbaarheid, het gebruik en aspecten ten aanzien van gezondheid en veiligheid met betrekking tot nanoproducten in het Europese bouwbedrijf anno 2009. De hier gepresenteerde inzichten zijn gebaseerd op een Europese enquête onder werkgevers, werknemers en vertegenwoordigers van werknemers uit de bouwsector, diepte-interviews met enkele van de voornaamste betrokken belanghebbenden en een uitgebreide literatuurstudie.

Onder de verschillende actoren in het bouwwezen zijn maar weinige zich bewust van de beschikbaarheid en de prestaties van nanomaterialen. Dit gebrek aan bewustzijn geldt niet alleen voor werkgevers en werknemers in de bouwnijverheid, maar ook voor aan deze industrie verwante beroepen, zoals bouwkundigen, bouwingenieurs en de opdrachtgevers van bouwprojecten.

Als gevolg van deze onwetendheid, maar ook vanwege het feit dat bestanddelen van nanoformaat veelal te kostbaar zijn om concurrerende producten op te leveren, is er nog maar een beperkt aantal nanoproducten dat vandaag de dag zijn weg weet te vinden naar de bouwplaats. De voornaamste soorten producten die momenteel in de handel zijn, zijn met nanodeeltjes versterkt beton en cement, nanocoatings en isolatiemateriaal. Hoewel er nog volop aan onderzoek en ontwikkeling plaatsvindt, is de verwachting voor de toekomst dat nanoproducten, dankzij de unieke eigenschappen die zij bezitten, in marktaandeel en verscheidenheid alleen maar zullen toenemen.

Echter, deze zelfde producten zouden voor de werknemer ter plaatse nieuwe gezondheids- en veiligheidsrisico's kunnen inhouden, risico's waarvan de wetenschap nog maar net weet begint te krijgen, met name wanneer werknemers werkzaamheden moeten uitvoeren waarbij nanodeeltjes of aerosolen worden gegenereerd. Typische activiteiten die mogelijk hoge risico's van blootstelling aan nanodeeltjes met zich meebrengen, zijn de toepassing van natte nanoproducten of nanoproducten in stofvorm, machinaal gedroogde of geprefabriceerde nanoproducten, het schoonmaken of onderhouden van de materialen en de gebruikte apparatuur. Er is echter een algemeen gebrek aan gedetailleerde informatie over de samenstelling van producten en de nanospecifieke gezondheids- en veiligheidsrisico's die er mogelijk aan kleven, terwijl de informatie waarover de producent van de grondstoffen beschikt, meer en meer verdampt naarmate men verder afdaalt in de gebruikersketen.

Het gevolg daarvan is dat het voor de gemiddelde bouwonderneming erg moeilijk is tot een behoorlijke risicobeoordeling te komen en een veilige werkplek voor haar werknemers in te richten. Een van de mogelijke manieren waarop zij zelf rekening kunnen houden met onbekende factoren is door een voorzorgsbenadering te volgen. Echter, om de kennislacune te helpen overbruggen is het aan te raden een select aantal hulpmiddelen te ontwikkelen die bouwondernemingen een handvat bieden om deze benadering in de praktijk te brengen (bijvoorbeeld een registratie- en meldingssysteem, nanoreferentiewaarden of goede praktijken voor een select aantal werkzaamheden met verhoogd risico).

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1. Inleiding.....	5
2. Nanotechnologie in de bouwsector	7
2.1 Factoren van invloed op het gebruik van nanoprodukten in de bouw.....	8
2.2 Activiteiten om arbeidsveiligheid te waarborgen	14
3. Nanoprodukten op de bouwlocatie.....	16
3.1 Inleiding.....	16
3.2 Cement, beton en natte mortel.....	17
3.3 Coatings en verven.....	18
3.4 Nanotechnologie en infrastructuur	21
3.5 Isolatiematerialen	21
4. Gezondheidsrisico's	23
4.1 Inleiding.....	23
4.2 Blootstellingstrajecten	24
4.3 Gezondheids- en veiligheidsrisico's verbonden aan verschillende nanodeeltjes	25
4.4 Mogelijke benaderingen voor een veilig gebruik van nanoprodukten	26
5. Mogelijkheden voor verdere activiteiten ter ondersteuning van veiligheid op de werkvloer	31

1. Inleiding

In het kader van de Europese maatschappelijke dialoog hebben de FIEC (Europees verbond van het bouwbedrijf) en de EFBH (Europese Federatie van Bouw- en Houtarbeiders) IVAM UvA opdracht gegeven tot het onderzoeken in hoeverre betrokkenen zich momenteel bewust zijn van nanoprodukten. Ook werd verzocht een overzicht te maken van nanoprodukten die momenteel op de Europese bouwmarkt in omloop zijn. In dit document worden de resultaten van een uitgebreide studie naar de stand van zaken in 2009 ten aanzien van de beschikbaarheid, het gebruik en de gezondheids- en veiligheidsaspecten van nanoprodukten in de Europese bouwsector samengevat. De bevindingen van deze studie worden in detail beschreven in het hoofdrapport "Nanotechnology in the European Construction Industry, state-of-the-art 2009"

Vanwege de constante druk vanuit de markt om te komen tot duurzamer, milieuvriendelijker en goedkopere producten, vindt er voortdurend onderzoek en ontwikkeling plaats ten aanzien van producten voor het bouwbedrijf. Een van de recentste technologische ontwikkelingen die bij onderzoek en ontwikkeling wordt toegepast, is nanotechnologie. Nanotechnologie betekent feitelijk niets meer dan de mogelijkheid om materialen (en hun gedrag) te kunnen waarnemen, volgen en beïnvloeden tot op de nanometer (nm) (ongeveer 10.000 maal kleiner dan de dikte van een mensenhaar). Hierbij komen geavanceerde beeldvormingstechnieken kijken waarmee materiaalgedrag wordt bestudeerd en verbeterd. Daarnaast zijn ook het ontwerp en de productie van zeer fijne poeders, vloeistoffen of vaste stoffen die deeltjes bevatten ter grootte van 1 tot 100 nm, zogeheten nanodeeltjes, voorwerp van studie. Bedrijven gebruiken deze nanodeeltjes om nieuwe of verbeterde eigenschappen aan hun producten toe te voegen. Voorbeelden daarvan zijn doorzichtige, infrarode, reflecterende venstercoatings voor een beter binnenklimaatbeheer, ultrasterk betonmateriaal voor dunnere en lichtere constructies en zelfreinigende coatings die tevens helpen organische luchtvervuiling tegen te gaan.

Hoewel er op het internet in ruime mate informatie over nanotechnologie in de bouw voorhanden is en de verwachtingen voor de toekomst hooggespannen zijn, is de werkelijkheid van vandaag de dag dat slechts een beperkte hoeveelheid nanoprodukten ook daadwerkelijk in de bouw worden toegepast, eenvoudigweg vanwege het feit dat de technieken en de nanobestanddelen te kostbaar zijn om producten te produceren die kunnen concurreren met reeds bestaande. Volgens enkele groter spelers op dit gebied: *"in dit opzicht ligt de bouwnijverheid over het algemeen ongeveer 10 jaar achter, vanwege de kosten die ermee gepaard gaan en vanwege de technische en veiligheidsnormen die aan de gebruikte materialen worden gesteld."*

Desondanks is het van belang op te merken dat dit soort producten in steeds groteren getale beschikbaar is. Nano-bouwproducten hebben unieke kenmerken maar zouden daarnaast ook nieuwe gezondheids- en veiligheidsrisico's voor de werknemer met zich mee kunnen brengen. Omdat nanomaterialen en -producten in het algemeen een nieuw fenomeen zijn, is het inzicht krijgen in deze gezondheids- en veiligheidsrisico's nog maar net begonnen.¹ Samen met de hoge

¹ In verband met de gezondheidsrisico's en blootstellingskinetica van nanomaterialen en -producten blijven verschillende vragen tot op heden onbeantwoord. Aan de andere kant is er ondertussen veel kennis en ervaring opgedaan met het beoordelen van gezondheid en veiligheid op de werkplek en de omgang met blootstellingsrisico's. Ons voordeel doen met de wetenschap die wij wel hebben om hetgeen wij niet weten tegemoet te treden: dat is de uitdaging waarvoor wij ons gesteld zien wanneer we met nano-producten werken.

verwachtingen van nanoproducten in de nabije toekomst² draagt dit bij aan het belang om de ontwikkelingen op het gebied van nanotechnologie vanaf het begin te volgen en om bewustzijn te creëren van de op het moment heersende onzekerheden met betrekking tot de gezondheids- en veiligheidsaspecten rondom nanomaterialen en -producten. Op die manier kunnen de geëigende maatregelen worden getroffen wanneer dit noodzakelijk wordt geacht. Dit rapport is bedoeld om meer inzicht te verschaffen in het gebruik van nanoproducten die vandaag de dag in de bouwsector worden toegepast en hun karakteristieken, om aan de hand daarvan tot een betere, op basis van kennis gemaakte risicobeoordeling te komen.

Als we het hebben over nanomaterialen en nanoproducten, moeten we wel beseffen dat er nog geen definities zijn waarover consensus bestaat. Hierdoor ontstaan al gauw misverstanden. In het onderhavige rapport worden de volgende definities gehanteerd:

1. een nanomateriaal is een uit deeltjes opgebouwd materiaal dat nanodeeltjes bevat, of agglomeraten of aggregaten daarvan in vaste vorm of gedispergeerd in een vloeistof, of inwendige of uitwendige nanostructuren of -domeinen.
2. een nanoproduct is elk product waaraan opzettelijk een nanomateriaal is toegevoegd om de eigenschappen van het product te beïnvloeden.

Nanodeeltjes worden gedefinieerd als "geconstrueerde" deeltjes (door de mens gemaakt, ten onderscheid van "natuurlijke" nanodeeltjes, die bijv. bij vulkaanuitbarstingen ontstaan) ter grootte van 1 - 100 nm. Deze deeltjes kunnen zowel oplosbaar als niet-oplosbaar zijn. Momenteel worden alleen de niet-oplosbare deeltjes aangeduid met de term nanodeeltjes, want het zijn deze niet-oplosbare persistente deeltjes die voor wat betreft de potentiële nanotypische gezondheidseffecten het meest van belang zijn. Thans begint echter ook een discussie op gang te komen rond mogelijke nanotypische gezondheidseffecten van oplosbare nanodeeltjes, vanwege hun nanotypische bestemming in het milieu.

² zie bijvoorbeeld www.hessen-nanotech.de

2. Nanotechnologie in de bouwsector

Drie trajecten werden bewandeld om een omvattend beeld te krijgen van de mate waarin nanomaterialen en nanoprodukten vandaag de dag in de bouw beschikbaar zijn en worden toegepast, om enig inzicht te verwerven in actuele ontwikkelingen die in de nabije toekomst zouden kunnen leiden tot het gebruik van nanoprodukten, en om beroepsgerelateerde gezondheids- en veiligheidsrisico's in verband met het gebruik van nanoprodukten te signaleren en in perspectief te plaatsen:

1. De grondslag voor het gepresenteerde inzicht in de nanomaterialen en -producten in de bouwsector en de beroepsgerelateerde gezondheidsrisico's die bij de toepassing van die materialen en producten een rol zouden kunnen spelen, werd gevormd door een uitgebreide studie van (wetenschappelijke) literatuur en een zoektocht op het internet.
2. De FIEC en de EFBH hebben een enquête uitgevoerd onder hun leden in 24 Europese landen om het algemene bewustzijn onder werkgevers (vertegenwoordigers) en werknemers te peilen ten aanzien van de verschillende toepassingen van nanoprodukten in de sector (hierna de "enquête van 2009" te noemen). De enquête van 2009 was erop gericht een eerste indruk te krijgen van ervaringen op dit gebied, redenen om over te stappen op een nanoprodukt en gezondheids- en veiligheidsaspecten die door de leveranciers van de producten waren meegedeeld. Men had met de enquête geenszins de bedoeling een breed en gedetailleerd inzicht te verkrijgen in het gebruik en het werken met nanoprodukten in de bouwnijverheid vandaag de dag, aangezien dit een veel uitgebreider benadering zou vergen.
3. Om een dieper inzicht te verwerven in de actuele ontwikkelingen op het vlak van nanoprodukten voor de bouwsector werden diepte-interviews gehouden met in de bouw werkzame werknemers en werkgevers, bouwkundigen, producenten en wetenschappers die werkzaam zijn op het gebied van onderzoek naar en ontwikkeling van bouwmaterialen en -producten. Met de resultaten van deze interviews konden de uitkomsten van de enquête van 2009 en die van de zoektocht naar informatie in de wetenschappelijke literatuur en op het internet in perspectief worden geplaatst. Ook kwamen in deze interviews die ontwikkelingen op het gebied van nanotechnologie, die momenteel als de voornaamste voor de bouwsector kunnen worden aangemerkt, extra naar voren.

