Dossier synthetische nanomaterialen

Opgesteld door:
Ralf Cornelissen
Gert van der Laan
Dick Hoeneveld
Harry Tweehuysen

1 december 2013

Inhoudsopgave

1 Beschrijving onderwerp 4
1.1 Beschrijving onderwerp 4
1.2 Psychosociale aspecten 6
1.3 Omvang problematiek 12

2 Relevante werksituaties 13
2.1 Levenscyclus van nanomaterialen 13
2.2 Voorkomen en gebruik van nanoproducten 14
2.3 Relevante branches en beroepen 16

3 Inventarisatie- en evaluatie 20
3.1 Risico-inventarisatie 20
3.2. Blootstellingsbeoordeling 20
3.2.1 Kwalitatieve beoordeling 22
3.2.1.1 Inleiding 22
3.2.1.2 Handleiding veilig werken met nanomaterialen en –producten 24
3.2.1.3 De Control Banding Nanotool 26
3.2.1.4 Stoffenmanager nano 1.0 27
3.2.1.5 EPFL-model 29
3.2.1.5 CENARIOS® 30
3.3 Blootstelling meten 31
3.3.1 Tijdelijke nanoreferentiewaarden 33
3.4 Effectmeting 36

4. Wetgeving 37
4.1 Arbowet 37
4.2 Arbobesluit 37
4.3 Arboregelingen 37
4.4 Overige nationale wetgeving 38
4.4.1 Handhaving 38
4.5 Europese wetgeving 38
4.5.1 Europese wetgeving 38
4.5.2 REACH 38

5 Beleid 40
5.1 Arbocatalogus 40
5.2 Cao-afspraken 40
5.3 Brancheafspraken 40
5.4 Standaardisatie en normalisatie 41
5.5 Certificering 42

6 Beheersmaatregelen 43
6.1 Arbeidshygiënische strategie 43
6.1.1 Bronmaatregelen 43
6.1.2 Organisatorische maatregelen 44
6.1.3 Technische maatregelen 45
6.1.4 Persoonlijke beschermingsmiddelen 45
6.1.5 Afvalfase 46
6.2 Psychsociale aspecten van beheersmaatregelen 46
6.3 Implementatie van beheersmaatregelen 47

7 Medisch Onderzoek 48
7.1 Gezondheidseffecten en beroepsziekten 48
7.1.1 Gezondheidseffecten 48
7.1.2 Beroepsziekten 49
7.2 Diagnostiek en behandeling/begeleiding 50
7.2.1 Diagnostiek 50

7.2.2 Behandeling en begeleiding 50
7.3 Kwetsbare groepen 50
7.4 Preventief medisch onderzoek inclusief vroegdiagnostiek 51

8 Werkgeversverplichtingen 54

9 Werknemersverplichtingen 55

10 Werknemersrechten 56
10.1 Rechten individuele werknemer 56
10.2 Rechten medezeggenschapsorgaaan 56

11 Praktijkverhalen 57

12 Referentie auteurs 58

13 Peer review 58

14 Referenties 59

1 Beschrijving onderwerp

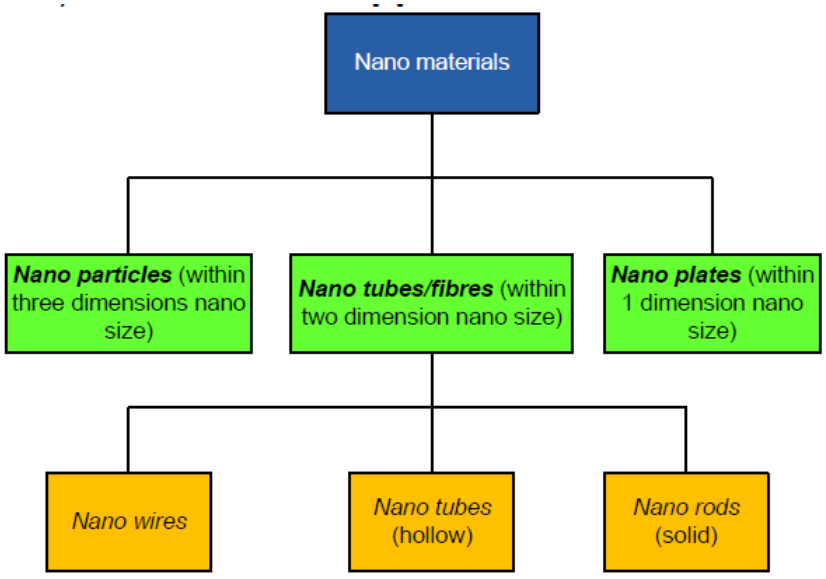
1.1 Beschrijving onderwerp

Wat is nanotechnologie?
Nanotechnologie kan omschreven worden als het ontwerpen, produceren, manipuleren en toepassen van structuren op nanoschaal waarvan één of meer dimensies onder de 100 nanometer liggen. De materialen die door middel van nanotechnologie gemaakt worden, noemen we nanomaterialen.

Definitie nanomaterialen
Wanneer in dit dossier gesproken wordt over nanomaterialen, dan worden hiermee de bewust gefabriceerde (synthetische) nanomaterialen bedoeld, en niet de deeltjes die onbedoeld vrijkomen of reeds vannanomaterialen nature in het milieu aanwezig zijn. Momenteel is er nog geen breed geaccepteerde definitie voor nanomaterialen en –producten vastgesteld, waardoor er verschillende definities naast elkaar gebruikt worden (1, 2, 3). De overeenkomst tussen de verschillende gehanteerde definities is dat ze betrekking hebben op deeltjes tussen de 1 en 100 nanometer. In dit kennisdossier wordt de definitie gebruikt zoals gehanteerd door het Nederlandse kabinet (en door de Sociaal Economische Raad (4)) in de verschillende rapporten over nanotechnologie. De definitie zoals in dit arbokennisdossier is gebruikt, is opgesteld door de International Organization for Standardization (ISO) (2).

De International Organization for Standardization (ISO) ***definieert een nanodeeltje*** *als een deeltje met een nominale diameter kleiner dan ongeveer 100 nm en een synthetisch nanodeeltje als een deeltje met synthetische kenmerken kleiner dan ongeveer 100 nm, die mogelijkerwijs de fysische, chemische en/of biologische eigenschappen ervan beïnvloeden. Een synthetisch nanodeeltje kan een maximum afmeting hebben die substantieel groter is dan 100 nm. Zo wordt een agglomeraat nanomaterialen met een diameter van 500 nm ook beschouwd als een synthetisch nanodeeltje".*

Verder definieert de ISO diverse subcategorieën van nanomaterialen (2). Als algemene definitie voor een *nano-object* geeft men: 'een materiaal met één, twee of drie externe dimensies ter grootte van ongeveer 1 tot 100 nm'. Veeal wordt de ruimtelijke verschijningsvorm als subcategorie genomen; men onderscheidt hier (A) *nanoplaatje,* een nano-object met één externe dimensie in de nanoschaal, (B) *nanovezel*, een nano-object met twee externe dimensies in de nanoschaal, waarbij een *nanobuisje* hol is, en een '*nanostaafje*' een massieve vezel (staafjes, naaldjes en draadjes vallen ook in deze categorie), en (C) *nanodeeltje*, een nano-object met alle drie de dimensies in de nanoschaal (zie ook figuur 1).



Figuur 1 Hierarchie voor ruimtelijke indeling van nanomaterialen (2, 5)

De definitie van nanomaterialen en de daarmee samenhangende blootstelling op de werkplek is (anno 2013) nog steeds onderwerp van discussie. In de internationale literatuur wordt naast de hierboven beschreven definitie ook een definitie aangehouden voor nanomaterialen als zijnde structuren in de nanoschaal met twee of meer dimensies die onder de 100 nanometer liggen.

Naast de veelgebruikte ISO definitie heeft ook de Europese Commissie een definitie voor nanomaterialen geformuleerd die gebruikt kan worden voor implementatie in wet- en regelgeving (6). De definitie van de Europese Commissie is onderstaand weergegeven:

Nanomateriaal" wordt gedefinieerd als: een natuurlijk, incidenteel of geproduceerd materiaal dat uit deeltjes bestaat, hetzij in ongebonden toestand of als een aggregaat of agglomeraat en voldoet aan één van de volgende criteria:

- Het bestaat uit deeltjes waarvan meer dan 50% van de deeltjesgrootteverdeling valt in het bereik van 1 – 100 nm (met één of meer externe dimensies);
- Heeft interne- of oppervlaktestructuren in één of meer dimensies binnen het bereik van 1-100 nm;
- Heeft een specifieke oppervlakte-volume verhouding van meer dan 60 m^2/cm^3, (uitgezonderd materialen die bestaan uit deeltjes kleiner dan 1 nm).

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%. Fullerenen, grafeenvlokken en enkelwandige koolstofnanobuizen met één of meer externe dimensies beneden 1 nm moeten als nanomaterialen worden beschouwd.

In theorie kan het zo zijn dat de definitie van nanomaterialen die voor wetgeving gebruikt gaat worden afwijkt van een definitie die opgesteld is op grond van bijvoorbeeld gezondheidskundige effecten. Er is nog veel toxicologisch onderzoek nodig om de veelheid aan verschillende verbindingen en vormen te testen op toxiciteit. Elke combinatie van chemische verbinding en vorm (al dan niet gecoat) kan immers een ander (schadelijk) effect opleveren. Hierdoor is het lastig om een eenduidige (ambtelijke) definitie te geven van een synthetische nanoverbinding, Het is immers niet met zekerheid te zeggen of het mogelijk schadelijk effect geld voor deeltjes beneden de 100 nm, of dat de grens wellicht hoger ligt.

Voor het toxicologisch onderzoek hebben Maynard en Aitken (7) een indeling geopperd, mede ingegeven door de fysische en chemische eigenschappen die naar verwachting bepalend zullen zijn voor de toxiciteit:

1. sferische en compacte deeltjes (homogeen van samenstelling);
2. high aspect nanodeeltjes (staafjes, vezels met homogene samenstelling);
3. complexe niet-sferische deeltjes (homogeen van samenstelling);
4. heterogeen samengestelde deeltjes, waarvan bijvoorbeeld het oppervlak een andere samenstelling heeft dan de kern;
5. heterogeen samengestelde deeltjes, waarvan het ene type verwerkt is in een ander nanodeeltje, bijvoorbeeld als bolletje in een niet-sferisch deeltje;
6. homogene agglomeraten van een enkel type deeltje;
7. heterogene aggregaten met diverse typen deeltjes;
8. actieve deeltjes, waarbij het gedrag en eigenschappen van deeltjes afhangen van externe stimuli;
9. multifunctionele nanodeeltjes, waarbij gedrag en eigenschappen van deeltjes afhangen van functionele responsen en van lokale milieu stimuli.