Tabel 0-1 Overzicht van de typische achtergrond (functieprofiel) van de respondenten die hebben deelgenomen aan de enquête van 2009 en een overzicht van de verschillende soorten organisaties die voor de diepte-interviews waren benaderd

Respondenten ³	Functie	Diepte-interviews (%)	Soort organisatie
6	Werkgever	21	Bouwonderneming
4	Schilder (werknemer, werknemersvertegenwoordiger)	21	(Grondstof)producenten
4	Veiligheidsadviseur (werknemer, werknemersvertegenwoordiger)	9	Brancheorganisaties
3	Diversen (werknemer, werknemersvertegenwoordiger)	4	Bouwkundigen
11	Niet nader aangeduid (werknemer, werknemersvertegenwoordiger)	42	Onderzoek en Ontwikkeling universiteit

³ Er werden in totaal 28 reacties ontvangen vanuit 14 verschillende Europese landen, en daarnaast van 38 arbodeskundigen in Nederland, die afzonderlijk worden behandeld.

38 ⁴	Gezondheids- en veiligheidsadviseurs / arbeidshygiënist (alleen Nederland)	
-----------------	---	--

De verkregen informatie wordt in de volgende paragrafen gepresenteerd. Tabel 0-1 geeft een overzicht van het functieprofiel van hen die de enquête van 2009 hebben ingevuld en de soort organisaties die voor de diepte-interviews waren benaderd.

2.1 Factoren van invloed op het gebruik van nanoproducten in de bouw

In 2003 hadden O&O-specialisten hoge verwachtingen van de ontwikkelingen van nanoproducten voor de bouwnijverheid in de nabije toekomst. Echter, slechts weinige van de producten waar men indertijd veel van verwachtte, hebben ook daadwerkelijk hun weg naar de moderne bouwplaats gevonden.⁵ Daar kunnen verschillende redenen voor worden aangewezen. De voornaamste redenen worden in de navolgende paragrafen besproken.

Concurrentie op prijs

De primaire reden waarom nanoproducten in de samenleving weliswaar veelvuldig worden toegepast, maar nog steeds niet in grote mate in de bouwnijverheid, heeft te maken met de daaraan verbonden kosten. Momenteel zijn nanomaterialen, en dus ook nanoproducten, vanwege de technologie die nodig is om ze te produceren, aanmerkelijk duurder dan hun nano-vrije alternatieven. Dit houdt voor de bouwsector in dat initiatieven reeds in de fase van onderzoek en ontwikkeling van een product worden gestaakt zodra men voorziet dat er aan het te vervaardigen nanoproduct nooit een concurrerend prijskaartje zal komen te hangen. Grotendeels is dit te wijten aan het feit dat bouwproducten vrijwel altijd in grote hoeveelheden worden geleverd, waardoor een gering prijsverschil in kilo kan oplopen tot enorme bedragen als de totale omvang van het bouwproject in aanmerking wordt genomen.

Bijgevolg deinzen fabrikanten van bouwmaterialen ervoor terug nanoproducten te ontwikkelen. En alleen die nanoproducten worden ontwikkeld waaraan een specifiek verzoek ten grondslag ligt. Dit geldt in het bijzonder voor producten die in grotere volumes worden geleverd, zoals beton en mortel, en voor bouwcoatings. Wel is het zo dat de huidige maatschappelijke oriëntatie op een meer verantwoord energiebeheer in het kader van klimaatverandering en de terugdringing van broeikasgassen de gang naar de markt bevordert, bijv. voor isolatiematerialen en coatings voor gebouwen en glas.

Technische prestaties

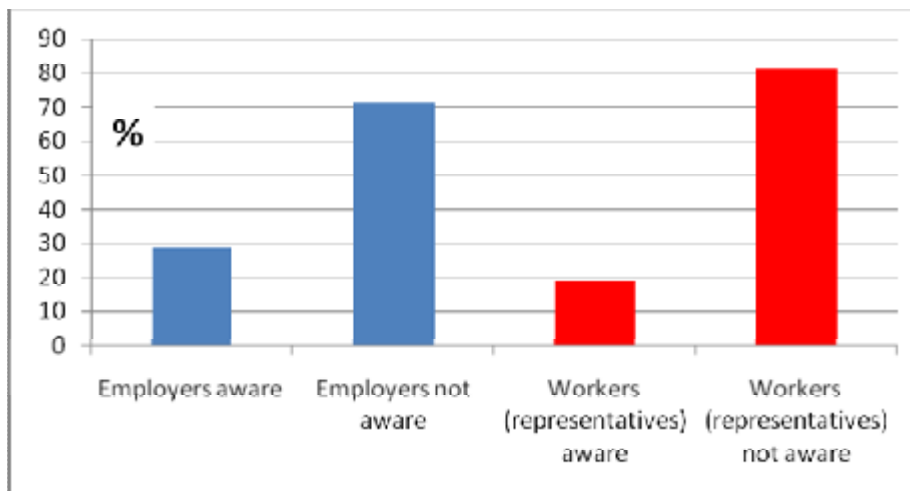
De technische prestatie van het product is een tweede beperkende factor voor de introductie van nanoproducten op grote schaal. De technische prestatie behoort overtuigend te worden bewezen om aan de technische normen voor dat materiaal te beantwoorden. Het spreekt voor zich dat dit per marktsector verschilt. Zo is dit bijvoorbeeld voor beton een kritieke factor. Voor zelfreinigende venstercoatings speelt dit veel minder een rol omdat bijvoorbeeld de veiligheidsnormen veel lager liggen.

Bewustzijn binnen de sector

⁴ De respons van Nederlandse arbeidshygiënist en gezondheids- en veiligheidsadviseurs (38 respondenten in totaal) vormde binnen de enquête van 2009 een uniek geheel. Deze werden derhalve afzonderlijk geëvalueerd. De resultaten die uit deze evaluaties naar voren kwamen, stemden volledig overeen met de uitkomsten van de overige respons.

⁵ Bartos PJM 2009, Nanotechnology in Construction 3, Proceedings of the NICOM3. ISBN 978-3-642-00980-8

Bewustzijn (of het gebrek daaraan) is evenzeer een belangrijke factor die het gebruik van nanoprodukten in de bouw tegenhoudt. Zonder dit bewustzijn weet men eenvoudigweg niet of er iets nieuws is wat het gebruiken of onderzoeken waard is. In Europa is de kennis over nanotechnologie in de bouw zeer beperkt en op dit moment in handen van een klein aantal belangrijke spelers die bezig zijn deze markt te ontginnen. De enquête die de FIEC en de EFBH in 2009 hebben gehouden om het bewustzijn onder werknemers in de bouw en hun werkgevers te peilen, resulteerde in afbeelding 0-1. Daaruit blijkt dat de meerderheid van de respondenten (~75%) niet weet of zij met nanoprodukten werkt. Deze uitkomst is gebaseerd op 28 teruggezonden enquêteformulieren. Het streven lag bij drie teruggezonden formulieren per FIEC- of EFBH-lid uit elk van de benaderde 24 Europese landen (een totaaldoelstelling van 144 teruggezonden formulieren).⁶



Afbeelding 0-1-Respons van werkgevers en werknemers (vertegenwoordigers) op de enquête van 2009 naar de mate van bewustzijn van de aanwezigheid van nanoprodukten op de werkvloer.

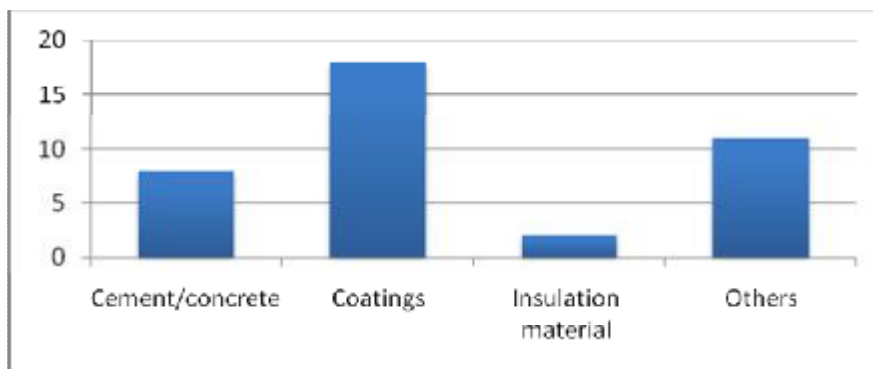
Echter, de uitkomsten van de enquête mogen niet alleen worden geïnterpreteerd om een indicatie te geven van de huidige kennisstand in de sector ten aanzien van het gebruik van nanoprodukten in de bouwnijverheid. Het is zelfs waarschijnlijk dat de uitkomst van 25% voor de "bewuste" respondenten op grond van positieve selectie aan de hoge kant is. Immers, degenen die zich bewust zijn dat ze met nanoprodukten werken, zullen veel eerder genegen zijn aan de enquête deel te nemen. Hieronder enkele citaten afkomstig van diverse opmerkingen van werkgevers en vertegenwoordigers van werknemers als reactie op de enquête van 2009:

- "...Ik heb met een paar bedrijven over dit onderwerp gesproken en nergens was men zich bewust van materialen die deze producten bevatten. Ik heb ook gesproken met een paar mensen van het Uitvoerend Orgaan Gezondheid en Veiligheid. Ook zij zijn zich niet bewust van deze producten... (Verenigd Koninkrijk)"
- "...we hebben geprobeerd informatie te krijgen van verschillende subsectoren in de bouw, maar we hebben tot op heden geen bruikbare indicaties ontvangen. Het probleem (en we zijn er ook niet erg verbaasd over) wordt nog steeds niet onderkend (Zwitserland)"
- "...het onderwerp is gewoon te abstract en te onbekend om een enquête over in te vullen (NL)"

⁶ Uit 14 verschillende landen werden enquêteformulieren terug ontvangen, doorgaans 1 of 2 per land, behalve voor Nederland. Dat de respons in Nederland veel hoger was, is te danken aan een parallel lopend (nationaal) project dat nanoprodukten in de bouwnijverheid en daaraan gerelateerde arbeidsblootstelling onderzoekt.

Samen met de bevindingen uit de diepte-interviews, die gelijktijdig met de enquête van 2009 met een aantal belangrijke spelers (bijv. BASF, Heidelberg Cement, Skanska) werden gehouden, suggereren deze opmerkingen dat de nanotechnologie nog niet bijzonder diep in de bouwsector is doorgedrongen. Een reeks contactmomenten met verschillende kleine en middelgrote ondernemingen bevestigen het beeld dat nanotechnologie slechts een nichemarkt vormt binnen de hedendaagse bouwnijverheid. Echter, er zijn, vanuit Denemarken, ook tegenovergestelde geluiden opgevangen bij een bedrijf dat adviseert op het gebied van gezondheid en veiligheid in het loodgieters- en elektriciteitswezen. Dit bedrijf geeft aan dat men *“.....niet beschikt over informatie dat er in deze sectoren wordt gebruikgemaakt van nanoproducten, maar dat men ervan overtuigd is dat bepaalde producten waarmee men te maken heeft, wel degelijk nanoproducten zijn.”*

Respondenten die in de enquête van 2009 aangaven tijdens hun werkzaamheden met nanoproducten in aanraking te komen, werkten voornamelijk met cement of cementproducten, coatings of isolatiematerialen (zie afbeelding 0-2). Slechts een paar andere respondenten noemden andere soorten producten, zoals producten voor wegbedekking, vlamvertragende materialen of textielen. Alle respondenten gebruikten nanoproducten omwille van hun prestatiekenmerken (waarbij een alternatief product werd uitgesloten) en soms op (extra) specifiek verzoek van de klant.



Afbeelding 0-2 Nanoproducten waarvan werd aangegeven dat ze daadwerkelijk werden gebruikt, aantal producten per soort product, op basis van de uitkomsten van de enquête van 2009.

Interessant is echter het gegeven dat sommige respondenten die “Nee, ik weet niet of ik met nanoproducten werk” hebben geantwoord, wel aangaven dat ze misschien met sommige soorten nanoproducten werken nadat hun een lijst met specifieke productsoorten was voorgelegd (~18% van alle respondenten: werknemers, werknemersvertegenwoordigers en werkgevers). De productsoorten die doorgaans door deze respondenten als zodanig worden herkend, overlappen met die producten die bij name zijn genoemd door de respondenten die zich ervan bewust zijn met nanoproducten te werken (~21% van alle respondenten: werknemers, werknemersvertegenwoordigers en werkgevers). Dit wijst weliswaar op een meer algemeen gebrek aan kennis over de aard van de producten waarmee wordt gewerkt, maar zou ook kunnen worden gedeut als een weerspiegeling van die productgroepen waarvan de respondenten zouden kunnen verwachten dat daarin als eerste nanoproducten worden verwerkt. Aan de andere kant zou de respons ook kunnen zijn beïnvloed door marketinguitingen waarin het voorvoegsel *nano-* wordt geassocieerd met superieure technische productprestaties, waarmee de suggestie wordt gewekt dat alle “nieuwe”, “unieke” of “extra sterke” producten vermoede nanoproducten zijn.