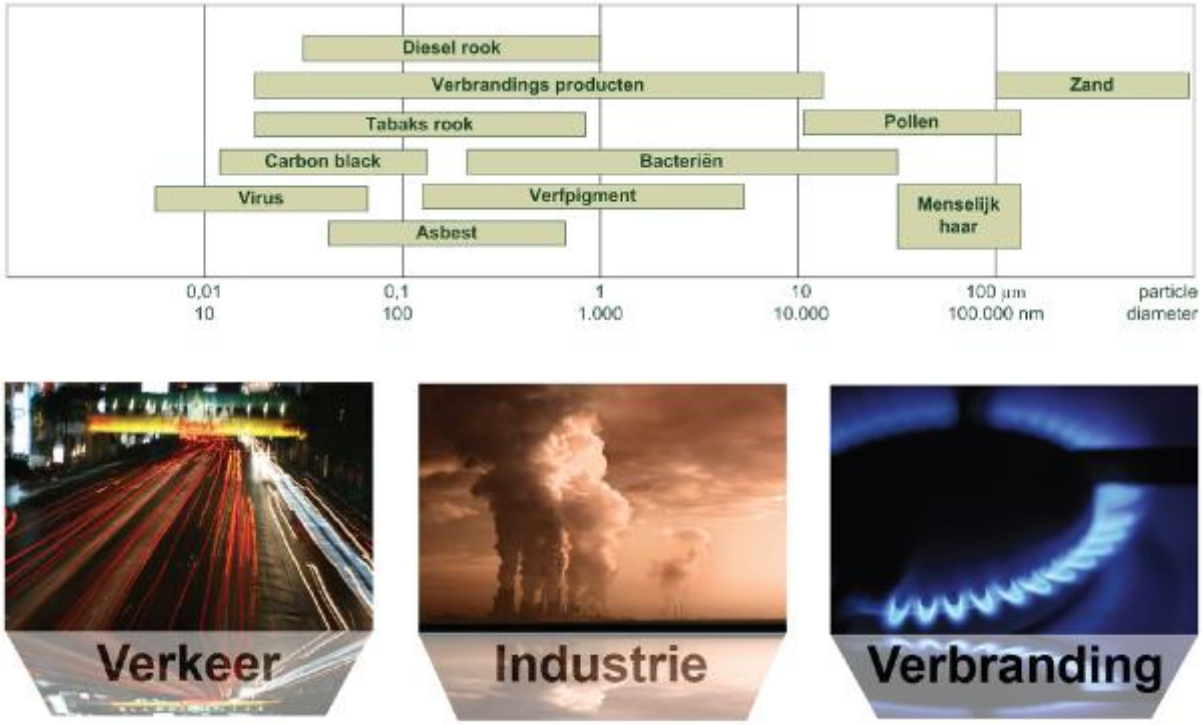
Nanomaterialen en ultrafijn stof

Voor de begripvorming en de leesbaarheid voor de rest van het dossier wordt kort ingegaan op het onderscheid tussen ultrafijnstof en nanomaterialen. Cruciaal in het begrip van wat een nanomateriaal is, en wat daar nieuw aan is, is het gegeven dat nanomaterialen door de mens worden ontworpen, geproduceerd, gemanipuleerd en toegepast. Zij worden aangeduid als synthetische nanomaterialen, of met de Engelse naam 'engineered nanoparticles' (ENP) of Manufactured Nano Objects (MNO). De synthetische nanomaterialen verschillen van de overige deeltjes in die zin dat ze doelbewust door de mens geproduceerd worden.

(utra)Fijn stof verschilt van synthetische nanomaterialen op het punt van doelbewuste productie. Bij (utra)fijn stof gaat het om deeltjes die niet met opzet door de mens in de lucht worden gebracht of daar vanuit de natuur aanwezig zijn. In de regel is (utra)fijn stof een milieu uitdrukking.

Grofweg kunnen deeltjes in het nanobereik ingedeeld worden in drie categorieën: (I) van nature voorkomende deeltjes als condensatieproducten, (vulkanisch)as, mineralen etc.), (II) door de mens geïnduceerde nanomaterialen. Dit zijn in de regel bijproducten van processen met hoge temperatuur zoals verbranding, industriële processen, elektromotoren, heaters, lassen etc. (III). De laatste categorie betreft de synthetische nanomaterialen

In figuur 2 zijn enkele bronnen van antropogene aerosolen (categorie I en II) in het milieu opgenomen.



Figuur 2 Enkele bronnen van antropogene aërosolen in het milieu.

Uit diverse meetprojecten (26, 8, 9) is gebleken dat de door de mens geinduceerde nanomaterielen een substantiele bijdrage kunnen leveren aan de achtergrondniveaus van deeltjes in het nanobereik die aanwezig zijn op de werkplek. Voor een goede blootstellingsbeoordeling naar synthetische nanomaterialen zullen de meetwaaden gecorrigeerd moeten worden voor het achtergrondniveau.

Nanoproduct
Net als bij het vaststellen van een definitie voor nanomaterialen, zal er ook discussie zijn over de definitie van een nanoproduct. Wat is precies een nanoproduct en wanneer spreken we van een nano(eind)product? Ondanks dat er nog geen definitie is vastgesteld (vanuit wet- en regelgeving) kan gesteld worden dat een nanoproduct een product is waarin **welbewust** “synthetische” nanomaterialen worden toegepast, met het oogmerk om aan het product specifieke producteigenschappen toe te voegen.

1.2 Psychosociale aspecten

Invloed op gedrag
De risico’s achter Nano deeltjes zijn voor een werknemer niet goed in te schatten. Er is nog weinig bekend over de risico’s en dat wat er bekend is is niet te zien of te voelen. Volgens de Theory of planned behavior van Ajzen en Fishbein (10) wordt daardoor de verwachting die een medewerker heeft over de controleerbaarheid van het risico duidelijk verlaagd. Dit geeft een verlaagde gedragsintentie en een verlaagd gevoel van controleerbaarheid over het risico. Het werk geeft hierdoor een verhoogde beleving van werkdruk.

Bij een langere duur van het ondergaan van dit onbekende risico wordt de Self-efficacy, het vertrouwen in zichzelf om te kunnen handelen lager (11). De beleving is afhankelijk van de

betekenisgeving. De medewerker kan er de betekenis aan geven er is toch niets aan te doen en er onverschillig van worden. Of de medewerker kan zich er voortdurend door laten verontrusten.

Emotionele energie
De aanwezigheid van een onbekend risico heeft invloed op het emotioneel welbevinden. De medewerker is bewust en onbewust bezig met betekenis geven aan dit risico. Hij wil informatie en zoekt naar bevestiging.

Onderzoek naar effecten
In het Verenigd Koningrijk is door de Health and Safety Executive (HSE) in 2006 onderzoek gedaan naar psychosociale gevolgen van ongevallen en gezondheidsincidenten. Hoewel dit onderzoek niet specifiek gericht is op de gevolgen van blootstelling aan nano deeltjes worden wel verschillende casussen op dit vlak beschreven (12).

Gevolgen voor het individu
Bij casuïstiek waarbij ernstige gezondheidseffecten zich manifesteren zoals bij mesothelioom en silicose worden de emotionele effecten als bijzonder sterk omschreven. Deze effecten hebben geleid tot lange perioden van angst voornamelijk over de toekomst. Hiernaast worden in het onderzoek ook symptomen van depressie genoemd. In alle gevallen hebben de slachtoffers hierover contact gezocht met hun behandelend arts.

In het geval van allergische reacties zijn de emoties van betrokkenen vooral gericht op angsten en onzekerheid over de toekomst. Bij de bespiegelingen over de toekomst spelen onzekerheid over de mate van sensibiliteit, consequenties voor het werk en persoonlijke gevolgen een belangrijke rol. Opvallend is dat deze zorgen niet in alle gevallen besproken zijn met de behandelend arts. Bij de behandeling van lichamelijke klachten is het dan ook aan te bevelen dat de behandelaar het initiatief neemt tot het bespreekbaar maken van deze zorgen.

Angst voor blootstelling
Uit onderzoek bij politieagenten (Van den Heuvel en Houtman, 2001) weten we dat de hoge emotionele belasting in het werk bijdraagt aan het ontwikkelen van psychische klachten, zoals emotionele uitputting. Kenmerkend is aanhoudende vermoeidheid na geringe inspanning. Gevolgen zijn onder andere slaapproblemen, prikkelbaarheid en onvermogen te ontspannen. Er is helaas geen informatie bekend over de gevolgen van de emotionele belasting die gepaard gaat met de angst blootgesteld te worden aan (zeer) gevaarlijke stoffen. Aangenomen mag worden dat deze angst bestaat en in sommige gevallen (bij gebrekkige beheersmaatregelen) ook reëel kan zijn. Naarmate de perceptie van gevaar groter is zullen ook de angsten voor mogelijke gevolgen van blootstelling toenemen.

We hebben hier echter te maken met een langdurige blootstelling aan iets waar we niet van weten of het gevaarlijk is. De angst voor het onbekende kan emotioneel erg belastend zijn maar het kan ook omslaan in onverschilligheid. Deze onverschilligheid kan echter wel weer omslaan als er bijvoorbeeld iets over gepubliceerd wordt.

Angst na blootstelling
Een duidelijk voorbeeld van angst voor schadelijke gevolgen na blootstelling is een zogenaamd prikaccident. Het is bekend dat prikaccidenten (afhankelijk van soort en bron) kunnen leiden tot gezondheidschade. Prikongevallen hebben naast deze mogelijke gezondheidsschade ook een psychologische weerslag op de getroffen werknemer zoals angst, ongerustheid voor de risico's en resultaten, depressie, ontkenning, seksuele dysfunctie en slaapstoornissen.

Blootstelling aan grote hoeveelheden nanomateriaal bijvoorbeeld na een ongeval of een productiefout, geeft veel onzekerheid. Je kunt heel lang niet weten of het gevaarlijk geweest is. Het is redelijk te veronderstellen dat er dan vergelijkbare ongerustheidsverschijnselen kunnen ontstaan bij het werken met nanomaterialen en –producten.

Werkdruk
Om goed te kunnen functioneren hebben we een bepaalde mate van spanning nodig. Wanneer de hoeveelheid spanning die het werk met zich meebrengt echter groter is dan we kunnen hanteren is er geen sprake meer van een functionele spanning maar van stress.

Effecten van stress zijn onder andere: verminderd concentratievermogen, verminderd vermogen om prioriteiten te bepalen, sneller vergissingen en fouten maken, besluiteloosheid, blikvernauwing, prikkelbaarheid, haastgevoelens en verwardheid. Stress leidt dus tot verminderde prestaties en verstoort onze gemoedsgesteldheid. Tijdens het werken met gevaarlijke stoffen kunnen deze effecten verstrekkende gevolgen hebben. Beoordelingsfouten door verminderde concentratie kunnen leiden tot onverhoopte blootstelling of ongevallen met ernstig letsel tot gevolg. Aandacht door werkgevers voor werkdruk, of meer algemeen Psychosociale Arbeidsbelasting (PSA), is van belang om stress en (fysieke) uitputting door stressreacties te voorkomen. Klik hier.

Risicoperceptie
Risicoperceptie wordt voor een deel bepaald door de daadwerkelijke omvang van het betreffende risico. Er zijn echter belangrijke vertekeningen in de perceptie mogelijk. Deze vertekeningen komen voort uit drie belangrijke bronnen:
1. kenmerken van het risico zelf;
2. de “voorstelbaarheid” van het risico en;
3. de eventuele betrokkenheid van de werknemer.

Werknemers onderschatten risico’s vooral wanneer:
- het (relatief) grote risico’s zijn;
- men dat risico zelf loopt;
- men denkt het risico te kunnen controleren door eigen handelen;
- het voor de betrokkene een bekend (in plaats van een nieuw) risico is;
- het aantal mensen dat blootgesteld wordt relatief klein is;

Over het algemeen is het niet eenvoudig om de vertekening van risicoperceptie tegen te gaan. Door op een juiste wijze te communiceren(zie dossier Algemeen Stoffenbeleid, paragraaf 6.2.3) over risico’s kan deze perceptie meer in overeenstemming worden gebracht met de werkelijkheid. In het geval van nanomaterialen is er echter nog weinig bekend zodat een goede risicoperceptie (nog) niet mogelijk is.

Risico’s worden op verschillende manieren waargenomen. Het rapport “Risk perception and risk communication with regard to nanomaterials in the workplace” van het European Agency for Safety and Health at Work (13) geeft daar een goede inkijk in. Zie ook tabel 1.

Tabel 1 Risicoperceptie: karakteristieken en mate van zorg

Factors	Low risk perception factors i.e. factors decreasing perceived risk	High risk perception factors i.e. factors increasing perceived risk
Benefits	High benefits	Low benefits
Choice of exposure	Voluntary	Involuntary
Type of risk	Chronic – kills one person at a time	Catastrophic – kills large numbers of people all at once
Familiarity	Old risk	New (unfamiliar or novel source)
Catastrophic potential	Common – a risk that people have learnt to live with	Dread – a risk that evokes an emotional fear response
Visibility of exposure	Visibility	Invisibility
Individual control	Possible	Not possible
Origin	Natural source	Man-made
Risk management ability	No possibilities a priori[4]	Lack of effective measures
Knowledge about risks	Known to the individuals exposed (possible precaution)	Not known to the individuals exposed
Uncertainty	Known to science	Not known to science
Manifestation	Immediate or reversible damage	Delayed or irreversible damage
Damage	Definitely not fatal	Definitely fatal
Fair distribution of damage	Equitably distributed	Not equitably distributed
Damage visibility	Anonymous victims	Victims identifiable
Victims	Adult males	Children and women
Social or scientific status	Consensus possible	Controversial

Source: adapted from Slovic, 2000

Verder geeft het rapport aan dat er veel verschillende manieren zijn om risicoperceptie in te schatten en dat het perspectief waarmee men naar de technologie kijkt erg veel invloed heeft op deze perceptie.