Voordelen van nanotechnologie voor de sector

Voorwaarde voor het toepassen van nanotechnologie voor onderzoek naar en de ontwikkeling van verbeterde materialen is een sterke O&O-afdeling die in de gelukkige omstandigheid verkeert te

beschikken over kostbare apparatuur en gekwalificeerd personeel kan inzetten om die apparatuur te bedienen. Echter, aangezien de bouwsector niet al te zeer is gericht op onderzoek en ontwikkeling, wordt onderzoek naar en ontwikkeling van nanoprodukten veelal verricht door grote multinationale producenten, zoals BASF, AKZO-NOBEL, DuPont, Heidelberg en ItalCementi, of door gespecialiseerde onderzoeksinstituten (universitair of privaat). Dit impliceert indirect dat het midden- en kleinbedrijf binnen de bouwsector slechts een geringe of helemaal geen voortrekkersrol speelt op het gebied van nanotechnologie. Uitzonderingen daarop zijn spin-offs van kleine en middelgrote ondernemingen die een contract hebben dat hen in staat stelt gebruik te maken van onderzoeksvoorzieningen van hun grotere moedermaatschappij, kleine en middelbare ondernemingen die eens waren opgezet als spin-offs van academische instellingen (en gebruik kunnen maken van voorzieningen aan de universiteit), gericht op nanospecifieke nichemarkten, bijvoorbeeld productie en ontwerp op aanvraag van specifieke nanomaterialen, en een klein aantal middelgrote en kleine ondernemingen die erin zijn geslaagd om de successen en doorbraken van de grotere ondernemingen aan te wenden om hun eigen productlijnen op innovatieve wijze te ontwikkelen.

In de bedrijfstak die coatings vervaardigt is echter een wijziging in deze situatie waar te nemen. Kenmerkend voor de ontwikkeling van nanocoatings is dat zij vergevorderd is ten opzichte van andere bouwproducten, zoals beton of isolatiematerialen. Bovendien raken werkwijzen voor het toepassen van nanomaterialen in toenemende mate bekend onder producenten. Om deze reden beginnen op het terrein van verven en coatings kleine en middelgrote ondernemingen ook een rol te spelen en hun eigen lijn met nanoprodukten te ontwikkelen.

Informatieverstrekking over nano door de gehele gebruikersketen heen

Voor de gemiddelde werknemer in de bouw geldt gedetailleerde informatie over de chemische aard van het product waar hij of zij mee werkt niet als hoogste prioriteit. Waar daarentegen wel behoefte aan is, is informatie over de gezondheids- en veiligheidsaspecten ervan. Dit geldt voor "gewone" producten en is niet anders voor nanoprodukten. Het gebruik van gestandaardiseerde methoden om arbeidsgerelateerde gezondheidsrisico's ten gevolge van blootstelling aan nanoprodukten vast te stellen, is het onderwerp van het debat dat momenteel wordt gevoerd. Echter, ten aanzien van de toepasbaarheid van deze methoden is een aantal vragen alsnog onbeantwoord gebleven. Bijgevolg heerst er een algemene onzekerheid over de gezondheids- en veiligheidsrisico's van nanoprodukten, die met de nodige voorzichtigheid behoren te worden behandeld en gebruikt.

Nanomaterialen kunnen veel reactiever zijn (per gram of materiaal) dan hun vormgenoten buiten het nanobereik en gedragen zich mogelijk totaal anders. Ze zouden daarom ook heel andere gezondheidseffecten kunnen sorteren, die mogelijk ernstiger zijn. De gestelde veiligheidslimieten, waarvoor bij overschrijding van die grenzen de registratie- en meldingsplicht geldt, zijn derhalve wellicht te hoog om een veilige werkplek te waarborgen en zouden om die reden moeten worden verlaagd. In Europa dringt de lobby van de ETUI en de ETUC erop aan hierin verandering te brengen via een wijzigingsvoorstel in REACH dat behelst dat er voor alle nanomaterialen die opzettelijk aan een product zijn toegevoegd, een meldingsplicht gaat gelden.

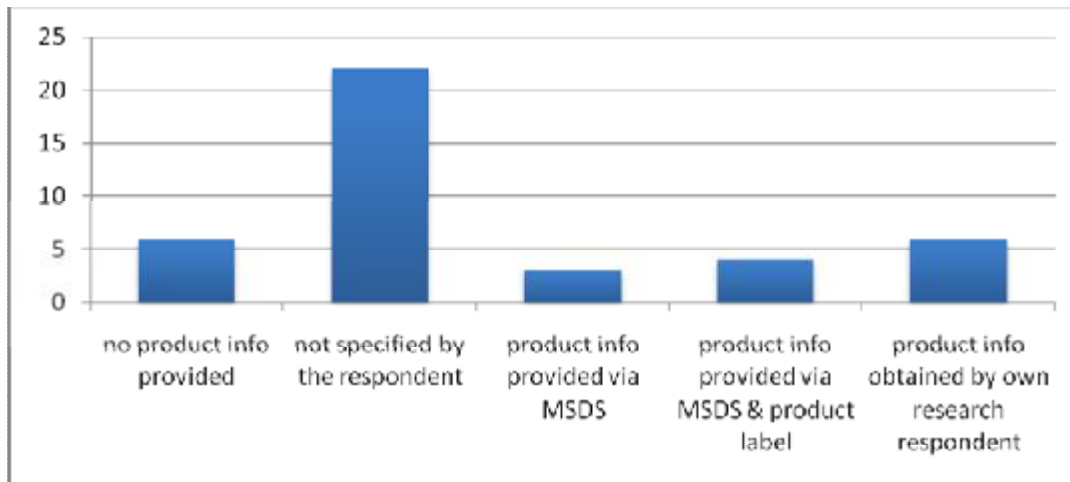
Vandaag de dag zijn de mogelijkheden om de chemische gegevens van nanoprodukten te achterhalen nog zeer beperkt. Niet veel producenten die nanobestanddelen of nanomaterialen in hun producten verwerken, brengen hun klanten van dit feit op de hoogte. Immers, deze verplichting wordt hun vanwege de Verordening betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels (CLP)⁷ niet opgelegd. In de enquête van 2009 geven de respondenten slechts voor 7 van

⁷ http://ec.europa.eu/environment/chemicals/dansub/home_en.htm ;Engelse versie van EG-verordening nr. 1272/2008: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:EN:PDF>

de 41 nanoprodukten waarvan het gebruik werd vermeld, aan dat ze via een gegevensblad over materiaalveiligheid (Material Safety Data Sheet; MSDS) op de hoogte zijn van de productkenmerken. Van die 7 producten schreef de MSDS slechts in 4 gevallen beschermende maatregelen voor die afwijken van de maatregelen die werden voorgeschreven voor de producten buiten het nanobereik die voordien door dezelfde bouwonderneming werden gebruikt (zie afbeelding 0-3). De verkregen respons lijkt erop te wijzen dat de gezondheids- en veiligheidsaspecten van het product voor de meerderheid van de producten slecht worden gecommuniceerd in de gebruikersketen (voor zover de respondenten – werknemers en werkgevers in de bouw - weten is er voor 34 van de producten geen MSDS beschikbaar). Voor die producten die wel vergezeld gaan van een MSDS hangt het van de fabrikant of de leverancier af of er in de bewuste MSDS gezondheids- en veiligheidsinformatie staat vermeld die specifiek betrekking heeft op het nanobestanddeel. Voor die producten waarvan de respondenten in de enquête van 2009 gewag maakten, bevatten de meeste MSDS-gegevensbladen geen vermelding van nanobestanddelen, terwijl het blad met technische gegevens de ene keer duidelijk aangeeft, de andere keer suggereert en weer een andere keer lijkt te suggereren (bijvoorbeeld vanwege de naam van het product) dat het product wel degelijk ten minste één nanomateriaal bevat. De nanospecifieke informatie die op het technische-gegevensblad staat vermeld, varieert van bijzonder gedetailleerd: een vermeld groottebereik met een SEM-afbeelding⁸ van het nanodeeltje of een beschrijving van het actieve oppervlak van het nanomateriaal per gram, tot een “eenvoudige” opmerking: bijvoorbeeld dat het product nanokwarts bevat (zonder verder aan te geven hoe dit kwarts eruitziet.)

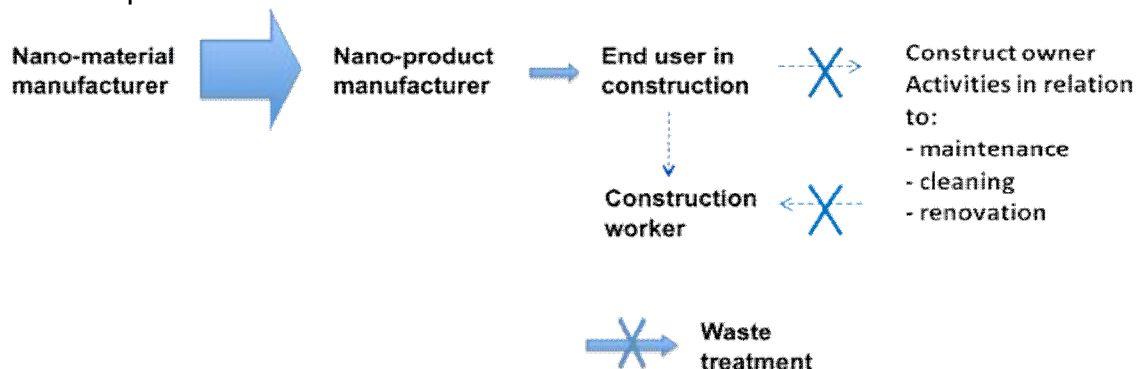
In alle gevallen waarin meer informatie over het nanoprodukt werd gegeven, stellen de fabrikanten dat hun product bij gebruik volgens de voorschriften geen risico's oplevert en werden er in geen enkel geval (nano)specifieke vaardigheden of idem opleiding vereist om het nanoprodukt op de juiste wijze te gebruiken. Bovendien werden de voorgeschreven beschermende maatregelen voor de meeste nanoprodukten die in de enquête van 2009 werden genoemd, beschreven als 'niet anders dan voordien', in die gevallen waarin voordien producten buiten het nanobereik werden gebruikt en waarvan werd aangegeven dat het gebruik ervan geen invloed had op de werkpraktijk. Slechts voor twee producten werden wel meer beschermende maatregelen voorgeschreven vergeleken met de producten buiten het nanobereik die voor dezelfde toepassing werden gebruikt. Voor de producten die in de enquête van 2009 werden aangegeven, geldt dit laatste voor twee cementachtige producten die nanosilica bevatten. Er waren echter ook tekenen die erop wijzen dat nanoprodukten de werkzaamheden er makkelijker op maken.

⁸ SEM = Scanning Electron Microscopy (rasterelektronenmicroscopie)



Afbeelding 0-3 Specificatie van productinformatie voor de te gebruiken nanoproducten in de enquête van 2009 (weergave in aantallen)

De informatietoevoerketen zoals die er vandaag de dag uitziet, kan globaal als volgt worden beschreven (zie tevens afbeelding 0-4). De “grondstof”producenten van nanomaterialen voorzien de eerstvolgende gebruiker onder hen in de keten (gewoonlijk de fabrikant van het product) van gegevens over de materiaaleigenschappen (zoals reactiviteit, specifiek typisch gedrag, grootte, vorm, kristalstructuur, massa en dichtheid) en gezondheids-, veiligheids- en milieuspecificaties van het materiaal (voor zover deze bekend zijn). Naargelang hun zakelijke relatie kunnen deze gegevens beperkt blijven tot het vereiste wettelijke minimum of uitgebreider als er sprake is van onderling vertrouwen. Op dat punt houdt de keten waarlangs nanospecifieke informatie wordt doorgegeven doorgaans echter op. De fabrikanten van het product gebruiken het nanomateriaal in de meeste gevallen slechts als een toevoeging beneden het concentratieniveau waarvoor registratie en melding vereist is. Onder deze fabrikanten zijn er slechts een paar die hun klanten hoe dan ook informeren. Die informatie bestaat soms echter alleen uit de vermelding “met gebruikmaking van nanotechnologie”, zonder nader in detail te treden. Voor de klant blijft het dan gissen wat er eigenlijk in dit nanoproduct zit.



Afbeelding 0-4 Intensiteit van de nanospecifieke informatievoorziening langs de gebruikersketen omlaag, vanaf de grondstofleverancier tot aan degenen die het afvalmateriaal verwerken. De dikte van de pijl stelt globaal de hoeveelheid nanospecifieke informatie voor die wordt verstrekt aan de eerstvolgende gebruiker langs de keten omlaag.