Daarnaast geeft hetzelfde rapport een aantal aanbevelingen voor de communicatie van de risico's via de media:

- zorg ervoor dat in alle beschrijvingen gevaren van nanomaterialen de intrinsieke heterogeniteit van nanodeeltjes beschreven wordt en de onzekerheid van vermeende causaliteit wordt aangegeven;
- zorg ervoor dat overtuigend en wetenschappelijk duurzaam verband tussen nanomaterialen blootstelling en eventuele pathologische gevolgen die vermoedelijk verband houden met de blootstelling is;
- zorg ervoor dat er voldoende fysische en chemische karakterisering wordt verstrekt over de nanomaterialen in kwestie om geldige data-interpretatie en vergelijking te ondersteunen.

Algemeen
Naast deze voor nanotechnologie specifieke aspecten zijn er ook meer algemene psychosociale effecten. Deze algemene tekst is te raadplegen in het dossier Algemeen Stoffenbeleid en in het dossier Kankerverwekkende, mutagene en teratogene stoffen.

Risk Governance,
Het omgaan met risico's als die van nanomaterialen wordt op dit moment met een nieuwe term vanuit een nieuw perspectief omschreven. Een veel gebruikte term is risk governance.
Governance verwijst naar een onderzoeksperspectief waarin beleidsprocessen geconceptionaliseerd worden als een complex geheel waarin veel verschillende actoren op een uiteenlopende manier met elkaar interacteren (van Asselt, 2005).

Wat hier opvalt zijn de volgende zaken:
- Het geheel is complex;
- Er is sprake van verschillende actoren;
- Er zijn geconceptionaliseerde beleidsprocessen;
- Er is diversiteit in interactie.

In het geval van nanomaterialen hebben we een complexe situatie. Er is sprake van een zogenaamd onzeker risico, dat lijkt een tautologie. Bedoeld wordt dat we en het effect van het risico niet in kunnen schatten en niet zeker weten of het een risico is en geen resultaten van het effect kunnen bepalen. Een goede risico inventarisatie is dan ook niet op basis van harde gegevens te maken. Er moet gewerkt worden met scenarios. Daarnaast is er een risico controverse. We weten het gevolg van het risico van nanomaterialen niet maar we weten ook niet wat de opbrengst kan zijn. Ofwel wat gebeurd er als we er niets mee doen? Het werken mat nanomaterialen kan gevaarlijk zijn maar het niet verder toepassen van het gebruik van nanomaterialen kan kansen op bijvoorbeeld nieuwe geneesmiddelen verkleinen. Deze controverse kan psychosociale druk opleveren. Zeker als de scenario's geen duidelijk beeld geven van de verschillende risico's

Er zijn veel verschillende actoren en dus ook veel verschillende belangen en visies. Vanuit die belangen en visies wordt de betekenis van het risico vormgegeven. Vaak worden de belangen en visies echter niet uitgesproken en daardoor kan de medewerker die met het risico te maken heeft daar geen duidelijk beeld van vormen. Het is belangrijk dat medewerkers op de hoogte gebracht worden van de belangen en visies.

De beleidsprocessen worden vorm gegeven in de vorm van scenarios. Als de mogelijkheid van op grond van evidence bepaalde causale situaties er niet is omdat oorzaken en of gevolgen niet bekend zijn wordt er gewerkt met scenarios. Het gevolg is dat medewerkers de mogelijkheid hebben een eigen attributie te geven aan de situatie. Dat kan twee kanten op. Of het scenario zegt dat het een risico is maar dat geld niet voor mij want……, of de andere kant op het scenario zegt dat het geen risico is maar voor mij is dat het wel want….. Hierdoor ontstaat psychosociale druk die kan leiden tot stress.

De diversiteit in interactie geeft voor de medewerkers onduidelijkheid en kans op speculatie. Als het ene bedrijf wel voorzorgmaatregelen neemt en het andere niet is er voor medewerkers de mogelijkheid om hier zelf een betekenis aan te geven. Ook dit geeft psychosociale druk.

Verantwoordelijkheden
Een ander probleem bij het werken met onbekende risico's is het toewijzen van verantwoordelijkheden. Daar waar er noodzakelijkerwijs gewerkt moet worden met scenario is het moeilijk om duidelijk te worden over de verantwoordelijkheid. Als er beleid, in de vorm van regels, gemaakt wordt door de overheid is de overheid verantwoordelijk, als er beleid ontworpen wordt in de vorm van senario is er vaak geen sprake van verantwoordelijkheden in dit beleid. Er is ook nog geen jurisprudentie over en dus blijven verantwoordelijkheden onduidelijk. In beleidsstukken gaat men de toewijzing van verantwoordelijkheden vaak uit de weg. Er ontstaat dan een situatie van georganiseerde onverantwoordelijkheid of een situatie met vacante verantwoordelijkheid. Niemand lijkt verantwoordelijk. Het gevolg is dat medewerkers hier twee kanten op kunnen of zich verantwoordelijk voelen voor beleid waar ze geen invloed op hebben of denken dat de werkgever verantwoordelijk is voor zaken waar ze zelf invloed op hebben. In beide gevallen geeft dat psychosociale druk.

Communicatie
De oplossing is voor veel van bovenstaande zaken communicatie. Communicatie gaat verder dan informatie. Het is erg belangrijk dat er ook geluisterd wordt. Bij het maken van een communicatieplan is het belangrijk eerst te bepalen wie er allemaal betrokken zijn en wat hun rol is. Daarnaast wat hun kennis is en welke rol men heeft. Verder is het belangrijks een belangen inventarisatie te maken. Zie verder te communiceren (zie dossier Algemeen Stoffenbeleid, paragraaf 6.2.3).

Onzekerheden.
Bij het werken met onzekerheden is het belangrijk dat er evenwichtige betekenisgeving plaatsvind. Voor het betekenisgeven aan onzekerheden gelden drie stappen:

1. Erkennen van de onzekerheid. Vaak worden onzekerheden gebagatelliseerd of ontkent. Het erkennen van onzekerheden is de eerste stap in een goede betekenisgeving
2. Het herkennen van onzekerheden is de tweede stap. Met herkennen wordt bedoeld dat mensen onderzoeken wat bekend en wat onbekend is en hier een waarde aan geven.
3. Tolereren van onzekerheden. Het aangeven dat er onzekerheden zijn en dat we er mee werken.

Onderzoek
Het uitvoeren van onderzoek geeft op zich weer een betekenis aan de situatie. Het is in sociaal wetenschappelijk onderzoek bijna onmogelijk om de invloed van het onderzoek op het onderzoek uit te sluiten. Alleen het vragen naar de beleving geeft al een beleving. Als er een onderzoek gedaan wordt naar de risico's van nano deeltjes dan geeft dat voor veel mensen al aan dat er een risico is. Het vragen naar risico's in werkbelevingsonderzoeken geeft vaak het gevoel dat er dus risico's moeten zijn. hierdoor worden risico's vaak groter ingeschat als ze vooraf beleefd worden. Op zich is dat niet verkeerd het verhoogt de awareness. Het kan echter ook heel makkelijk doorslaan naar overreactie. Bij zogenaamde onbekende risico's lijkt dat vaker het geval te zijn.

1.3 Omvang problematiek

De wereldwijde markt voor toepassing van naomaterialen wordt geschat op een waarde van circa 20 miljard euro. In de ‘nano’ sector in Europa geeft aan circa 300.000 – 400.000 personen direct werk. Momenteel wordt de nano markt nog gedomineerd door gebruik van chemische verbindingen die al tientallen jaren in de industrie gebruikt worden, zoals carbon black (banden) en synthetische amorf siliciumoxide (tandpasta, anti klontermiddel in voedingsproducten)(14). De laatste jaren komen met name vanuit het fundamenteel onderzoek steeds meer nieuwe toepassingen en verbindingen op de markt en worden daadwerkelijk bottom-up materialen gefabriceerd.

De mogelijke blootstelling aan nanomaterialen tijdens het werk is nog met veel onzekerheden omgeven. Niet alleen zijn er nog onzekerheden over mogelijke gezondheidsrisico’s, maar ook over de aard en de omvang van de blootstelling voor werknemers en de vraag of men blootgesteld kan worden aan de nanomaterialen tijdens het bewerken van nanoproducten. Wanneer medewerkers potentieel blootgesteld kunnen worden aan materialen met nog (deels) onbekende gezondheidsrisico’s is het van belang om goed in kaart te brengen waarover men spreekt. Omdat chemisch identieke nanomaterialen in diverse vormen kunnen voorkomen, is het wenselijk om elke toepassing van nanomaterialen afzonderlijk op de mogelijke gevaren te beoordelen.

Dezelfde eigenschappen die nanomaterialen vanuit technologisch oogpunt zo interessant maken, zoals een hoge reactiviteit en het vermogen om barrières te passeren, zouden hen ook gevaarlijk kunnen maken voor mens en milieu. Het inzicht in mogelijke risico’s is echter nog verre van volledig. Met de opkomst van nanotechnologieën richt onderzoek naar blootstelling en de toxicologie de aandacht steeds meer op de fijnste stofdeeltjes, de nanomaterialen. Hierbij staan onderzoekers voor de vraag in hoeverre de beschikbare kennis over ‘traditionele’ microdeeltjes en over de in de buitenlucht voorkomende nanodeeltjes (ultrafijnstof) bruikbaar is voor de beoordeling van de risico’s van synthetische nanodeeltjes, zoals nanotubes, fullerenen, nanodraden, quantum dots en deeltjes die ingezet worden voor geneesmiddelentransport en diagnose.

Doordat de nanomaterialen andere fysische eigenschappen hebben dan de macro varianten van dezelfde stof, zullen andere blootstellingsparameters beoordeeld moeten worden dan bij de beoordeling van stoffen in macro vorm. Meer informatie over blootstelling en mogelijke relevante blootstellingsmaten om het risico van blootstelling in uit te drukken is opgenomen in paragraaf 3.3. van dit kennisdossier.

Verwante Arbokennisnet dossiers
Dossiers die wat betreft onderwerp raakvlakken hebben met dit dossier over blootstelling aan synthetische nanomaterialen zijn de arbokennisdossiers die het werken met gevaarlijke stoffen beschrijven. Het betreft de volgende dossiers:
Dossier RI&E
Dossier Algemeen stoffenbeleid
Dossier Carcinogene mutagene en teratogene stoffen

2 Relevante werksituaties

2.1 Levenscyclus van nanomaterialen

Medewerkers kunnen in diverse fasen van de levenscyclus van het nanomateriaal blootgesteld worden aan vrijkomend nanomateriaal. De aard en mate van blootstelling zal mede afhangen van betreffende fase van de levenscyclus waarin de medewerker blootgesteld wordt aan het nanomateriaal. De werkzaamheden van de medewerker in de levenscyclusfase zal mede bepalen of de medewerker wordt blootgesteld aan de pure/zuivere nanomaterialen (voor zover mogelijk), aan agglomeraten en aggregaten van nanomaterialen (eventueel gebonden aan andere (nano)deeltjes), of aan deeltjes afkomstig van nanoproducten.

Op hoofdlijnen zijn er vijf fasen in de levenscyclus van nanomaterialen te onderscheiden. Schoonmaak- en onderhoudswerkzaamheden in werkruimten en aan machines en installaties zijn activiteiten die door de hele keten van het nanomateriaal voorkomen en komen in elke fase van de levenscyclus voor.

1. Onderzoek & Ontwikkeling
   Wetenschappelijk en commercieel onderzoek naar de vervaardiging van materialen en producten. Het betreft hier de ontwerpfase van het deeltje of het product. Binnen het wetenschappelijk onderzoek worden vaak verbindingen gebruikt die op commerciele schaal nog weinig gebruikt worden:zoals verbindingen uit de groep van Lanthaniden, combinaties tussen biologische materialen en nanoverbindingen, goud en zilver draadjes, cadmiumverbindingen.

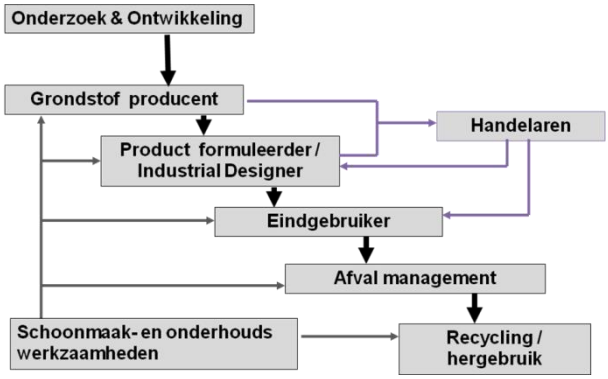
2. Primaire productie
   Productie van nanomaterialen die bedoeld zijn om gebruikt te worden als grondstof in een product of halffabricaat.