Nano is hot

Nanotechnologie en de producten die deze technologie voortbrengt worden gezien als een oplossing voor vele van de voornaamste problemen van tegenwoordig, zoals het opraken van minerale hulpbronnen, milieuvervuiling, energieverbruik en de uitstoot van broeikasgassen, en zelfs voor

veiligheidskwesties zoals terroristische aanslagen en wereldvrede. Deze enorme verwachtingen hebben ertoe geleid dat *nano-* wordt gelijkgesteld met hoera-woorden als *succes*, *high performance* en *duurzame ontwikkeling*. Als gevolg daarvan zijn ondernemingen, maar ook onderzoekers, hun werk gaan verkopen als *nano* om klanten aan te trekken of om financiering los te krijgen. Deze trend is ongeveer tien tot vijftien jaar geleden ingezet en ook nu nog, nu deze trend op zijn retour is vanwege de betrokken vragen rondom de gezondheids- en veiligheidsrisico's en vanwege druk vanuit brancheorganisaties om verwarring rondom het onderwerp *nano* te vermijden⁹, wordt *nano* gebruikt om de hoogwaardige technische prestatie of het subtiele, slimme ontwerp van een product te benadrukken.

En dit geldt niet alleen voor producten die ook daadwerkelijk nanomaterialen bevatten. Ook producten die zeer standaard zijn en enzymen bevatten (en wat grootte betreft doorgaans vallen binnen het nanobereik) of oliedispersies (die kleine oliedruppels bevatten met een nanodiameter) krijgen het etiket *nano-* opgeplakt. Of producten die kunnen worden beschouwd als grensgevallen, waarvan de uitgangsstoffen weliswaar worden geproduceerd met gebruikmaking van nanomaterialen of nanoproductieprocessen, maar waarvan de eigenlijke bestanddelen niet langer nanomaterialen zijn. Het gevolg is een situatie van verwarring, waarin nanoprodukten soms worden verkocht als nanoprodukten, terwijl ook het tegenovergestelde wel voorkomt: producten buiten het nanobereik die soms worden verkocht als nanoprodukten

2.2 Activiteiten om arbeidsveiligheid te waarborgen

Bovenstaande ten spijt zijn fabrikanten van nanoprodukten zich steeds bewuster gaan worden van de potentiële en grotendeels onbekende gezondheids- en veiligheidsrisico's die kleven aan het gebruik van en de omgang met nanodeeltjes. Op bouwlocaties kan men te maken krijgen met blootstelling aan nanodeeltjes door:

1. primair gebruik van het nanoprodukt: werken met een nanoprodukt (een meteen te gebruiken product of een uit meerdere componenten opgebouwd product dat ter plaatse wordt gemengd)
2. secundair gebruik van een nanoprodukt: het machinaal bewerken van een nanoprodukt (bijv. boren, zandstralen, reinigen)

Met name wanneer deze activiteiten bestaan uit het hanteren van poederachtige of vloeibare materialen of het voortbrengen van poeder of aerosolen, is een zorgvuldige risicobeoordeling vereist. Typische voorbeelden van zulke werkzaamheden: spuiten van nanocoating, toevoegen van silica fume aan natte mortel, zandstralen van een fotoactieve betonnen gevel, of reinigen van een antibacteriële (zilver bevattende) muur. Aan de andere kant is de verwachting dat de risico's van blootstelling aan nanodeeltjes door hantering van vaste (geprefabriceerde) nanoprodukten, bijvoorbeeld met nanodeeltjes versterkt keramiek, glas, staal, plastic, composieten, isolatiematerialen, beton of hout zonder deze op enige wijze machinaal te bewerken, als die risico's al aanwezig zijn, gering zijn, omdat niet wordt verwacht dat de nanodeeltjes uit de vaste matrix zullen ontsnappen. Blootstelling zou zich echter wel kunnen voordoen na verloop van tijd, wanneer het materiaal gaat slijten, tijdens renovatiewerkzaamheden aan het bouwobject of tijdens sloopwerkzaamheden.

In een eerste poging om een veilige werkplek te creëren hebben uiteenlopende soorten organisaties, van vooraanstaande fabrikanten van materialen tot de Europese Commissie, geadviseerd een voorzorgsbenadering te volgen. Als gevolg van de voortdurende nadruk op een voorzorgsbenadering, die wordt gepropageerd via de verschillende gedragscodes en ondersteund door de Europese

⁹ Ter sprake gekomen tijdens gesprekken met individuele personen bij een aantal verschillende materiaalproducerende ondernemingen.

Commissie en de grotere voornaamste betrokken ondernemingen zoals BASF en Dupont, geschiedt de productie van het overgrote deel van nanodeeltjes en nanomaterialen in vloeibare vorm (suspensie of oplossing), in omstandigheden “onder druk” of onder afgedichte omstandigheden om zo de deeltjes optimaal te kunnen beheersen en blootstellingsrisico’s te verminderen. Om deze redenen, en in tegenstelling tot enige jaren geleden, worden toevoegingen binnen het nanobereik meestal geleverd in de vorm van een suspensie of oplossing, en zijn ze door de productfabrikant meteen te gebruiken. Wanneer dit niet mogelijk is, bijvoorbeeld bij silica fume voor zeerhogesterktebeton, en de poedervorm van de toevoegingen moet worden gehandhaafd, worden andere oplossingen bedacht om blootstelling te voorkomen, zoals het gebruik van verpakkingsmateriaal (grote zakken) dat in water oplost en waarvan het materiaal de voorziene productkenmerken niet aantast (beton).

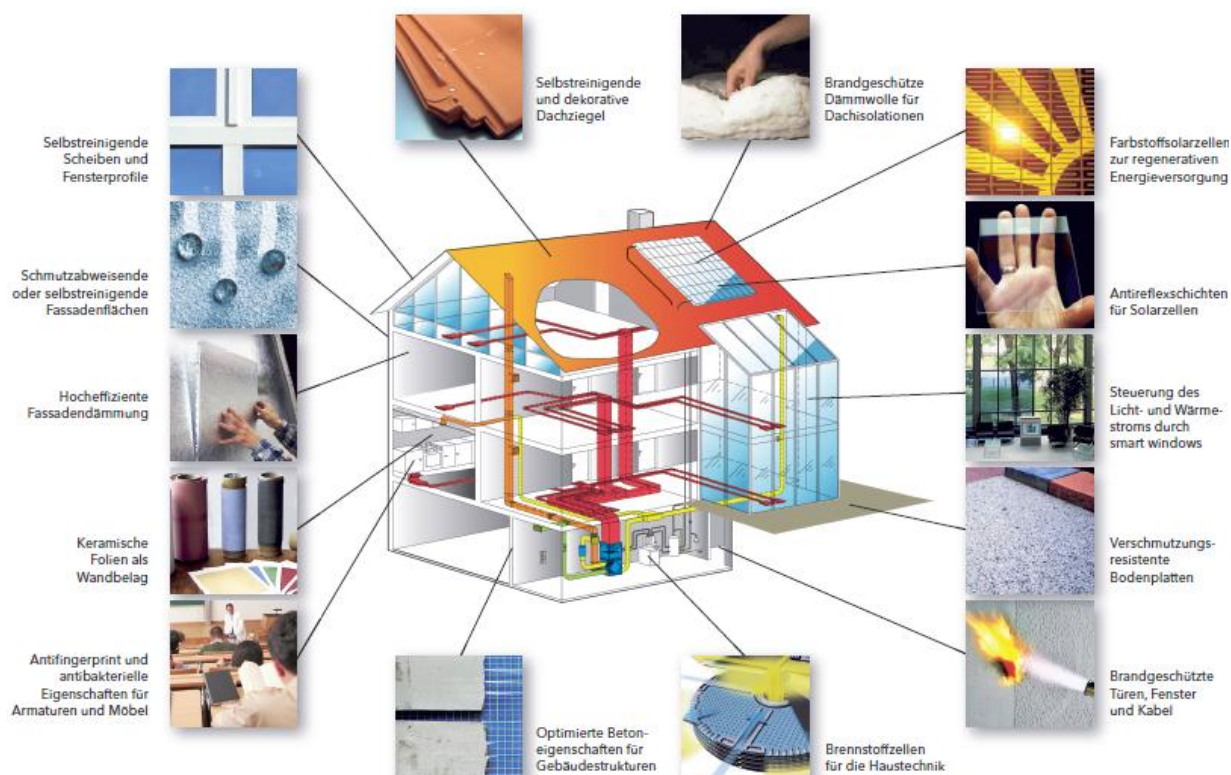
Het blijft echter moeilijk vast te stellen of een specifieke werkpraktijk en de getroffen beschermende maatregelen al of niet toereikend zijn om er veilig mee te kunnen werken. Apparaten om feitelijke blootstellingswaarden op de werkvloer te meten zijn uitermate kostbaar, moeilijk te bedienen en geven slechts in beperkte mate antwoorden op vragen ten aanzien van de mate van werkelijke blootstelling. Op basis van wat vandaag de dag bekend is, zijn er verschillende soorten materialen voor persoonlijke bescherming op de markt die zijn uitgerust om bescherming te bieden tegen blootstelling aan nanodeeltjes. Informatie over materialen voor persoonlijke bescherming staat te lezen in een onlangs door de OESO gepubliceerde studie. Deze studie bevat een goed begrijpelijke handreiking bij de keuze van huidbeschermende apparatuur en respirators om werknemers te beschermen tegen blootstelling aan gefabriceerde nanomaterialen.¹⁰

¹⁰ OECD Environment, Health and Safety Publications Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials No. 12 (2009) ENV/JM/MONO(2009)17

3. Nanoproducten op de bouwlocatie

3.1 Inleiding

Het totale marktaandeel van nanoproducten in de bouwnijverheid is klein, en de toepassing van deze producten wordt gezien als iets dat nichemarkten betreft¹¹. De verwachting is echter dat dit aandeel in de nabije toekomst zal toenemen¹² en dat nanodeeltjes een belangrijke rol gaan spelen aan de basis van materiaalontwerp, materiaalontwikkeling en materiaalproductie voor de bouwnijverheid.¹³ Nu reeds kan men in elk deel van een doorsnee huis of gebouw in principe nanoproducten aantreffen (zie afbeelding 0-5).



Afbeelding 0-5 Schematisch overzicht van een doorsnee modern huis, waarin die plaatsen worden aangegeven waar men nanoproducten zou kunnen aantreffen.¹⁴

Onder de nanoproducten die in de respons op de enquête van 2009 werden genoemd, bevonden zich in hoofdzaak cement en beton, coatings en isolatiematerialen. Deze materialen bleken goed overeen te komen met de productsoorten die tijdens de diepte-interviews nadrukkelijk ter sprake kwamen en waarin werd geschetst dat coatings en cement- en betonmateriaal vermoedelijk het grootste marktaandeel van nanoproducten in het hedendaagse bouwbedrijf vormen, gevolgd door isolatiematerialen. Ook komt bovenstaande overeen met de bevindingen op basis van een in het

¹¹ Gesprekken met individuele personen

¹² Van 20 miljoen Amerikaanse dollar in 2007 tot ~ 400 miljoen dollar voor het eind van 2017; Freedonia Group Inc. Nanotechnology in Construction –Pub ID: FG1495107; 1 mei, 2007

¹³ Nanotechnology and Construction 2006; www.hessen-nanotech.de

¹⁴ Overgenomen uit de brochure "Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen", een uitgave van HA Hessen Agentur 2007, bronnen: Schrag GmbH VDI TZ

kader van dit rapport verricht uitgebreid literatuuronderzoek. Op basis van deze gegevens kwam de prioriteit te liggen bij cement en beton, coatings en isolatiemateriaal. In dit kader bleken koolstoffluoride- (CF-)polymeren, titaandioxide (TiO₂), zinkoxide (ZnO), silica (of silica fume; SiO₂), zilver (Ag), en aluminiumoxide (Al₂O₃) de meest genoemde nanodeeltjes. Interessant te vermelden is ook dat er geen bewijs werd gevonden van het gebruik van koolstofnanobuisjes (CNT) in deze producten, hoewel uit vele publicaties blijkt dat er onderzoek en productontwikkeling in die richting plaatsvindt.

Koolstoffluoridepolymeren (CF-polymeren) zijn teflonachtige moleculen die op een oppervlak worden aangebracht om het water- en olieafstotend te maken. Deze worden doorgaans op glas toegepast. Titaandioxide (TiO₂) absorbeert ultraviolet licht en wordt gebruikt als beschermende laag tegen UV-degradatie. Sommige vormen van TiO₂ zijn fotokatalytisch en katalyseren onder invloed van UV-licht de afbraak van organische vervuilers zoals algen, PAK's, formaldehyde en NO_x. Dit wordt gebruikt voor praktisch elke soort oppervlak dat UV-beschermd moet zijn, zelfreinigend moet worden gemaakt of moet helpen de luchtverontreiniging te verminderen. Zinkoxide (ZnO) heeft fotoactieve eigenschappen die vergelijkbaar zijn met die van TiO₂ en voor vergelijkbare toepassingen kunnen worden gebruikt. Silica fume (amorphe SiO₂) maakt beton compact waardoor het onder alkalische omstandigheden, bijvoorbeeld in mariene omgevingen, sterker en duurzamer wordt. Ook kan het worden toegevoegd aan cement om vulmiddelen, bijvoorbeeld vliegashuis, aan een coatingmateriaal te stabiliseren, waardoor een zeer sterke matrix ontstaat. Ook wordt het gebruikt als brandvertragend middel. Typische toepassingen zijn UHPC (zeerhogesterktebeton) krasbestendige coatings en vuurbestendig glas. Zilver (Ag) werkt als bactericide en kan worden toegevoegd aan allerlei soorten materialen. In de bouw wordt zilver het meest aangetroffen in coatings. Eigenlijk is het het zilver-ion, dat wordt gevormd wanneer Ag in water oplost, dat verantwoordelijk is voor de antibacteriële werking. Aluminiumoxide (Al₂O₃) wordt gebruikt in coatings om een wisselwerking aan te gaan met het bindmateriaal en om deze coating een hoge krasbestendigheid te verlenen.

3.2 Cement, beton en natte mortel

Voor beton betekent de combinatie van een reeds bestaande goede prestatie tegen lage kosten een grote uitdaging voor elke succesvolle toepassing van nanotechnologie.¹⁵ Een van de gebieden waarvoor nanotechnologie momenteel en in de nabije toekomst zeer waardevol zal blijken is de studie (en optimalisatie door een beter inzicht) van de materiële eigenschappen van nanodeeltjes.¹⁶

Bij het gebruik van nanodeeltjes in cementachtige materialen en betonmaterialen gaat het vooral om TiO₂ en silica fume. Beide additieven worden echter in kleine hoeveelheden of in een tweelaagssysteem gebruikt en alleen wanneer dit vanuit het oogpunt van prestatie vanwege de betrokken kosten specifiek vereist is. Voorbeelden van producten op basis van silica fume die momenteel in de handel zijn, zijn: ChronoliaTM, AgiliaTM en DuctalTM van Lafarge en EMACO[®]Nanocrete van BASF¹⁷. Voorbeelden van fotokatalytisch cement zijn TioCem TX Active (Heidelberg Cement¹⁸), NanoGuardStone-Protect van Nanogate AG¹⁹ en TX Arca en TX Aria

¹⁵ NICOM3, conferentienotulen 2009

¹⁶ Verschillende presentaties en gesprekken met individuele personen van een aantal bedrijven en met universitaire wetenschappers tijdens de NICOM3 in Praag

¹⁷ Volgens hun eigen informatie was het aanvankelijke materiaal eigenlijk silica fume, maar dit agglomereerde tijdens het productieproces tot grotere deeltjes.

¹⁸ Volgens hun eigen informatie valt de TiO₂ in dit product niet binnen het nanobereik maar is het enigszins groter: binnen het micronbereik

¹⁹ <http://www.nanogate.de/en/>

(Italcementi), die worden geproduceerd als bindmiddel voor een breed scala aan coatingmaterialen, zoals buitenmuren, tunnels, betonvloeren, plaveien, tegels, daktegels, wegmarkeringsverven, betonnen panelen, pleister- en cementachtige verven²⁰.



Afbeelding 0-1 links: “De EMACO® Nanocrete-serie. Rechts: De Chiesa del Dio Padre Misericordioso in Rome, een van de meest geciteerde successen van fotokatalytisch beton door de toevoeging van TiO_2 . Materiaal: TX Active (TX Arca) van de Italcementi-groep.

Er waren geen aanwijzingen voor het feitelijk gebruik van met CNT versterkt beton. De opgegeven redenen waren de hoge kosten van CNT en de moeite die het kost om ze in een matrix te dispergeren. Echter, de studie naar de mogelijkheden voor toepassing van CNT in beton is een actief onderzoeksgebied.

Vanwege de strikte kwaliteitseisen neemt de ontwikkeling van materialen doorgaans vijf à tien jaar in beslag. Op het gebied van silica fume zijn in de nabije toekomst ontwikkelingen te verwachten om beton met aanzienlijke fracties gerecyclede betonaggregaten en ingekapselde additieven te stabiliseren om het hardingsproces optimaal af te stemmen.

3.3 Coatings en verven

Van alle nanoprodukten die in de bouwnijverheid zijn geïntroduceerd, zijn coatings en verven er tot dusverre waarschijnlijk het beste in geslaagd een plekje in de wereld van de bouw te veroveren. “Als men op een doorsnee bouwlocatie al een nanoprodukt zou aantreffen, dan geldt het hier hoogstwaarschijnlijk verven of coatings”.^{21, 22} Decoratieve coatings komen het meeste voor, maar er zijn ook hoogpresterende constructiecoatings zoals coatings voor industrieel vloermateriaal. Nanotechnologie wordt om de volgende redenen in verven en coatings toegepast:

1. de wisselwerking tussen nanodeeltjes en het onderliggende oppervlak verloopt beter dan bij grotere deeltjes, vanwege diepere doordringing, verbeterde dekking en een grotere wisselwerking tussen coating en oppervlak, waardoor een oppervlak duurzamer wordt bedekt.
2. nanodeeltjes zijn transparant voor zichtbaar licht.
3. transparantie opent mogelijkheden voor nieuwe additieven waardoor nieuwe karakteristieken worden toegevoegd aan anders niet-transparante coatings, zoals een hoge kras- of UV-bestendigheid, IR-absorptie of reflectie, vuurbestendigheid, elektrische geleiding en antibacteriële en zelfreinigende eigenschappen.

Deze worden samengebracht in de ontwikkeling van nieuwe coatingsystemen voor vrijwel elk denkbaar oppervlak, van plastic tot staal. Binnen de productgroep van nanocoatings ligt de nadruk op antibacteriële coatings (door toevoeging van TiO_2 , ZnO of Ag), fotokatalytische “zelfreinigende”

²⁰ <http://www.italcementigroup.com/ENG/Italcementi+Group/>

²¹ Gesprekken met individuele personen

²² <http://www.soci.org/Chemistry-and-Industry/Cnl-Data/2009/16/Nanocoatings-incognito>

coatings (TiO_2 of ZnO), UV- en IR-reflecterende of absorberende coatings (TiO_2 of ZnO), vuurvertragende coatings (SiO_2) en krasbestendige coatings (SiO_2 of Al_2O_3). Deze types functionaliteiten worden doorgaans toegepast op coatings voor muren (zowel binnen als buiten), houten gevels, glas en verschillende materialen voor wegbedekking.

Fotokatalytische, antibacteriële en zelfreinigende muurverven

De meeste muurverven waarin nanotechnologie is toegepast worden op de markt gebracht om hun fotokatalytische, antibacteriële of zelfreinigende eigenschappen. Voorbeelden van zelfreinigende, fotokatalytische coatings zijn Arctic Snow Professional Interior Paint van Arctic paint LTD (TiO_2), Cloucryl van Alfred Clouth Lack-fabrik GmbH&Co KG²³ (ZnO) en Amphisilan van Caparol²⁴. Een voorbeeld van een antibacteriële coating op basis van nano-Ag is Bioni Hygienic van Bioni CS GmbH (zie ook afbeelding 0-6).²⁵ Een makkelijk te reinigen coating die zowel water- als olieafstotend is, is Fluowet ETC100 (op basis van CF-polymeren van Clariant).



Afbeelding 0-2 Antibacteriële muurcoating met zilverdeeltjes van nanogrootte voor gebruik in klinieken en ziekenhuizen.

Nanocoatings voor houtoppervlakken

Nanocoatings voor houtproducten worden ontwikkeld voor muren en gevels (buiten), maar ook voor parketvloersystemen en meubilair (binnen). Daarbij ligt de nadruk op waterafstoting (en in mindere mate op olieafstoting), krasbestendigheid en UV-bescherming. Hoewel er verschillende producten in de handel zijn, bestaat er enige scepsis ten aanzien van de duurzaamheid van met name de waterafstotende en UV-beschermende coatings vanwege de kwaliteit van sommige producten van de eerste generatie.²⁶ Als gevolg moet de nieuwe generatie coatings extra moeite doen om zichzelf te bewijzen. Bovendien zijn er maar weinig voorbeelden van feitelijke toepassingen in de bouw.

BYK Additives and Instruments²⁷ is één voorbeeld van een onderneming die adverteert met een nieuwe generatie UV-beschermende coatings. Deze kunnen als basis organische UV-absorbeers²⁸ of de metaaloxiden ZnO en CeO_2 hebben. TiO_2 wordt minder gebruikt vanwege redenen die te maken hebben met transparantie en fotokatalytische activiteit.

Voorbeelden van zeer krasbestendige houtlakken met nano- SiO_2 zijn Bindzil CC30 (Baril Coatings), Nanobyk 3650 (BYK Additives and Instruments) en Pall-X Nano (Pallmann). Nanobyk 3600 (BYK Additives and Instruments) is een voorbeeld van een zeer krasbestendige coating op basis van de toevoeging van Al_2O_3 -deeltjes van nanoformaat.

²³ http://www.clou.de/frontend_live/start.cfm

²⁴ bevat uit kostenoverwegingen micro- TiO_2 , maar nano- SiO_2 voor een hoge krasbestendigheid.

²⁵ <http://www.bioni.de/index.php?lang=en>

²⁶ Ter sprake gekomen tijdens persoonlijke gesprekken met verschillende fabrikanten van coatings en personen uit de houtsector.

²⁷ <http://www.byk.com>

²⁸ dw.z. hydroxyfenylbenzotriazolen, hydroxybenzofenonen, hydroxyfenyl-S-thiazinen of oxalische aniliden

In tegenstelling tot uitwendige slijtagefactoren, zoals UV of krassen, is één van de eigenschappen van hout de diffusie van complexe chemische stoffen, zoals looizuren, die na verloop van tijd het houtoppervlak ontkleuren. Door het houtoppervlak te behandelen met een coating die nanoklei bevat (d.w.z. hydrotalciet $\text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{12}\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Nuplex), kan dit proces worden vertraagd. Producten die tot deze klasse behoren worden ook door BYK geproduceerd.

Nanocoatings die hout beschermen tegen water of olie zijn onder meer 2937 GORI Professional Transparent van Dyrup Denemarken²⁹, Percenta Nano Wood & Stone Sealant³⁰ (bescherming van hout- en steenmaterialen tegen water en olie, meestal op basis van CF-polymeren), Pro-Sil 80 van NanoCer³¹ en Nanowood van Nanoprotect³². Onder deze bevinden zich echter coatings op basis van nano-*'micels'* vet in water. Hoewel micels worden geproduceerd met behulp van nanotechnologie, mogen ze niet worden aangemerkt als nanodeeltjes en kunnen ze derhalve ook niet worden getypeerd als nanocoatings.

Nanocoatings voor glas

Naast zelfreinigende, fotokatalytische, hittebestendige, antireflectie- en antiwasemcoatings voor glas zijn er interessante ontwikkelingen gaande op het vlak van binnenklimaatbeheersing (blokkering van infrarood en zichtbaar licht). Men treft zowel (re)actieve als passieve oplossingen aan. Passieve oplossingen hebben de vorm van dunne films die permanent actief zijn.³³ Actieve oplossingen voor binnenklimaatbeheersing berusten op thermochromische, fotochromische of elektrochromische technologie. Ze reageren op respectievelijk temperatuur, lichtsterkte of aangelegde spanning door hun absorptie naar infrarood licht te wijzigen om het gebouw koel te houden. Deze laatste is het enige systeem dat handmatig kan worden geregeld. Door een spanning te zetten over het glas door eenvoudig, net als bij een lamp, een schakelaar in te drukken – wordt de op het glasoppervlak aangebrachte laag wolframoxide matter en absorbeert het meer infraroodlicht (zie bijv. afbeelding 0-13).



Afbeelding 0-3 (links) Glazen gevels voor gebouwen vormen een belangrijk toepassingsgebied voor nanotechnologische innovaties in de bouwnijverheid (rechts) Elektrochromisch glas.

²⁹ www.dyrup.com

³⁰ <http://en.percenta.com/nanotechnology-wood-stone-sealing.php>

³¹ <http://www.intelcoats.com/nanop%20Indnanocer%20engl.html>

³² <http://www.nanoprotect.co.uk/wood-protection.html>

³³ Voorbeelden van ondernemingen die hiermee adverteren zijn Econtrol®-Glas GmbH & Co, 3M en Saint-Gobain



Afbeelding 0-4 (links) Glazen gevels voor gebouwen vormen een belangrijk toepassingsgebied voor nanotechnologische innovaties in de bouwrijverheid (rechts) Elektrochromisch glas.