3. Secundair gebruik
   In deze fase worden nanomaterialen gebruikt als grondstof in een eindproduct of halffabricaat (bijvoorbeeld het inmengen van een nanomateriaal in een coating, of in beton). Ook de handel en distributie van halffabricaten hoort in deze fase thuis.

4. Eindgebruikers en consumenten
   Het gewenste gebruik van het nanomateriaal of nanoproduct (verf, beton, schoenspray etc.). Het bewerken (bijvoorbeeld het boren in beton) en verwijderen van nanoproducten (het verwijderen van een coating/verf) horen ook in deze fase thuis.

5. Afvalfase
   In de afvalfase kunnen diverse situaties onderscheiden worden, zoals hergebruik van materiaal binnen een bedrijf, demontage van nanoproducten en het aanbieden van nanomaterialen en nanoproducten voor afvalverwerking of recycling.

Een schematische weergave van de levenscyclus van het nanomateriaal is weergegeven in figuur 3.

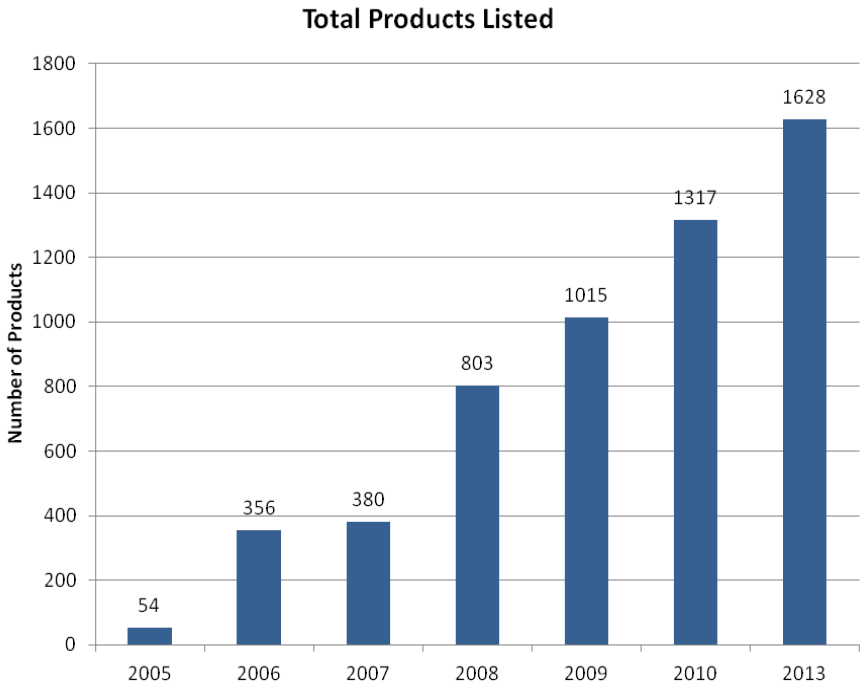


Figuur 3 Levenscyclus van nanomaterialen

2.2 Voorkomen en gebruik van nanoproducten

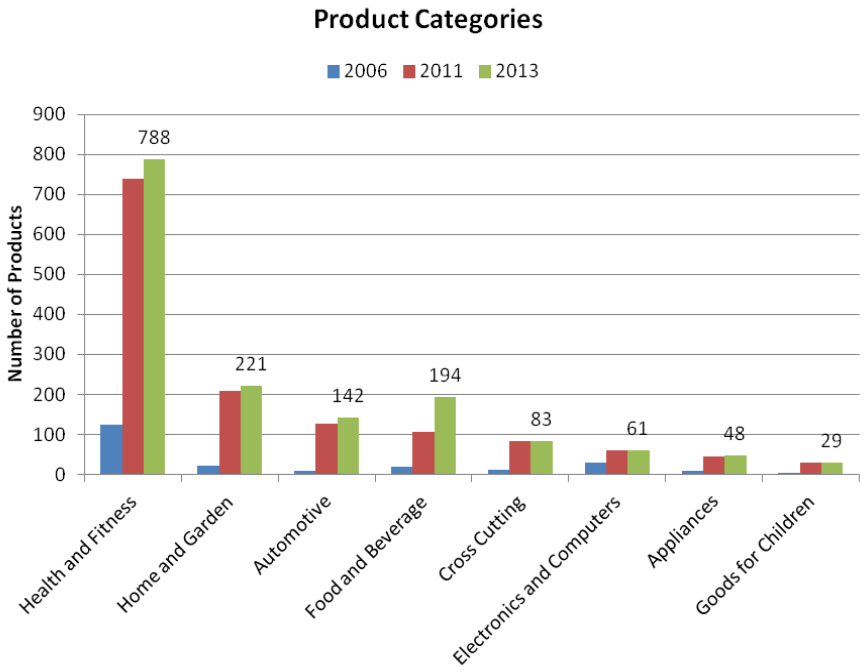
Doordat nanotechnologie en het gebruik van nanomaterialen nog een relatief korte historie heeft, is het nu nog moeilijk om een goed beeld te geven van branches en beroepen waar (veel) met nanomaterialen gewerkt wordt. Het ontbreken van een goed beeld van dit gebruik heeft mede te maken met de mogelijke risico's die verbonden zijn aan het werken met nanomaterialen en producten. Deze onzekerheden zijn er mede de oorzaak van dat enerzijds werkgevers/producenten niet 'open' zijn in de communicatie over het gebruik van nanomaterialen en anderzijds zijn werkgevers en werknemers nog niet echt bereid om met nanomaterialen te werken, zolang de risico's niet volledig bekend zijn. Verder zijn de afgelopen jaren (deels ten onrechte) producten van een nanoclaim voorzien, waardoor niet altijd duidelijk is of het betreffende product nanomaterialen bevat.

Er komen steeds meer (consumenten)producten op de markt waarin nanomaterialen verwerkt zijn. Dit wordt o.a. geïllustreerd door figuur 4. De figuur is afkomstig van het Nanotech Project, een samenwerking tussen het Woodrow Wilson International Center for Scholars en de Pew Charitable Trusts. Deze website houdt onder andere een database up-to-date met daarin het aantal consumentenproducten waarin nanomaterialen verwerkt zijn. Via de website kan o.a. per productgroep of per land gezocht worden welke consumentenproducten opgenomen zijn.

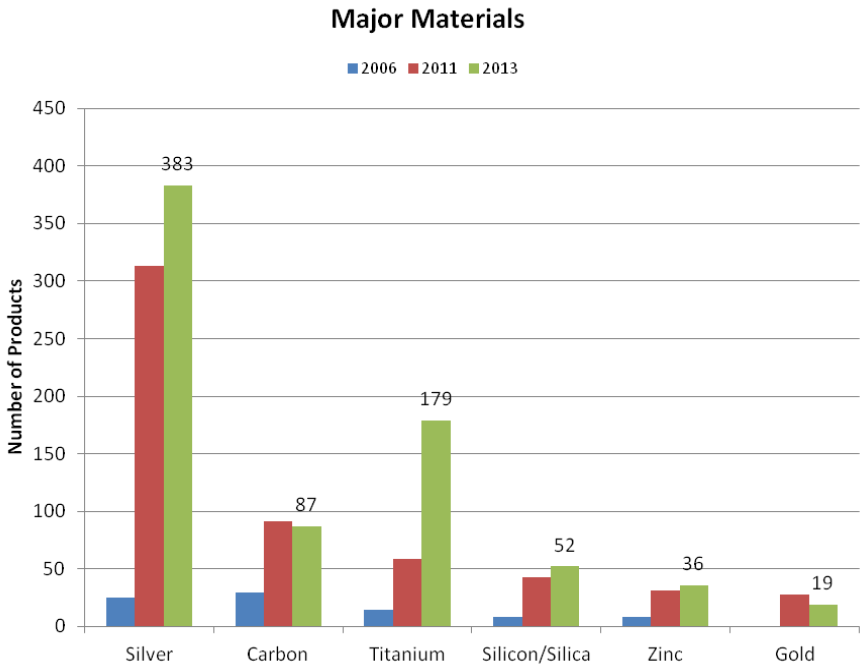


Figuur 4 **Aantal producten opgenomen in de inventarisatie, uitgesplitst per jaar, met regressieanalyse**

In figuur 5 is schematisch weergegeven welke chemische verbindingen vooral in de nanoproducten gebruikt worden en in figuur 6 is weergegeven welke chemische verbindingen het meest gebruikt worden in nanovorm in de betreffende producten



Figuur 5 **Aantal producten waarin een bepaald type nanomateriaal gebruikt wordt.**



Figuur 6 **Aantale producten geassocieerd met een specifiek materiaal**

Ook het in 2012 verschenen rapport van de Gezondheidsraad (15) schets een overzicht van het type nanomaterialen en de sectoren en producten waarin deze zoal gebruikt worden. Voorbeelden zijn titaniumdioxide en zinkoxide in zonnebrandcrèmes. Normaal zijn deze stoffen wit, maar op als gesynthetiseerd nanodeeltje kleurloos, terwijl ze toch hun ultraviolet-absorberend en -reflecterend vermogen blijven behouden. Andere voorbeelden zijn koolstofnanobuisjes als materiaalversterkers in autobanden en natuurlijke kleideeltjes in autobumpers; nanocoatings die worden gebruikt op brillenglazen, krasbestendige sensoren en zelfreinigende ruiten; nanokristallen die snij- en

boorwerktuigen extra hard en slijtvast maken; nanomaterialen die oppervlakken water- en vuilafstotend maken; nanomaterialen in de bouwnijverheid (verven, cement, glas); laagjes nanomaterialen op voedingsmiddelen en textiel om hun antimicrobiële werking; nanomaterialen om kleding kreukvrij en vuilafstotend te maken. Nanotechnologie maakt verder de elektronica steeds kleiner, sneller en multi-functioneler. Nanomaterialen hebben ook hun weg gevonden in medische toepassingen, zoals in de ontwikkeling van nieuwe geneesmiddelen, implanteerbare materialen en apparaten, wondverzorging, en in diagnostische en analytische instrumenten.In de voedselindustrie worden nanomaterialen in de hele keten toegepast (productie, verwerking, verpakking, conservering, supplementen). Ook heeft het toepassingen in de energie- en watertechnologiesector. Voor meer informatie over blootstelling van consumenten aan nanomaterialen wordt verwezen naar rapporten die uitgebracht zijn door het RIVM (16, 17, 18, 19, 20) en waarvan de meeste vrij te raadplegen zijn via de website van het KIR-nano van het RIVM.

Voor een overzicht van de toepassing van nanomaterialen in de **medische sector**, wordt verwezen naar een publicatie van Etheridge et al (2013). In de bijlage bij het artikel is een overzicht van 130 nanomedicijnen met naam opgenomen (21).

De Voedsel en Waren Autoriteit (VWA) heeft in 2010 een studie uitgebracht, waarin de resultaten van de inventarisatie van het aantal en soort consumentenproducten met nanomaterialen op de Nederlandse markt is beschreven (22). Uit de inventarisatie kan worden opgemaakt dat het aantal consumentenproducten met nanomaterialen (ca. 120 in 2010) t.o.v. 2007 (100) niet veel gestegen is. Hierbij moet vermeld worden dat de VWA in het kader van het project niet gecontroleerd heeft of er daadwerkelijk nanomaterialen in de gevonden producten voorkomen. Het geeft wel een beeld van het soort producten waarin nanomaterialen momenteel gebruikt worden.

2.3 Relevante branches en beroepen

Het werken met nanomaterialen en producten waarin nanomaterialen verwerkt zijn staat relatief gezien nog in de kinderschoenen. Er is momenteel geen eenduidig overzicht van Nederlandse bedrijven (bedrijfstakken) en instellingen die in de nanotechnologie actief zijn, of gebruik maken van nanomaterialen in hun producten. Doordat nanomaterialen nog niet eenduidig gelabeld zijn en doordat de verspreiding van informatie door de gebruiksketen heen (van producent, naar formuleerder, naar eindgebruiker) nog niet optimaal is, zal niet voor elke toepassing bekend zijn of men daadwerkelijk met nanomaterialen werkt. Het Veiligheidsinformatieblad (VIB) en de technische productbeschrijving (TDS) geven hier ook niet altijd uitsluitsel over.