3.4 Nanotechnologie en infrastructuur

Op het gebied van duurzaamheid en het tegengaan van milieuverontreiniging wordt er onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om luchtverontreiniging als gevolg van verkeersuitlaatgassen te verminderen met een door TiO₂-geactiveerde infrastructuur. Met het oog hierop zijn producten als NOxer^{®34} betonnen blokken voor wegbedekking en KonwéClear³⁵, en cementachtige asfaltcoating (zie afbeelding 0-5) ontwikkeld. Diverse verschillende bedrijven, waaronder Italcementi en Heidelberg Cement, produceren echter materialen met dit soort functionaliteit in de vorm van blokken, panelen, tegels en geluidswallen.



Afbeelding 0-5 Van links naar rechts: een trottoir in Japan dat is betegeld met NOxer[®], TX Aria-wegdekblokken en tunnelcoating (Italcementi), een KonwéClear-wegdek (*Bouwend Nederland Podium* 22, 14 dec. 2006).

3.5 Isolatiematerialen

Onder de in de bouw gebruikte nanoprodukten vormen isolatiematerialen enigermate een buitenbeentje, in die zin dat deze materialen zelf vaak geen nanodeeltjes bevatten, maar worden vervaardigd van een nanoschuim (of aërogel) van nanobelletjes of nanogaatjes. Met name vanuit het oogpunt van arbeidsgezondheid is dit een belangrijk onderscheid, omdat dit suggereert dat er van het werken met dit materiaal geen *nanospecifieke* gezondheidsrisico's te verwachten zijn.

Nanoporeuze isolatiematerialen, zoals aërogels en bepaalde polymeernanoschuimen kunnen twee tot acht maal effectiever zijn dan traditionele isolatiematerialen (afbeelding 0-6). De aërogels die vandaag de dag in thermische isolatie worden gebruikt zijn meestal op basis van silica of koolstof met een volume dat voor ongeveer 96% bestaat uit lucht³⁶. Een voorbeeld hiervan is de Insulair[®] NP nanoporeuze gelisolatiebedekking van Insulcon B.V.³⁷ (afbeelding 0-6) die flexibel is en speciaal bedoeld voor toepassingen bij extreme temperaturen.

³⁴ <http://www.eurovia.com/en/produit/136.aspx>

³⁵ <http://hbo-kennisbank.uvt.nl/cgi/av/show.cgi?fid=3698>

³⁶ <http://en.wikipedia.org/wiki/Aerogel>

³⁷ http://www.insulcon.com/page/products/Microporous_and_Nanoporous_products.htm



Afbeelding 0-6 Van links naar rechts: verbeterde isolatie door middel van materialen op basis van aërogel; aërogel: geëvacueerde nanoporiën in SiO_2 -matrix³⁸; Flexibele nanoporeuze isolatiebedekkingen van Insulcon B.V. (2x)

Andere producten op dit gebied zijn Roof Acryl Nanotech (gebaseerd op een polyurethaan bindmiddel in combinatie met een fotokatalytische toplaag van ijzeroxide)³⁹ van BASF en Relius Benelux voor hitte- en koudebescherming van daken, PCI Silent van BASF voor geluidsisolatie, Spaceloft (speciaal ontwikkeld voor de bouw) en Pyrogel XT van Aspen Aerogels⁴⁰ op basis van een nanoporeuze silicastructuur, Pyrogel XTF en Pyrogel 2250 van Aspen Aerogels op basis van een nanoporeuze silicastructuur, die speciaal is ontworpen voor buitengewone brandbescherming, Cryogel Z van Aspen Aerogels op basis van een nanoporeuze silicastructuur die speciaal is bedoeld voor isolatie in buitengewoon koude omstandigheden.

³⁸ <http://www.spaceflightnow.com>

³⁹ <http://www.relius.nl/ViewDocument.asp?DocumentId=419&MenuId=90&MenuLabel=News>

⁴⁰ <http://www.aerogel.com/>

4. Gezondheidsrisico's

4.1 Inleiding

Er zijn meer en meer aanwijzingen dat het gedrag van nanomaterialen wel eens meer gevaren zouden kunnen opleveren voor mensen dan hun tegenhangers in het microbereik. Zouden kunnen, want op het moment dat wij dit schrijven (2009) is er nog te weinig bekend om veralgemeniserende uitspraken te kunnen doen. Het is daarom aan te bevelen om ten aanzien van het werken met deze materialen een voorzorgsbenadering te volgen. De twee voornaamste factoren die de nog onbekende toxiciteit van nanomaterialen meebepalen, zijn *grootte* en *vorm*.

Vanwege de kleine afmetingen van nanodeeltjes (tweedimensionale, nanostaafjes of driedimensionaal, nanodeeltjes) verschilt het gedrag van de elektronische eigenschappen, hetgeen naar voren komt in hun chemische reactiviteit, waardoor ze agressiever op het normaal functioneren van het menselijk lichaam kunnen inwerken. Zo brengt een aantal bestudeerde nanomaterialen meer uitgesproken inflammatoire effecten (via een mechanisme dat oxidatieve stress heet) teweeg en agglomereren of binden deze efficiënter met specifieke delen van het menselijk lichaam, waardoor deze niet meer correct functioneren. Bovendien is hun oppervlak vanwege hun grootte relatief sterk vergroot ten opzichte van hun deeltjesvolume (en -massa), waardoor ze per massa-eenheid aanzienlijk reactiever zijn.

De reductie in omvang en wijziging van elektronische eigenschappen beïnvloeden tevens hun fysieke gedrag. Om enkele voorbeelden te geven:

- nanodeeltjes kunnen zo klein zijn dat ze zich gedragen als gassen;
- nanodeeltjes kunnen zo klein zijn dat ze dieper in de longen binnendringen en eerder in de bloedstroom worden opgenomen.
- in tegenstelling tot andere chemische stoffen kunnen ze worden opgenomen via de olfactorische zenuwen en zo "eenvoudig" naar de hersenen worden vervoerd⁴¹;
- sommige nanodeeltjes zouden door de placenta heen kunnen dringen en de foetus bereiken⁴²;
- vanwege hun grootte en oppervlaktekarakteristieken kunnen ze plaatsen in het menselijk lichaam (cellen, organen) bereiken die goed waren beschermd tegen indringing van grotere deeltjes;
- vanwege hun grootte en oppervlaktekarakteristieken dringen ze bovendien makkelijker door de menselijke huid heen dan grotere deeltjes, in het bijzonder wanneer de huid al enigszins beschadigd is (aangetast, droog, zongebrand, geschaafd).

Naast grootte speelt ook de specifieke vorm van nanodeeltjes een belangrijke rol in het toxische gedrag van de materialen. Zo kunnen nanostaafjes zich bijvoorbeeld gedragen als heuse naalden die door menselijk weefsel heen prikken, ook al zijn de deeltjes relatief niet-toxisch. Echter, het tegenovergestelde is ook waargenomen: nanodeeltjes die (vanwege hun vorm en oppervlaktekarakteristieken) bepaalde menselijke barrières kunnen overwinnen.

Andere factoren waarvan is aangetoond dat deze een belangrijke rol spelen bij het vaststellen van nanotypische gezondheidsrisico's zijn de aggregatie- en agglomeratietoestand van het materiaal,

⁴¹ Oberdorster G e.a. 2004, Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhalation Toxicology* 16 (6-7): 437-445

⁴² Hagens WJ e.a. 2007, What do we (need to) know about the kinetic properties of nanoparticles in the body? *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 49: 217-229

evenals de morfologie van het materiaal (amorf of kristallijn) die het daadwerkelijke risico van respectievelijk blootstelling aan materiaal van nanoformaat en de ernst van potentiële gevaren van deze materialen beïnvloeden. Echter, ongeacht de intrinsieke gevaren van nanodeeltjes en -materialen vormt het risico van blootstelling de cruciale factor ten aanzien van gezondheidsrisico's.

4.2 Blootstellingsroutes

Als we het hebben over blootstelling aan nanodeeltjes, dan kunnen we allereerst stellen dat werknemers in de bouw (vrijwel zonder uitzondering) worden blootgesteld aan nanoprodukten. Dit beïnvloedt de daadwerkelijke blootstelling van de werknemer aan de nanodeeltjes in het product. De feitelijke hoeveelheid nanodeeltjes waaraan de werknemer is blootgesteld, bijvoorbeeld bij het inademen van stof die nanodeeltjes bevatten, is afhankelijk van de oplosbaarheid van de stof. Als het stof onoplosbaar is, dan zal een deel van de nanodeeltjes in de matrix ingebed blijven en is er alleen sprake van blootstelling aan die nanodeeltjes die aan het oppervlak van de stofkorrel blootliggen. Als het stof echter oplosbaar is, dan is er blootstelling aan alle nanodeeltjes in de stofkorrel.

Vanwege de aard van de dagelijkse bezigheden van bouwvakkers en de producten waarmee zij doorgaans werken, vormt blootstelling via inademing van stof dat nanomateriaal voortbrengt (als gevolg van snijden, zandstralen, boren of machinaal bewerken) of aerosolen bij het spuiten van verf het meest waarschijnlijke dominante gezondheidsrisico. Doordringing van de huid kan ook een rol spelen (hoewel veel kleiner) en een probleem kunnen vormen wanneer grotere delen van het lichaam onbedekt zijn⁴³. Van blootstelling door primaire ingestie wordt niet verwacht dat dit een probleem zal vormen, zolang persoonlijke hygiëne in acht wordt genomen. Blootstelling als gevolg van secundaire ingestie (als resultaat van inademing van nanomaterialen ten gevolge van de natuurlijke reinigingsmechanismen van de luchtwegen) vormt echter wel een risico bij inademing.

Blootstelling door inademing

Als algemene vuistregel voor het inademen van stof en aerosolen geldt: hoe kleiner de deeltjes, des te dieper deze in de longen weten binnen te dringen voordat ze worden afgezet en des te ernstiger hun uitwerking op de gezondheid kan zijn. Typische gezondheidseffecten die zijn waargenomen (PBL 2005 en daarin vermelde verwijzingen)⁴⁴:

- ontsteking van de luchtwegen
- bronchitis
- astma
- cardiovasculaire effecten

Voor nanodeeltjes geldt deze vuistregel niet langer. Een belangrijk deel van ingeademde nanodeeltjes wordt namelijk wel degelijk in de neus afgezet⁴⁵. Met betrekking tot het verdere transport in het lichaam is waargenomen dat sommige van deze nanodeeltjes zich verplaatsen naar

⁴³ De huid wordt traditioneel gezien als een goede barrière tegen deeltjes. Echter, vandaag de dag wordt deze zienswijze door recenter onderzoek in twijfel getrokken, aangezien er aanwijzingen zijn dat specifieke nanodeeltjes wel degelijk kunnen doordringen door samengetrokken huid (bijvoorbeeld bij de pols) of onbeschadigd huidweefsel, afhankelijk van de chemische aard, de grootte, vorm en de matrix waarin ze in aanraking met de huid komen (Muller-Quernheim, 2003, <http://www.orpha.net/data/patho/GB/uk-CBD.pdf>; Tinkle e.a. 2003, Environ. Health Perspect. 111:1202-8; and Ryman-Rasmussen e.a. 2006 Toxicol. Sci. 91:159-65).

⁴⁴ PBL 2005. Particulate Matter: a Closer Look, www.rivm.nl, Planbureau voor de Leefomgeving, E. Buijsman, J.P. Beck, L. van Bree, F.R. Cassee, R.B.A. Koelemeijer, J. Matthijsen, R. Thomas en K. Wieringa.

⁴⁵ ICRP 1995. International Commission on Radiological Protection

het zenuwstelsel, het hersenweefsel en andere organen, zoals het bloed, hart en lever en het beenmerg, waar ze inflammatoire effecten zouden kunnen teweegbrengen die op hun beurt weer een reeks secundaire gezondheidseffecten op gang zouden kunnen brengen (Oberdorster e.a. 2004 en daarin vermelde verwijzingen⁴⁰; en een recentere bespreking van het onderwerp door Politis e.a. 2008⁴⁶), bijvoorbeeld irritatie, ontsteking, afstervende cellen, buitensporige celgroei, beschadiging van het DNA en hormonale verstoring (Donaldson e.a., 1996; Zang e.a., 1998).

4.3 Gezondheids- en veiligheidsrisico's in verband met verschillende nanodeeltjes

Hoewel er met betrekking tot de toxiciteit van nanodeeltjes nog veel onbekend is, wordt hiernaar volop onderzoek verricht en komen de eerste resultaten reeds beschikbaar. CNT, TiO₂, SiO₂ en zilver zijn tot dusverre de best bestudeerde nanodeeltjes.