Het beschrijven van potentiële toepassingen van nanomaterialen in de diverse branches is momenteel nog erg lastig. Een inschatting zal een momentopname zijn, gebaseerd op de huidige inzichten en verschenen (wetenschappelijke) publicaties. Ingeschat moet worden of verwachtingen uit het fundamenteel onderzoek (efficientere zonnepanelen, quantum computer) ook de weg naar de daadwerkelijke toepassing in de markt weten te vinden.

In Nederland zijn verschillende studies verricht naar het aantal mogelijk aan nanomaterialen blootgestelde werknemers in Nederland. Een eerste studie is verricht door Borm et al. in 2008 (23). Dit onderzoek richtte zich vooral op onderzoek en ontwikkeling en de productie van nanomaterialen (de eerste twee fases van de levenscyclus). Zij concludeerden op basis van de benaderde bedrijven dat circa 400 medewerkers in kennisinstellingen en productiebedrijven regelmatig werkzaamheden verrichten met nanomaterialen (in verschillende vormen en chemische samenstelling). Dit is ongeveer 1% van de totale populatie werknemers betrokken bij de onderzoekspopulatie. Hiervan werken circa 200 personen bij bedrijven waar carbon black, amorf silica en metaaloxiden worden verwerkt. Het gebruik van deze nanomaterialen bedraagt meerdere tonnen per jaar. In de kennisinstellingen werken circa 137 mensen met diverse nanoproducten meestal in de ontwikkelingsfase. De hoeveelheden experimentele, synthetische nanomaterialen liggen tussen 1 en 100 gram per jaar. De onderzoekinstellingen, aangesloten bij VSNU en WVOI, zijn in 2013 een project gestart met een sectoranalyse met als doel om meer inzicht te krijgen in aard, mate en duur van de blootstelling aan nanomaterialen binnen de sector onderzoek. Tevens wordt een inschatting gemaakt van het aantal blootgestelden. Alhoewel het lastig is een goed beeld te krijgen van het aantal blootgestelden, wijzen voorzichtige inschattingen op meer dan een verdubbeling van het aantal blootgestelden ten opzichte van 2008 (24).

Om inzicht te krijgen in de omvang van het gebruik van nano(eind)producten in Nederland, in die fasen van de levenscyclus van nanomaterialen ná de feitelijke productie van nanomaterialen, is door TNO en RIVM op verzoek van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid aanvullend onderzoek verricht. Dit onderzoek is (deels) uitgevoerd in 2010 en is te beschouwen als aanvulling van het onderzoek dat is uitgevoerd door Borm et al. Op basis van de resultaten van dit onderzoek wordt geschat dat circa 3000 werknemer in Nederland potentieel worden blootgesteld aan nanomaterialen tijdens de 'productie/vervaardiging van nano-eindproducten' en het 'aanbrengen/opbrengen van 'ready to use' nano-eindproducten'. Dit is gebaseerd op een berekening waarbij per sector de geschatte marktpenetratie (percentage van de bedrijven in de sector die nanomaterialen toepast), het geschatte gemiddelde aantal werkers per bedrijf dat met nanomaterialen werkt, en de omvang van de sector met elkaar vermenigvuldigd zijn (25).

In 2012 is een pilot studie naar de toepassing van nanomaterialen binnen de Nederlandse verfbranche verschenen. In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu is door TNO in samenwerking met IVAM/UvA een pilot in de verfketen uitgevoerd. Deze pilot was erop gericht zichtbaar te maken hoe het staat met informatie in de verfketen over het gebruik van nanomaterialen en over het bepalen en beheersen van eventuele risico's. Het eindrapport concludeert dat gegevens die nodig zijn voor risicobeoordeling van verf met nanomaterialen schaars zijn. Het bleek moeilijk bedrijven te vinden die mee konden doen in deze pilot. Het rapport geeft hiervoor verschillende verklaringen, waaronder het gebrek aan transparantie in de keten (8).

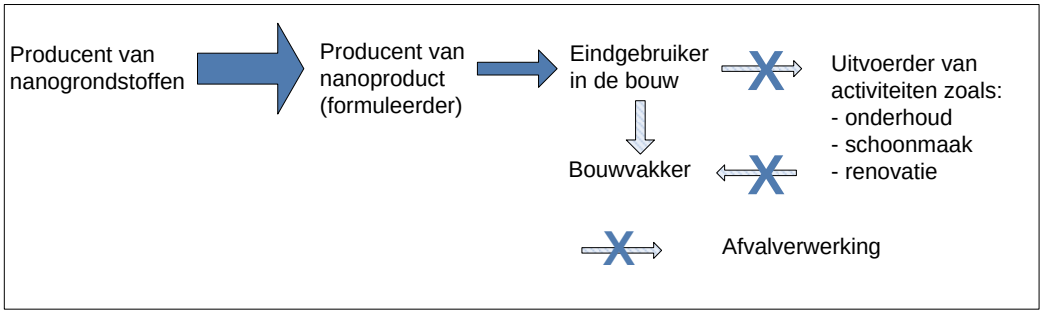
Door IVAM UvA zijn twee onderzoeken uitgevoerd naar het voorkomen en gebruik van nanomaterialen en -producten in de bouwnijverheid (26, 27). De voornaamste conclusies uit deze onderzoeken zijn dat met name in de productgroepen cement/beton, coatings en isolatiematerialen gebruik gemaakt wordt van nanotechnologie (zie voor een overzicht tabel 2)[1]. Verder bleek dat de kennisoverdracht in de keten over het gebruik van nanomaterialen in producten in de bouwnijverheid aandacht behoeft. Hoe verder men in de keten kom, dus hoe verder van de producent vandaan, hoe slechter de informatieoverdracht naar de volgende schakel in de keten is. Dit 'verdwijnen' van informatie is schematisch weergegeven in figuur 7.

[1] Het overzicht in tabel 2 is verkregen via een vragenlijstonderzoek en interviews onder werkgevers en werknemers in de bouwnijverheid, aangevuld met en internetonderzoek.

Tabel 2 Nanomaterialen die worden toegepast in bouwproducten (27)

Materiaal	*Functionaliteit*	*Nanodeeltje*	*Manier van toepassen*
Cement en Beton	Zelfreinigend oppervlak (fotokatalytisch) verhoogde weerstand tegen verval	TiO_2	Oppervlakte laag
	Hoge sterkte beton, verhoogde corrosie bestendigheid	SiO_2 (silica-fume)	Gemengd als additief in het materiaal, vulstof
Isolatie materiaal	Verbeterde isolerende eigenschappen tegen warmte/kou/brand	Nanoporeus materiaal	Aerogel, vaak op basis van SiO_2 of koolstof
Verven en lakken ##	Verbeterde hechting, verbeterde dekking en aanbrengen van een dunnere verf-/laklaag	Nano-dispersies	
	Transparante verf/lak	Nano-ingrediënten	
	Fotokatalytische, zelfreinigende of waterafstotende eigenschappen	TiO_2, ZnO, SiO_2	Additief
	Antibacteriële eigenschappen	TiO_2, ZnO, Ag	Additief
	Krasvast, krasbestendig	SiO_2, Aluminiumoxide	Additief
	“Easy-to-clean” oppervlakken	CF-polymeren	Additief
	Brandvertrager	TiO_2, SiO_2 , nano-klei	Additief
	Bescherming van hout tegen UV licht	TiO_2, ZnO, CeO_2,	Additief
	Bescherming tegen ontkleuring van hout door tannine	Nano-klei	Additief
Glas	Isolerend glas door warmte reflectie	Wolfraamoxide	Oppervlakte coating
	Niet-spiegelend glas	Nanoporeus oppervlak SiO_2	Oppervlakte bewerking Oppervlakte coating
	Brand- en hittebeschermend glas	Metaal oxides SiO_2	Oppervlakte coating Transparante silica gel als laag tussen twee glaspanelen
	“Easy-to-clean” eigenschappen	Ag, SiO_2, CF-polymeren	Oppervlakte coating
	Fotokatalytische, zelfreinigende eigenschappen	TiO_2	Oppervlakte coating
Infra-structuur	Vermindering van luchtvervuiling door aanbrengen van een fotokatalytische laag op asfalt, bestrating materiaal, geluidschermen en tunnelwanden.	TiO_2	Oppervlakte coating

Coatings met vergelijkbare functionaliteit worden ontwikkeld voor vele verschillende materialen zoals hout, plastic, metal, beton, glas, keramiek en natuursteen.



Figuur 7 **Overdracht 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**.

Naast de studies in Nederland, zijn de afgelopen jaren in Europa ook vergelijkbare onderzoeken uitgevoerd in o.a. Zwitserland (28, 29) en in Italië (30). In Zwitserland is een enquête gehouden onder productiebedrijven in Zwitserland om te achterhalen of en hoeveel procent van de medewerkers mogelijk blootgesteld worden aan nanomaterialen in het betreffende bedrijf. Uit het onderzoek komt naar voren dat gemiddeld twee personen per bedrijf direct werkzaamheden verrichten met nanomaterialen. Over de gehele productiesector beschouwd wordt circa 0.08% van de gehele werknemers populatie potentieel direct blootgesteld aan nanomaterialen. In de chemische industrie ligt dit percentage iets hoger en wordt mogelijk 0,5% van de medewerkers in meer of mindere mate direct blootgesteld aan nanomaterialen.

De inventarisatie zoals uitgevoerd in Italië beschrijft de wijze waarop een inschatting is gemaakt van de typen sectoren waar mogelijk met nanomaterialen gewerkt wordt en de potentieel blootgestelde medewerkers per sector. De studie geeft geen inschatting van het percentage blootgestelde medewerkers, maar maakt een inschatting van het totaal aantal mogelijk blootgestelde medewerkers in Italië. Alhoewel er geen concrete percentages genoemd worden geeft de studie inzicht in de sectoren waar medewerkers mogelijk blootgesteld kunnen worden en waar nanotechnologie reeds toegepast wordt.

Op basis van de in deze paragraaf beschreven studies kan onderstaand (indicatief) overzicht weergegeven worden van branches waar verwacht wordt dat met nanomaterialen gewerkt wordt:

- Onderzoek en ontwikkeling (publiek en privaat);
- Productie van verven en drukinkten;
- Productie en toepassing van cement/specie;
- Bouwnijverheid;
- Carrosseriebouw;
- Schilders en glaszetbedrijven;
- Autoschadeherstel sector;
- Cosmetica producenten;
- Rubberindustrie
- Oppervlaktebehandelingsindustrie;
- Ziekenhuizen en universitair medisch centra;
- Keramiek en glasproductie;
- Textielindustrie.

3 Inventarisatie- en evaluatie

3.1 Risico-inventarisatie

Blootstelling aan nanomaterialen kan plaatsvinden via de luchtwegen, het spijsverteringskanaal of de huid. Daarnaast worden nanomaterialen voor medische toepassingen (beeldvorming, diagnostiek of therapie) vaak rechtstreeks in de bloedbaan gebracht door middel van een injectie. Ook kunnen deeltjes in het lichaam vrijkomen door slijtage van implantaten (31). Van al deze mogelijke blootstellingsroutes mag verwacht worden dat de werknemer blootstelling via inademing de meest dominante blootstellingsroute zal zijn.

Naast gezondheidskundige risico's kunnen nanomaterialen in poedervorm zich kenmerken door zelfontbrandende eigenschappen (pyrofoor). Dit vanwege de grote oppervlakte-massa verhouding en de daarmee samenhangende reactiviteit. Wanneer er werkzaamheden uitgevoerd worden met grotere hoeveelheden droge stof wordt geadviseerd om voor gebruik bekend te zijn met de pyrofore eigenschappen van het nanomateriaal. Een praktische uitwerking hiervoor is opgenomen in de Nanosafety Guidelines van de TU Delft (32).

Ondanks de veronderstelde extra risico's die aan synthetische nanomaterialen worden toegeschreven heeft de Nederlandse Overheid geen plannen om aparte wetgeving voor het werken met nanomaterialen in Nederland op te stellen. Volgens de overheid biedt de Arbeidsomstandighedenwet (Arbowet) voldoende mogelijkheden voor regulering van het werken met nanomaterialen (33). Volgens de Arbowet is en blijft de werkgever verantwoordelijk voor het in kaart brengen van de (mogelijke) risico's die werknemers lopen tijdens het werk. Hij moet deze inclusief (voorgenomen) beheersmaatregelen opnemen in de risico-inventarisatie en –evaluatie (RI&E), ook in geval van nieuwe risico's waarvan nog weinig bekend is.