Afzonderlijke toxiciteitsprofielen

Onlangs kwam CNT in het nieuws omdat toxiciteitsstudies eerste aanwijzingen gaven over een gedrag in longweefsel dat overeenkomsten vertoont met het gedrag van asbest.⁴⁷ Uit de waarnemingen kwam echter naar voren dat de toxiciteit afhankelijk is van de lengte-diameterverhouding, de agglomeratietoestand, de oppervlaktekarakteristieken en de aanwezigheid van geringe onzuiverheden in de vorm van metaalkatalysators.⁴⁸

TiO₂ kan worden toegepast in anataas- of rutielvorm, waarbij eerstgenoemde (meestal gebruikt als fotokatalysator) doorgaans het meest toxisch blijkt⁴⁹. De International Risk Governance Council concludeert dat TiO₂ van nanogrootte geen gevolgen heeft voor de menselijke gezondheid als het in aanraking komt met een gave huid⁵⁰, maar penetratie door beschadigde huid heen zou daarentegen wel schadelijk kunnen zijn.⁵¹ Een omvattend overzicht van de gezondheidseffecten wordt geboden door de NIOSH.⁵² Nano-TiO₂ kan (onder bepaalde omstandigheden) genotoxisch potentieel vertonen. Zeker is in elk geval dat het bij inademing inflammatoire effecten kan teweegbrengen. Langdurige blootstelling aan anataas-TiO₂ resulteert verder in tekenen van carcinogene effecten, beschadiging van DNA en effecten op de ontwikkeling van het centrale zenuwstelsel van de foetus, wat wellicht kan duiden op de mogelijkheid van reprotoxische effecten bij mensen.⁵³

SiO₂ kan amorf of kristallijn zijn. Volgens de IRGC^{54,55}, is synthetisch geproduceerde amorfe nano-SiO₂ in water oplosbaar, niet-toxisch en worden de aan toxiciteit gerelateerde risicofactoren met

⁴⁶ Politis M, Pilinis C, Lekkas TD 2008. Ultra Fine Particles and Health Effects. Dangerous. Like no Other PM? Review and Analysis, Global NEST Journal. Vol 10(3), p.439-452

⁴⁷ bijvoorbeeld: Poland CA, e.a. 2008, Nature Nanotechnology, Vol 3, juli 2008, p. 223; Pacurari M e.a. 2008 Environmental Health Perspectives, Vol 116, nr. 9, 1211; Kostaleros K 2008., Nature Biotechnology I, vol 26, Nr. 7, 774-776

⁴⁸ Pulskamp K e.a. 2006 Toxicology Letters, 168, 58-74; Wick P e.a. 2007 Toxicology Letters, 168, 121-131

⁴⁹ Sayes CM e.a. 2006 Toxicol. Sciences 92(1), 174-185

⁵⁰ IRGC 2008. Risk Governance of Nanotechnology Applications in Food and Cosmetics, ISBN 978-2-9700631-4-8

⁵¹ SCCP 2007. Opinion on the Safety of Nanomaterials in Cosmetic Products, goedgekeurd op 18 december 2007

⁵² NIOSH concept 2005. Evaluation of Health Hazards and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide, concept nov. 22, 2005

⁵³ Simizu M e.a. 2009 Part. Fibre. Toxicol. Vol 6, 20; Bhattacharya K e.a. 2008 Part. Fibre. Toxicol. vol 6, 17

⁵⁴ International Risk Governance Council, 09-2008; ISBN 978-2-9700631-4-8

⁵⁵ Merget R e.a. 2002 Arch. Toxicol. 75:625

betrekking tot de menselijke gezondheid gezien als vergelijkbaar met die voor amorf silicastof, dat buiten het nanobereik valt. Amorf SiO₂ kan echter, afhankelijk van de wijze waarop het wordt geproduceerd, besmet zijn met kristallijn SiO₂ dat, afhankelijk van de mate van kristalliniteit, de toxiciteit van het totale monster beïnvloedt. Kristallijn silica is zeer toxisch en veroorzaakt, zo is bekend, silicose als men er tijdens het werken aan wordt blootgesteld.

Er is weinig bekend over de toxiciteit van nanozilver voor mensen. Wijnhoven *e.a.* (2009)⁵⁶ bespreken de lacunes in de kennis en concluderen dat hoewel normaal zilver relatief niet-toxisch is, ingeademde of ingeslikte nano-Ag in de bloedbaan kan terechtkomen en zo belanden in het zenuwstelsel, waar het schadelijke effecten zou kunnen teweegbrengen die mogelijk ernstiger zijn dan wanneer het normaal zilver gold. Een van de redenen dat er ernstiger effecten te verwachten zijn, is het grote oppervlak van de nanodeeltjes, hetgeen leidt tot het loslaten van een relatief hogere concentratie opgeloste (en reactieve) zilverionen.

Beroepsgerelateerde blootstellingsrisico's

Er is maar weinig informatie beschikbaar aan de hand waarvan de beroepsgerelateerde risico's van blootstelling aan nanodeeltjes, waar werknemers in de bouw mee te maken krijgen, kunnen worden beoordeeld. Het ligt tot op zekere hoogte voor de hand dat er sprake is van blootstelling aan nanoprodukten via het inademen van stof of aerosolen. Echter, het is veel moeilijker in te schatten aan welke risico's men wordt blootgesteld bij het machinaal bewerken of hanteren van een nanoprodukt. Uit het werk van Vorbau *e.a.* (2009, Koponen *e.a.* (2009) en Kaegi *e.a.* (2008) kunnen we inmiddels enkele aanwijzingen distilleren⁵⁷. De eerste studie toonde aan dat de toevoeging van nanodeeltjes aan een coating niet hoeft te leiden tot een toegenomen slijtage van de coatingfilm die daaruit voortvloeit. Uit de tweede studie bleek dat er bij zandstralen geen afzonderlijke nanodeeltjes voortkwamen uit de bestudeerde coatings (hoewel de grootte van het geproduceerde stof binnen het micronbereik ligt) en dat in tegenstelling daarmee ultrafijne deeltjes vanuit de zandstraalmachine de emissie van deeltjes <50 nm domineren. Ten slotte geeft de derde studie indicaties dat nano-TiO₂ niet uitloopt uit een opgedroogde coating, maar wel in het milieu terechtkomt als het vanwege slijtage met het bindingsmateriaal "afbreekt". Deze eerste resultaten in deze richting lijken veelbelovend in die zin dat niet werd waargenomen dat nanodeeltjes niet *zomaar* vrijkwamen. Echter, het werk dat ten aanzien van dit onderwerp wordt verricht is nog te beperkt om er verdere conclusies aan te verbinden met betrekking tot de risico's van blootstelling aan nanodeeltjes door in het algemeen met nanoprodukten te werken. Er is evenmin onvoldoende bekend om de bevindingen van Koponen, Vorbau en Kaegi over de blootstellingsrisico's van de bestudeerde nanodeeltjes te kunnen extrapoleren naar andere soorten nanodeeltjes.

4.4 Mogelijke benaderingen voor een veilig gebruik van nanoprodukten

Om een werkplek veilig te kunnen inrichten is inzicht nodig in de mogelijk risicovolle aard van nanodeeltjes en hun gedrag wanneer de producten, die deze deeltjes bevatten, worden toegepast. Maar, zoals reeds is geconstateerd, is de kennis die thans over de toxicologische eigenschappen van nanodeeltjes (anno 2009) beschikbaar is, nogal beperkt. Hetzelfde geldt voor het mogelijk ontsnappen van nanodeeltjes uit nanoprodukten tijdens gebruik, reiniging of onderhoud. Dit bemoeilijkt een betrouwbare risicobeoordeling.

Niettemin is het gebruik van nanoprodukten in de bouwnijverheid realiteit en naar verwachting zal dit gebruik in de nabije toekomst alleen toenemen. Dit vraagt om een verantwoorde benadering.

⁵⁶ Wijnhoven SWP *e.a.* 2009 Nanotoxicology, 1-30

⁵⁷ Vorbau M *e.a.* 2009 Aerosol Science 40:209-217; Koponen IK *e.a.* 2009 Journal of Physics Conference Series, 151, 012048; Kaegi R *e.a.* 2008. Environ. Pollut. doi:10.1016/j.envpol.2008.08.004

Daarvoor kunnen we leren van het Europese debat over nanotechnologieën⁵⁸ De daarin besproken voorzorgsbenadering kan worden uitgelegd als een strategie voor het omgaan met onzekerheden op een oplettende, zorgvuldige, redelijke en transparante manier die op de situatie aansluit, die ten uitvoer zou moeten worden gelegd binnen het kader van beleid ten aanzien van arbeidsomstandigheden (binnen RI&E en het daarmee verband houdende plan van aanpak). Kort samengevat ziet deze strategie er als volgt uit (zie ook tabel 0.2).

Concentratie op activiteiten met primaire prioriteit

Als praktische ondersteuning voor bedrijven verdient het de voorkeur dat er voor werkplekken waar zich blootstelling aan nanodeeltjes kan voordoen, goede praktijken worden ontwikkeld. Om te bepalen welke activiteiten speerpunt moeten zijn en de ernst van de te nemen maatregelen kan het in dat geval behulpzaam zijn om de nanodeeltjes in te delen naar de daarmee geassocieerde risico's. Een eenvoudig systeem van drie klassen (waarbij nanodeeltjes met de meeste verwachte risico's aan klasse worden toegewezen en in klasse III die deeltjes met de minste) zou daarvoor als basis kunnen dienen.⁵⁹

- I Vezelachtige onoplosbare nanodeeltjes (lengte > 5 µm).
- II Nanodeeltjes waarvan bekend is dat ze carcinogeen, mutageen of astmageen zijn, of in moleculaire vorm of als groter deeltje een reproductieve toxine vormen.
- III Onoplosbare of slecht oplosbare nanodeeltjes (die niet vallen onder een van bovenstaande klassen).

In het algemeen wordt aanbevolen om blootstelling door inademing of aanraking met de huid te vermijden. Voor de bouwnijverheid gelden als activiteiten die de prioriteit verdienen zandstralen, boren, mengen, machinaal bewerken, snijden

Tabel 0-2 Bouwstenen voor een voorzorgsbenadering

Bouwstenen voor een voorzorgsbenadering bij het werken met nanoprodukten en -materialen
<ul style="list-style-type: none"> • Geen gegevens --- geen blootstelling <ul style="list-style-type: none"> - Blootstelling voorkomen overeenkomstig de strategie met betrekking tot arbeidshygiëne (met inbegrip van mogelijke vervanging van potentieel zeer gevaarlijke nanodeeltjes) • Meldingsplicht voor fabrikanten en leveranciers over de samenstelling van een nanoproduct <ul style="list-style-type: none"> - Verklaring met betrekking tot nano-inhoud van product door de hele productieketen heen - Verklaring met betrekking tot nano-inhoud van product in een centrale administratie in de vorm van een soort gegevensbank • Blootstellingsregistratie voor de werkplek <ul style="list-style-type: none"> - Analoog aan de registratie van carcinogenen voor nanovezels en CMRS-nanomaterialen - Analoog aan de registratie van reprotox voor andere niet-oplosbare nanomaterialen • Transparante communicatie over risico's <ul style="list-style-type: none"> - Informatie op MSDS-gegevensbladen over bekende risico's in verband met nanodeeltjes en -materialen, het beheer ervan en kennislacunes. - Vereist chemischeveiligheidsrapport (REACH) voor stoffen > 1 ton/jaar/onderneming • Afleiding van grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling voor nanodeeltjes en -materialen of nanoreferentiewaarden

⁵⁸ Zie met name het adviesrapport van de Nederlandse Sociaal Economische Raad: "Veilig omgaan met nanodeeltjes op de werkplek", 2009 Sociaal Economische Raad, 's Gravenhage. Deel van de voorgestelde voorzorgsaanpak is gebaseerd op dit adviesrapport.

⁵⁹ BSI 2007 (december 31), "Public Document" PD 6694-2:2007, "Nanotechnologies -- Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials.". In dit document wordt een vierde klasse ingevoerd: oplosbare nanodeeltjes. Echter, aangezien we ons hier met name richten op niet-oplosbare nanodeeltjes, hebben wij deze klasse weggelaten.

en het spuiten van nanomaterialen en –producten, evenals het schoonmaken van de werkvloer en de gebruikte apparatuur. Teneinde maatregelen vast te stellen en blootstelling te vermijden, kan de klassieke hygiënestrategie worden toegepast op het omgaan met nanodeeltjes.

Meldingsplicht voor nanoproducten

Uit de resultaten van de enquête van 2009 en de diepte-interviews kon worden opgemaakt dat de meeste werknemers in de bouw en hun werkgevers zich niet goed bewust zijn van, of niet goed zijn geïnformeerd over de nanoproducten waarmee zij wellicht werken. Hoe kunnen zij dan tot een deugdelijke risicobeoordeling komen?