De werkgever is in het huidige grenswaardenstelsel zelf verantwoordelijk voor het vaststellen van veilige grenswaarden voor op de werkplek gebruikte stoffen. Als hiervoor geen wettelijke grenswaarden vastgesteld zijn, dan dienen bedrijfsgrenswaarden opgesteld te worden op basis van gezondheidskundige gronden, exclusief de haalbaarheid. De werkgever is en blijft verantwoordelijk voor een veilige en gezonde werkomgeving, waarbij de stand van de wetenschap en techniek in acht genomen moeten worden.

Het werken met en het mogelijk blootgesteld worden aan nanomaterialen zal deel uit maken van de nadere inventarisatie gevaarlijke stoffen, waarbij de aard, mate en duur van de (mogelijke) blootstelling in kaart gebracht wordt. Hierin verschilt blootstelling aan nanomaterialen niet wezenlijk van blootstelling aan chemische stoffen in macro vorm. Wel zal extra aandacht besteed moeten worden aan het in kaart brengen van voor nanomaterialen relevante gevaaraspecten. Onderzoek laat zien dat voor het inschatten van het risico van nanomaterialen een andere dosimetrie gebruikt moet worden dan voor stoffen in macro vorm.

3.2. Blootstellingsbeoordeling

Blootstelingsroutes en eindpunten
Door hun eigenschappen zijn nanomaterialen in staat om barrières in het lichaam te passeren die voor de stoffen in microvorm niet genomen kunnen worden. Hierdoor kunnen ze in de bloedbaan terecht komen en op die manier naar andere organen getransporteerd worden (ter illustratie: een rode bloedcel heeft een diameter van circa 5.000 nm), bovendien kunnen ze de bloed-hersenbarrière passeren. Proefdieronderzoek naar nanomaterialen van koolstof en goud heeft aangetoond dat nanomaterialen ook via de neus en de reukzenuw de hersenen kunnen bereiken. Verder zijn er aanwijzingen dat bepaalde nanomaterialen door de placenta kunnen migreren en zo de ongeboren vrucht kunnen bereiken (34, 35). (In Nederlands onderzoek (36) kon dit mechanisme echter nog niet onomstotelijk worden aangetoond).

Onderzoek laat zien dat de volgende eigenschappen de toxicologische eigenschappen van nanomaterialen beïnvloeden: een sterk vergroot oppervlak (per gewichtseenheid), agglomeratie en aggregatie, aantallen deeltjes (per gewichtseenheid), morfologie (vezelvormig, sferisch, kristallijn) en deeltjesgrootte(verdeling).

Huidblootstelling
Een recente studie naar huidige inzichten van de mogelijkheid van penetratie/opname van nanomaterialen door de huid (37) laat zien dat de diverse studies die uitgevoerd zijn elkaar vaak tegen spreken en dat er meer harmonisatie ten behoeve van testen van de huidopname nodig is. Verder concluderen de onderzoekers dat huidopname mogelijk is, maar dat dit in geringe mate voorkomt. De mate van huidpenetratie hangt meer nog dan bij bulkchemicalien af van chemische verbinding en de gebruikte experimentele condities.

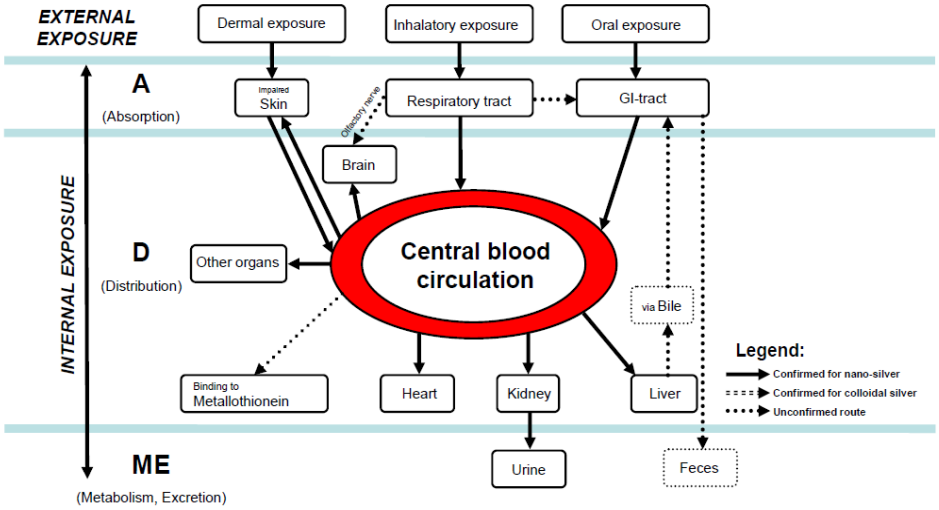
Ondanks dat er meer toxicologisch onderzoek uitgevoerd wordt is er momenteel nog onvoldoende onderzocht welke criteria essentieel zijn om nanomaterialen te karakteriseren en te vertalen naar een relevante risicomaat.

Gevaarsindeling
Hoewel er veel onduidelijkheden zijn over de mogelijke risico's van nanomaterialen, zijn er aanwijzingen over hoe de mogelijke schadelijkheid van nanomaterialen is in te schatten. Een veel gebruikte indeling naar potentiële schadelijkheid is als volgt, waarbij het potentieel risico van hoog naar laag weergegeven is (38):

- Vezelvormige / rigide deeltjes en onoplosbaar;
- Onoplosbare deeltjes waarbij het moedermateriaal geclassificeerd is als CMAR[2] materiaal;
- Onoplosbare deeltjes (niet vezelvormig en moedermateriaal zonder CMAR eigenschappen);
- Oplosbare deeltjes.

Agglomeratie
Blootstelling aan nanomaterialen zal in de meeste gevallen plaatsvinden in de vorm van blootstelling aan aggregaten /agglomeraten en niet aan individuele deeltjes (39, 40, 42). Het meten van de blootstelling door middel van deeltjesmeters zal dan waarschijnlijk een onderschatting geven van de werkelijke blootstelling. Agglomeraten/aggregaten kunnen na penetratie in de longen mogelijk weer in afzonderlijke deeltjes uiteenvallen. De depositie van deeltjes in de longen verschilt van persoon tot persoon en is mede afhankelijk van geslacht, inspanning tijdens het werk, leeftijd en aanwezigheid van eventuele longaandoeningen.

Interessant is dat nanomaterialen, in vergelijking met grotere deeltjes, veel dieper de longen binnen kunnen dringen. Daarnaast komt een relatief groot gedeelte in de neus terecht. Doordat deze verdeling duidelijk anders is dan voor de grotere deeltjes (deze komen hoofdzakelijk in de bovenste luchtwegen) is onzeker of ze daardoor ook andere effecten in het lichaam veroorzaken. Hoe nanomaterialen opgenomen kunnen worden in het lichaam en verspreid worden in het lichaam naar de diverse doelorganen is weergegeven in figuur 8 aan de hand van de adsorptie, distributie, metabolisame en excretie van nanozilver in het lichaam zoals beschreven door van Wijnhoven et al. (18).



Figuur 8 ADME proces van nanomaterialen door het menselijk lichaam

[2] CMAR: Carcinogeen, Mutageen, Asthmageen en Reproductietoxisch

Ondanks alle onzekerheden worden er steeds meer werkplek gebonden metingen bij downstream-users uitgevoerd. Een aantal interessante onderzoeken naar blootstelling aan nanomaterialen op de werkplek zijn beschreven door o.a. het Institute of Occupational Medicine en anderen in het kader van het EU-project ENRHES (41), het Europese Agentschap voor Veiligheid en Gezondheid op het Werk (42), de Nordic Council of ministers (43), Brouwer (44) en het National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (45, 46).

Het algemene beeld dat uit de literatuur (anno 2011) met betrekking tot blootstellingsbeoordeling naar voren komt, is dat:

- er nog zeer weinig meetgegevens zijn uit de praktijk (downstream users);
- Bestaande meetgegevens voor een groot deel zijn verzameld tijdens experimentele omstandigheden;
- bestaande meetgegevens uit de *praktijk* veelal afkomstig zijn uit research laboratoria, of uit bedrijven die de ruwe materialen (nanomaterialen) produceren;
- in het algemeen stationaire metingen verricht zijn in plaats van persoonlijke metingen in de ademzone, als gevolg van de grootte van de benodigde meetapparatuur;
- er met name worst-case metingen, piekmetingen, taakgebonden metingen en metingen met 'bronopsporing' als doel zijn verricht, en geen 'full-shift' (daggemiddelde) metingen;
- er veel verschillende blootstellingsmaten zijn gebruikt: µg/m^3, totaal aantal deeltjes, aantal deeltjes per grootteklasse, oppervlak.

De laatste twee jaar verschijnen er steeds meer publicaties met onderzoeken naar werkplekblootstelling aan nanomaterialen. De voor de Nederlandse situatie relevante studies zijn reeds opgenomen in paragraaf 2.3 van dit dossier. De verwachting is dat binnen het NanoNextNL programma, onderdeel Risk Analysis and Technology Assessment meer inzicht komt in werknemer blootstelling in de Nederlandse situatie.

3.2.1 Kwalitatieve beoordeling

3.2.1.1 Inleiding

De afgelopen jaren zijn diverse handreikingen en leidraden verschenen die helpen bij het inschatten van het risico bij mogelijke blootstelling aan nanomaterialen. Onderstaand overzicht (niet uitputtend) geeft een indruk van de beschikbare hulpmiddelen die de afgelopen jaren zijn verschenen. De meeste hulpmiddelen maken gebruik van de Control Banding methode voor het inschatten van het risico. Onderzoek van Vervoort (5) laat zien dat anno 2012 circa 32 nano risk assessment methodieken vrij beschikbaar waren voor gebruik. Onderstaand staan enkele methodieken vermeld:

- Control Banding Nanotool (47, 48);
- Handleiding veilig werken met nanomaterialen en –producten (49, 50);
- Stoffenmanager nano 1.0 (51);
- Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials (52);
- Control Banding Tool for Nanomaterials (53);
- ANSES (54);
- NanoRiskCat (55);
- EPFL-model (56);
- UKNSPG Guidance (57);
- Nanotoolkit (58);
- ISPESL-model (59);
- CENARIOS®.

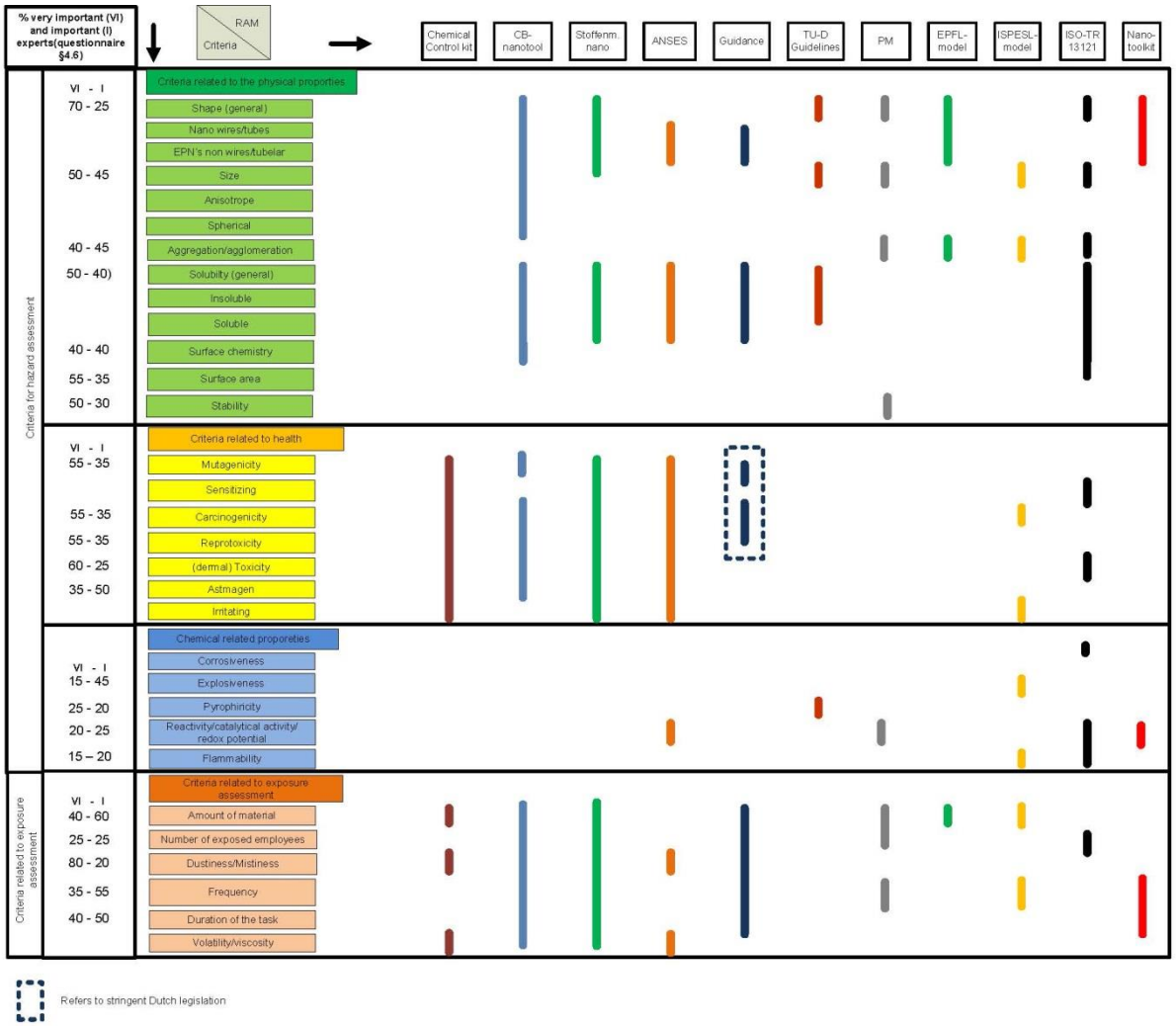
Enkele tools die momenteel in Nederland gebruikt worden, zullen in deze paragraaf kort beschreven worden. Achtereenvolgens worden beschreven:

- Handleiding veilig werken met nanomaterialen en –producten versie 1;
- De Control Banding Nanotool;
- Stoffenmanager nano 1.0.
- EPFL-model
- CENARIOS®

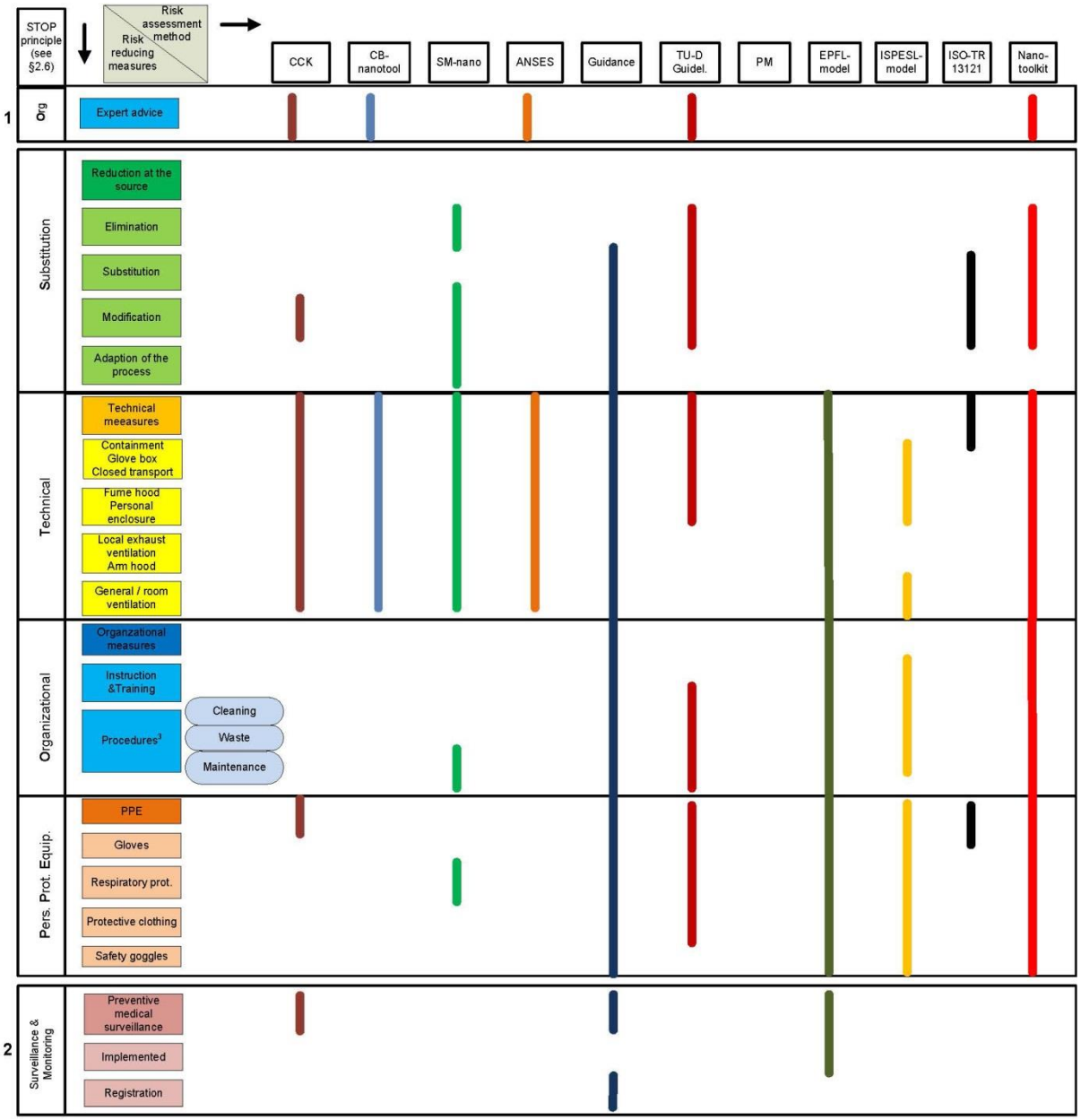
Voordat de handreikingen, best practices en control banding tools (hierna allen instrumenten genoemd) gebruikt worden zal de gebruiker eerst goed na moeten gaan of een bepaald instrument wel geschikt is voor gebruik binnen de eigen sector/bedrijf. Zo zijn diverse instrumenten specifiek ontworpen voor het MKB, één bepaalde sector (onderzoek) of alleen voor eindgebruikers etc. Hiervan dient de gebruiker zich bewust te zijn.

Brouwer (60), van Broekhuizen (61) en Vervoort (5) hebben in hun studies diverse instrumenten inhoudelijk met elkaar vergeleken. Ondanks dat de meeste instrumenten voor het inschatten van het risico (riscoklasse) gebruik maken van een gevaarsindeling (hazard) en mogelijke blootstelling (exposure) kan bij de beoordeling van eenzelfde proces verschillende uitkomsten in de risicoklasse gevonden worden. Bij gebruik van het ene instrument kan een proces als veilig beoordeeld worden, terwijl bij gebruik van een ander instrument het proces als onveilig beoordeeld worden (voorbeeld). Dit verschil komt mede door het gebruik van verschillende variabelen voor het vaststellen van de hazard en exposure band, de beoogde doelgroep en de opbouw van het instrument.

Om een indruk te krijgen van welke variabelen en welke type beheersmaatregelen opgenomen zijn in een selectie van elf instrumenten wordt verwezen naar de figuren 9 en 10.



Figuur 9 Overzicht van gebruikte variabelen in de verschillende instrumenten



1 expert advice is a risk reducing measure for high level risks. It is separated from the rest because it does not directly lead to risk reduction.

2 Surveillance and monitoring are no risk reducing measures. These are instruments for tracing negative effects of ENP-use.

[3] Procedures: the mentioned subjects: cleaning, waste and maintenance refer to specific procedures for these subjects.

ISPESL-model: the risk reducing measures are a part of the risk assessment.

Figuur 10 Overzicht van de type beheersmaatregelen in de verschillende instrumenten

3.2.1.2 Handleiding veilig werken met nanomaterialen en –producten

De Handleiding bestaat uit acht stappen, waar op een systematische manier alle werkzaamheden en potentiële blootstellingsmomenten verbonden met het werken met nanomaterialen en/of nanoproducten in kaart gebracht worden. Omdat de Handleiding in eerste plaats opgesteld is voor bedrijven uit het Midden en Kleinbedrijf (MKB) is er soms voor gekozen om niet alle (wetenschappelijk gezien) relevante informatie te vragen. Er is in de Handleiding bewust voor gekozen om alleen naar die productkenmerken te vragen, waarvan verwacht mag worden dat de werkgevers en werknemers deze informatie kunnen verkrijgen via het VIB en het TDS. De te doorlopen stappen zijn als volgt:

Stap 1 Inventarisatie van gebruikte nanomaterialen en –producten
Om inzicht te krijgen in het gezondheidsrisico van de gebruikte nanomaterialen is informatie over een aantal producteigenschappen nodig. Per gebruikt nanomateriaal worden gegevens verzameld die later in de Handleiding gebruikt worden om via 'Control Banding' het risico van de gebruikte materialen in te schatten.

Stap 2 Beoordelen van het gezondheidsgevaar
De nanomaterialen worden ingedeeld in een klasse voor gezondheidsgevaar. In de Handleiding worden drie klassen gebruikt waarvoor geldt: hoe groter het getal, des te groter het gezondheidsgevaar.
1. (Water)oplosbare nanomaterialen. Dit zijn nanomaterialen met een oplosbaarheid > 100 mg/l;
2. Synthetische, persistente nanomaterialen (niet vezelvormig);
3. Vezelvormige en rigide onoplosbare nanomaterialen waarvoor asbestachtige effecten niet zijn uitgesloten.

Stap 3 Inventarisatie van werkhandelingen
In deze stap wordt voor elk gebruikt nanomateriaal nagegaan wat de werkhandelingen zijn waarbij nanomaterialen kunnen vrijkomen. Hiervoor moet de hele routing van (producten met) nanomaterialen op de werkvloer doorlopen worden: van binnenkomst in het bedrijf tot de afvoer van resten als afval. In de Handleiding is een invultabel opgenomen waarin tien gangbare werkhandelingen zijn weergegeven, waarbij aangegeven is welke handelingen van belang zijn bij de primaire productie van nanomaterialen (nano grondstofproductie), welke van belang zijn voor secundaire productie van nanoproducten (zoals het vervaardigen van nano-verf) en welke van belang zijn bij het professioneel gebruik van nanoproducten (schilders die nano-verf verwerken, drukkers die nano-inkt gebruiken, etc.).

Stap 4 Bepalen van de kans op blootstelling
Wanneer alle handelingen met alle gebruikte nanomaterialen en nanoproducten bekend zijn, kan aan de hand van deze stap de mate van blootstelling bepaald worden. De kans op blootstelling van werknemers aan de 'vrije' nanomaterialen wordt bepaald door de manier waarop er gewerkt wordt met het nanomateriaal of nanoproduct. In de Handleiding wordt met drie blootstellingklassen gewerkt. Hoe groter het getal, hoe lager de kans op blootstelling:
1. Vrijkomen van primaire nanomaterialen (1 - 100 nm) tijdens werkzaamheden is mogelijk. Bijvoorbeeld bij de productie van nanomaterialen of bij onderzoekswerkzaamheden;
2. Vrijkomen van grotere deeltjes die opgebouwd zijn uit afzonderlijke nanomaterialen gebonden in grotere vaste of vloeibare deeltjes tot 100 µm tijdens werkhandeling is mogelijk. Bijvoorbeeld bij het wegen of storten van bulkgrondstoffen met nanomateriaal, bij slijpen, bij verspuiten, en bij schuren van nanoproducten;
3. Vrijkomen van nanomaterialen (1 - 100 nm) is niet mogelijk door gebruik in een 100% gesloten systeem. O.a. door gebruik van glove-boxen of bij een volledig ingekapseld (oftewel 'contained') productieproces.

Stap 5 Selectie van de noodzakelijke beheersklasse
De beheersklasse is gelijk aan wat internationaal als de **'**Control Band**'** wordt genoemd. Het gezondheidsrisico van het werken met nanomaterialen kan op dit moment alleen kwalitatief beoordeeld worden. Er kan op basis van de bestaande kennis alleen richting gegeven worden aan de noodzaak voor beheersmaatregelen (= prioritering). Er is gekozen om met drie beheersklassen te werken.

De beheersklasse wordt bepaald aan de hand van een beslismatrix met de gevarenklasse (stap 2) van het nanomateriaal en de blootstellingcategorie van de werkhandeling met dit nanomateriaal (stap 4). De gebruikte matrix voor het vaststellen van de beheersklasse van een werkhandeling met nanomaterialen en nanoproducten is opgenomen in figuur 11.