Informatie is een eerste vereiste. En de groeiende vraag vanuit markt noopt ertoe een zekere vorm van meldingsplicht in het leven te roepen (bijv. in Nederland (SER), Frankrijk en Zwitserland). Deze meldingsplicht zou in het bijzonder moeten gelden voor de gevaarlijkste en meest risicovolle producten. De gegevensbladen over materiaalveiligheid (MSDS) zouden kunnen worden gebruikt om deze informatie over te dragen van de fabrikant naar de gebruiker van de producten. Van werkgevers en werknemers in de bouwnijverheid zou kunnen worden verwacht dat zij op deze initiatieven teruggrijpen en actief expliciete informatie opvragen over de nano-inhoud van de door hen gebruikte producten en de voorzorgsmaatregelen die moeten worden genomen om mogelijke schadelijke gezondheidseffecten ten gevolge van blootstelling aan nanodeeltjes te vermijden.

Nanoreferentiewaarden

Onder normale omstandigheden geven de grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling (OEL's) het maximale blootstellingsniveau aan waarbij werkzaamheden veilig kunnen worden geacht. Deze bestaan echter niet voor nanodeeltjes. *Nanoreferentiewaarden*, gedefinieerd als uit voorzorg gestelde grenswaarden voor blootstelling, die zijn bepaald aan de hand van een voorzorgsbenadering, kunnen hierin een oplossing bieden zolang er nog geen grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling zijn vastgesteld. Een voorbeeld hiervan zijn zgn. "benchmark exposure levels (vergelijkende blootstellingswaarden)", weergegeven in tabel 0-3 (gebaseerd op BSI 2007).⁵⁸

Tabel 0-1 Rangschikking van risico's van onoplosbare nanodeeltjes en nanoreferentiewaarden

Klasse	Omschrijving	Nanoreferentie-waarde	Opmerking
I	Vezelachtig; een onoplosbaar nanomateriaal met een hoge aspect-ratio	0,01 vezels/ml	Analoog aan asbestvezels
II	Elk nanomateriaal dat reeds is ingedeeld in zijn moleculaire vorm of als groter deeltje als carcinogene, mutagene, reproductieve toxine of als sensibiliserend (CMR)	0,1 x bestaande OEL voor moleculaire vorm of grotere deeltjes	De potentieel toegenomen snelheid waarmee deze materialen oplossen in de vorm van nanodeeltjes zou kunnen leiden tot een verhoogde biobeschikbaarheid. Daarom wordt een veiligheidsfactor 0,1 geïntroduceerd.
III	Onoplosbare of slecht oplosbare nanomaterialen die niet vallen onder de klasse vezelachtige of deeltjes van CMR-stoffen	0,066 x bestaande OEL voor moleculaire vorm of grotere deeltjes	Analoog aan NIOSH60 wordt een veiligheidsfactor 0,066 (=15x lager) aanbevolen. Als alternatief uitgangsniveau wordt voorgesteld: 20.000 deeltjes/ml, onderscheiden van de omgevingsconcentratie van deeltjes.

^a Een vezel wordt gedefinieerd als een deeltje met een aspect-ratio >3:1 en een lengte groter dan 5000 nm.

Bedrijvenregister en registratie van blootstelling

Een andere mogelijkheid om een voorzorgsbenadering te implementeren, zoals de SER heeft voorgesteld, is het inrichten van een systeem voor de registratie van blootstelling bij bedrijven die werken met nanoproducten die de gevaarlijkste nanodeeltjes bevatten (d.w.z. uit klasse I en II). Voor werknemers in de bouw die op locatie werkzaam zijn, zal het moeilijk te beoordelen zijn of en onder welke omstandigheden het terecht en nuttig is om gezondheids- en veiligheidsrisico's te controleren. In de afwezigheid van kennis wordt echter voorgesteld dat het blootstellingregister zou moeten vastleggen wie (d.w.z. welke werknemers) waaraan (d.w.z. aan welke nanodeeltjes) (zouden kunnen) zijn blootgesteld, evenals wanneer (d.w.z. gedurende wat voor periode) en waar (d.w.z. onder welke omstandigheden). Deze vastlegging zou moeten plaatsvinden in een systeem dat kan worden ontworpen in overeenstemming met de praktijk die momenteel geldt voor asbestiform en CMR-stoffen. Deze vorm van registratie zou goed kunnen aansluiten op de praktijken van kleine ondernemingen. Bovendien is het met deze registratie mogelijk om na te gaan wie mogelijk te maken heeft gehad met blootstelling en een inschatting te maken van de mate waarin zij zijn blootgesteld, mocht een bepaald nanomateriaal in de toekomst schadelijk blijken, of wanneer er later sprake is van een schadelijk gezondheidseffect.

Control Banding

Een andere manier om met ongewisse gevaren in een bepaalde arbeidssituatie en -activiteit om te gaan en om de potentiële risico's uit voorzorg op een pragmatische wijze in te schatten, is met gebruikmaking van het zogeheten 'control banding' (CB). Er bestaan verschillende CB-hulpmiddelen

⁶⁰ Gebaseerd op de benadering die is beschreven door NIOSH voor onoplosbare nano-TiO₂: NIOSH 2005, Draft NIOSH current intelligence bulletin: Evaluation of Health Hazard and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide, November 22, 2005

die over de hele wereld door het MKB worden toegepast (zie Tischer e.a. 2009 en de daarin vermelde verwijzingen⁶¹). Via CB wordt een advies toegekend om veralgemeniseerde beschermende maatregelen te treffen op basis van de van toepassing zijnde materiaalgevaaren, de stoffigheid- en nanokarakteristieken zoals grootte, vorm en oppervlakte reactiviteit van de nanomaterialen, de hoeveelheid materiaal die wordt gebruikt en de waarschijnlijkheid van blootstelling. Een voorbeeld van zo'n CB-methode is ontwikkeld door Paik e.a. (2008)⁶².

⁶¹ Tischer M, Bredendiek-Kamper S, Poppek U, Packroff R 2009. How Safe is Control Banding? Integrated Evaluation by Comparing OELs with Measurement Data and Using Monte Carlo Simulation, Ann Occup. Hyg. vol 53(5):449-462

⁶² Paik SY, Zalk DM, Swuste P. 2008. Application of a Pilot Control Banding Tool for Risk Level Assessment and Control of Nanoparticle Exposures. Ann Occup. Hyg. vol 52(6):419-428

5. Mogelijkheden voor verdere activiteiten ter ondersteuning van veiligheid op de werkvloer

De gezondheidsrisico's die momenteel bij het werken met, toepassen of machinaal bewerken van nanoprodukten komen kijken, zijn nog ongewis en pas nu begint hierover enig inzicht vorm te krijgen. Dit inzicht omvat de gezondheids- en veiligheidsprofielen van de nanodeeltjes zelf alsmede de daadwerkelijke risico's van blootstelling aan deze nanodeeltjes door met het product te werken. Echter, vanwege een vergrote oppervlak-volumeverhouding, nieuwe elektronische eigenschappen, verschillende transportkinetica en biologische bestemming en gewijzigde chemische reactiviteit die bij een aantal nanodeeltjes zijn waargenomen ten opzichte van hun macroscopische moedermateriaal, is het vermoeden ontstaan dat nanodeeltjes tot dusverre onvoorspelbare en potentieel ernstige gezondheidsrisico's met zich mee kunnen brengen. Dit bemoeilijkt een behoorlijke risicobeoordeling en idem risicobeheer. Tot op de huidige dag zijn er voor de bouwnijverheid geen gedragscodes of goede praktijken ontwikkeld die deze tak van industrie helpt bij hun omgang met deze onbekende factoren. Echter, afgaande op wat bekend is over het werken met (gevaarlijke) chemische stoffen, kunnen voorzorgsmaatregelen worden ontworpen om op een verantwoorde wijze met de tot op heden onbekende factoren in verband met de gezondheidsrisico's van nanoprodukten om te gaan. Deze aanpak wordt doorgaans de voorzorgsbenadering genoemd. Uitgangspunt voor deze benadering is het voorkómen van blootstelling aan nanodeeltjes door toepassing van de arbeidshygiënische strategie. Als er sprake is van effectieve voorkoming van blootstelling (in het geval dat gegevens over de gevaren ontoereikend zijn), dan is deze benadering in overeenstemming met het REACH-beginsel: *geen gegevens – geen markt*. Binnen de voorzorgsbenadering worden de volgende bouwstenen voorgesteld als mogelijke ondersteuning voor een veilige werkvloer.

- Geen gegevens --- geen blootstelling
 - Blootstelling voorkomen overeenkomstig de strategie met betrekking tot arbeidshygiëne (met inbegrip van mogelijke vervanging van potentieel zeer gevaarlijke nanodeeltjes)
- Meldingsplicht voor fabrikanten en leveranciers over de samenstelling van een nanoprodukt
 - Verklaring met betrekking tot nano-inhoud van product door de hele productieketen heen
 - Verklaring met betrekking tot nano-inhoud van product in een centrale administratie in de vorm van een soort gegevensbank
- Blootstellingsregistratie voor de werkplek
 - Analooq aan de registratie van carcinogenen voor nanovezels en CMRS-nanomaterialen
 - Analooq aan de registratie van reprotox voor andere niet-oplosbare nanomaterialen
- Transparante communicatie over risico's
 - Informatie op MSDS-gegevensbladen over bekende risico's in verband met nanodeeltjes en –materialen, het beheer ervan en kennislacunes.
 - Vereist chemischeveiligheidsrapport (REACH) voor stoffen > 1 ton/jaar/onderneming
- Afleiding van grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling voor nanodeeltjes en –materialen of nanoreferentiewaarden
 - Voor nanodeeltjes die zouden kunnen vrijkomen op de werkvloer

Wat een behoorlijke risicobeoordeling verder in de weg staat is dat de nanospecifieke informatie die de grondstofproducent tot zijn beschikking heeft in veel gevallen steeds meer verloren raakt naarmate men verder neerdaalt in de gebruikersketen. Slechts een fractie van deze informatie bereikt uiteindelijk de werknemer op de bouwlocatie. De situatie is wellicht nog slechter voor werknemers in de bouw die betrokken zijn in (bijvoorbeeld) een renovatieproject of een constructie die nanoprodukten bevat (vanwege onwetendheid aan de kant van de eigenaar van de constructie).

Hier ligt een taak voor de overheid en voor de leveranciers van het nanomateriaal om deze situatie te verbeteren.

Omdat het operationaliseren van deze voorzorgsmaatregelen per afzonderlijke onderneming vooral voor kleine en middelgrote bouwbedrijven erg veel werk zou vergen, is het aan te bevelen om ondersteuning te bieden bij het vaststellen van goede werkpraktijken voor een select aantal activiteiten met hoge prioriteit waar blootstelling mag worden verwacht, zoals het werken met nanocoatings en nanocement/-beton. Voorbeelden daarvan zijn het spuiten van nanocoatings, hanteren van nanodeeltjes die natte mortel bevatten, machinaal bewerken van nanoprodukten (bijv. zandstralen of boren) of het plegen van reinigings- of onderhoudswerkzaamheden aan apparatuur in deze situaties. Control Banding zou bij het ontwikkelen van deze goede praktijken een behulpzaam instrument kunnen blijken. Aan de hand daarvan kunnen de risico's op basis van kennis over het nanodeeltje, het moedermateriaal van dit nanodeeltje (macroscopische vorm), de werkpraktijk en de feitelijke arbeidsomstandigheden worden gerangschikt. De ernst van het potentiële gevaar en de waarschijnlijkheid van beroepsmatige blootstelling worden ingeschat en gekoppeld aan een risiconiveau-indeling van 1 tot 4. Afhankelijk van het risiconiveau wordt een algemene risicobeheersstrategie voorgesteld, die kan variëren van *"ventilatie toepassen"* tot *"beschermende kleding dragen"* of *"werken in een afgesloten ruimte"*.

Apparatuur waarmee blootstelling op de werkvloer aan nanodeeltjes in reële tijd bestaat weliswaar, maar is doorgaans kostbaar en moeilijk te bedienen. Er zijn draagbare en eenvoudiger te bedienen apparaten ontwikkeld en in de komende jaren zullen er minder kostbare modellen in de handel worden gebracht, waardoor deze apparaten voor een groter publiek beschikbaar zullen zijn. Het meten van blootstelling van personen aan nanodeeltjes gebeurt in de bouwsector nog op zeer beperkte schaal. Uit de eerste metingen van het afschaven van oppervlakten die waren geverfd met nanoverf bleek geen blootstelling aan geconstrueerde deeltjes. Echter, deze metingen waren te beperkt om daaruit algemene conclusies te trekken voor blootstelling aan nanodeeltjes die op bouwlocaties worden gegenereerd.