Kans op blootstelling aan nanodeeltjes bij een werkhandeling	Omschrijving gevarencategorie van nanomateriaal of nanoproduct			
		Gevarenklasse 1: (water)oplosbare nanodeeltjes	***Gevarenklasse 2:*** Synthetische, persistente nanomaterialen (niet-vezelvormig).	***Gevarenklasse 3:*** Vezelvormige, onoplosbare nanomaterialen waarvoor asbestachtige effecten niet zijn uitgesloten.
	Blootstellingcategorie I: Vrijkomen van nanodeeltjes is geminimaliseerd door het gebruik in een 100% gesloten systeem	A	A	B
	Blootstellingcategorie II: Vrijkomen van nanodeeltjes (1-100 nm) gebonden in grotere vaste of vloeibare deeltjes tot 100 µm tijdens werkhandeling is mogelijk	A	B	C
	Blootstellingcategorie III: Vrijkomen van primaire nanodeeltjes (1-100 nm) tijdens werkhandeling is mogelijk	A	C	C

Figuur 11 Beslismatrix voor het vaststellen van de beheersklasse van een werkhandeling met nanomaterialen en -producten

Stap 6 Plan van Aanpak

Het plan van aanpak is vergelijkbaar van inhoud en vorm als het plan van aanpak, dat opgesteld wordt naar aanleiding van de RI&E (o.a. knelpunt, maatregel, geplande datum gereed). Het geeft een overzicht van beheersmaatregelen die ingevoerd worden om verantwoord te kunnen werken met de in het bedrijf gebruikte nanomaterialen en –producten.

Stap 7 Registratie

Omdat er onduidelijkheid is over de risico's voor de gezondheid van werknemers wordt geadviseerd om een register bij te houden van mogelijk blootgestelde werknemers. Doel van registratie is het snel kunnen handelen en opsporen van mogelijke gezondheidseffecten zodra nieuwe informatie over gezondheidseindpunten en effecten van specifieke stoffen bekend zijn. Ook kunnen deze gegevens worden gebruikt om na te gaan of op groepsniveau de vroege gezondheidsklachten zich bij de blootgestelde groep voordoen. Geadviseerd wordt om voor medewerkers die mogelijk blootgesteld worden aan nanomaterialen of –producten uit klasse 3 en 2, zoals beoordeeld in *Stap 2* van de Handleiding, een register bij te houden.

Stap 8 Preventief Medisch Onderzoek

Momenteel zijn er nog geen specifieke medische onderzoeksmogelijkheden voor het opsporen van eventuele nadelige effecten van blootstelling aan nanomaterialen. Er zijn alleen niet-specifieke methodieken beschikbaar zoals onder andere ECG, Röntgenfoto's, longfunctietesten, aantal witte bloedcellen etc. Voor meer informatie over gezondheidsmonitoring wordt verwezen naar hoofdstuk 7, Medisch Onderzoek van dit arbokennisdossier.

De handleiding veilig werken met nanomaterialen en –producten is zowel in het Nederlands als in het Engels te raadplegen en te gebruiken via de IVAM UvA website.

3.2.1.3 De Control Banding Nanotool

Een van de eerste Control Banding methoden die geïntroduceerd is voor het beoordelen van de risico's van beroepsmatige blootstelling aan nanomaterialen is de Control Banding Nanotool (CBN) zoals beschreven door Zalk et al. (47,48). De tool is oorspronkelijk ontwikkeld voor het karakteriseren van de gezondheidseffecten van het werken met engineered nanomaterialen op twee afdelingen van een onderzoeksinstelling. De CBN is dus met name te gebruiken voor het beoordelen van onderzoekswerkzaamheden en in mindere mate te gebruiken voor het inschatten van het risico bij eindgebruikers.

De CBN rangschikt de mogelijke risico's van het werken met nanomaterialen aan de hand van een score op de ernst van de blootstelling (ernst score) en een waarschijnlijkheid van de blootstelling (waarschijnlijkheid score). Het maximum van de 'ernst van de blootstelling' is 100, waarvan 70 punten gebaseerd zijn op de karakteristieken van het nanomateriaal en 30 punten gebaseerd zijn op de

karakteristieken van het moedermateriaal. Ook bij de waarschijnlijkheid van de blootstelling kunnen maximaal 100 punten toegekend worden. Hierbij gaat het om de mate van blootstelling bij werknemers (o.a. gebruikte hoeveelheden, aantal blootgestelden, frequentie, duur). Op basis van de totaalscore op deze gebieden wordt het overall risico van de werkzaamheid vastgesteld en weergeven zoals in figuur 12.

Waarschijnlijkheid (kans op blootstelling)

Ernst	Zeer onwaar-schijnlijk (0-25)	Weinig waarschijnlijk (26-50)	Waarschijnlijk (51-75)	Mogelijk (76-100)
Zeer hoog (76-100)	RL 3	RL 3	RL 4	RL 4
Hoog (51-75)	RL 2	RL 2	RL 3	RL 4
Gemiddeld (26-50)	RL 1	RL 1	RL 2	RL 3
Laag (0-25)	RL 1	RL 1	RL 1	RL 2

Figuur 12 Beslisschema voor het nemen van beheersmaatregelen volgens de Control Banding Nanotool

Aan de uitkomst van de inschatting van het risico zijn vier niveaus van beheersing gekoppeld:
RL 1: Algemene ventilatie toepassen
RL 2: Gebruik afzuigkappen of puntafzuiging
RL 3: Containment, omkasting van de bron
RL 4: Vraag advies aan een deskundige

De beschreven beheersmaatregelen (RL1 t/m RL4) volgen niet de gebruikelijke route van de Arbeidshygiënische Strategie, maar beperkt zich met name tot het toepassen van afzuiging. Bij het gebruik van de CBN moet in het achterhoofd gehouden worden dat deze ontwikkelt is voor een onderzoeksomgeving, waar het merendeel van de werkzaamheden plaats vindt in een zuurkast.

De oorspronkelijke CBN is ontworpen voor de toepassing in laboratoria, waar men met veel kleinere hoeveelheden materiaal werkt dan in een industriële omgeving, en waar vanzelfsprekend sprake is van totaal andere applicatiemethoden dan bij downstream use (bijv. verfspuiten, boren). De CBN focust op het gebruik van “pure” nanomaterialen, terwijl bij downstream-use de gebruikte producten veelal maar voor een beperkt deel nanomaterialen bevatten, die bovendien vaak opgesloten zitten in het product ('matrix') en hier niet gemakkelijk uit vrijkomen.

De CBN lijkt in eerste instantie niet geschikt voor het werken met nanomaterialen bij downstream-use omdat de CBN uit gaat van kleine gebruikshoeveelheden en het gebruik van zuivere stoffen en maakt geen onderscheid voor gebruikte toepassingen. De CBN behoeft aanpassingen om hem voor de werksituaties bij downstream-users geschikt te maken. De geschiktheid voor gebruik van de CBN in de bouwnijverheid, alsook aandachtspunten voor gebruik bij downstream-use van nanomaterialen en –producten, is beschreven in een studie uitgevoerd door IVAM UvA voor Stichting Arbouw (26).

3.2.1.4 Stoffenmanager nano 1.0

Stoffenmanager nano is een losstaande module binnen het Stoffenmanager programma en is alleen bedoeld voor het inschatten van het risico van het gebruik van de nano-component van een product. Andere componenten van een product moeten met de generieke Stoffenmanager 4.5 worden beoordeeld. De route beoordeelt alleen blootstelling aan stoffen via inademing, een kwalitatieve beoordeling van blootstelling via de huid vindt niet plaats. Het prioriteringsdeel kan worden gebruikt voor alle typen gesynthetiseerde (moeilijk afbreekbare) nanomaterialen/vezels, al dan niet als agglomeraat of aggregaat. Deeltjes die vrijkomen als gevolg van verbrandingsprocessen kunnen niet worden beoordeeld met dit model

De wetenschappelijke basis waarop de Stoffenmanager Nano is gebaseerd is jong en volop in ontwikkeling. Dit maakt dat de schattingen van mogelijke gezondheidsrisico's van nanomaterialen gepaard gaan met een grote mate van onzekerheid, welke veel groter is, dan die bij de risico-evaluaties van "traditionele" chemische stoffen. De verwachting is dat de kennis over de mogelijkheden en eventuele risico's van nanomaterialen de komende jaren fors zal toenemen. Door de grote mate van onzekerheid op dit moment hebben de ontwikkelaars van Stoffenmanager Nano gekozen voor een kwalitatieve inschatting van mogelijke gezondheidsrisico's. Op basis van fysisch-chemische stofeigenschappen en informatie over gevaarseigenschappen wordt de stof ingedeeld in een bepaalde gevaarsklasse, zoals vastgelegd in dit Nano bevindingendocument.

Het blootstellingsmodel voor inademing van de Stoffenmanager is gebaseerd op de bron-receptor benadering van Cherrie (62). De belangrijkste determinanten in het bron-receptor model van Cherrie zijn taak, lokale maatregelen, algemene ventilatie en producteigenschappen. Deze zijn op een logaritmische schaal gescoord (63). Door Schneider et. al, zijn het bron-receptor model en de procesdomeinen uitgewerkt voor nanomaterialen (64). Het uiteindelijke model zoals gebruikt voor Stoffenmanager Nano is gebaseerd op zowel het model van Cherrie als van Schneider en hier beschreven.

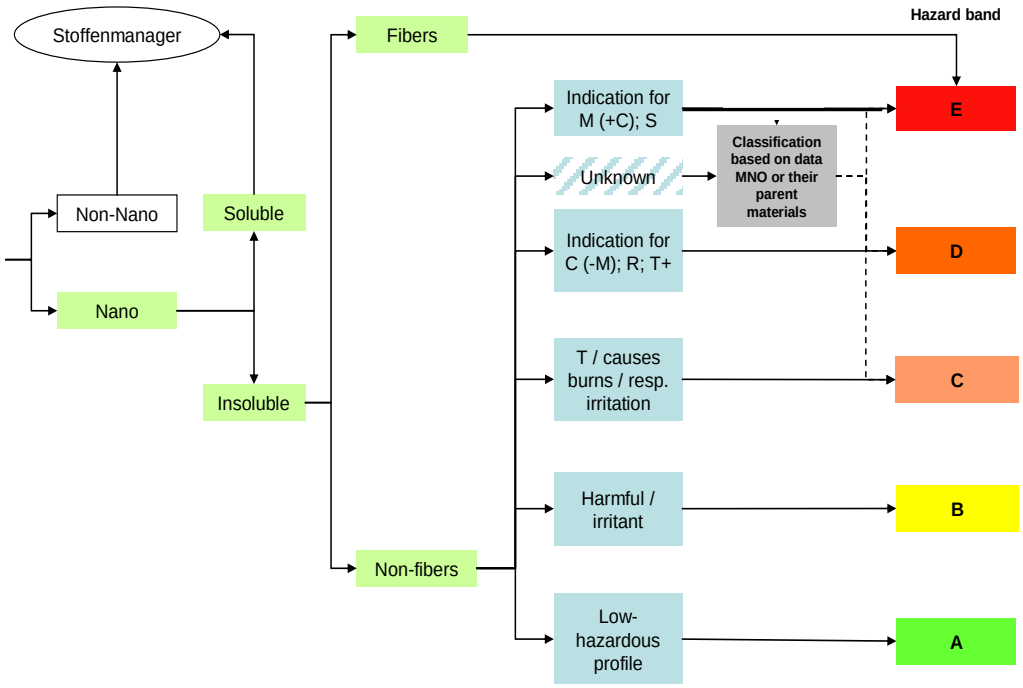
Toepassingsgebied

Voor een goed gebruik van het prioriteringsgedeelte van de Stoffenmanager Nano wordt gebruik gemaakt van productspecifieke informatie. Deze informatie kan vermeld staan in het Veiligheidsinformatieblad (VIB) en het Productinformatieblad (PIB) van het te beoordelen product. Ontbreekt op het Veiligheidsinformatieblad en/of het Productinformatieblad een aanduiding op aanwezigheid van nanomaterialen, maar bestaat wel het vermoeden dat het product deze bevat, neem dan contact op met de leverancier. Stoffenmanager Nano kan toch gebruikt worden. Stoffenmanager Nano is van toepassing op deeltjes die voldoen aan alle van de volgende criteria:

- De deeltjes zijn niet (water)oplosbaar, én;
- De deeltjes zijn bewust (synthetisch) vervaardigd, dus geen bijproduct van bijvoorbeeld verbrandingsprocessen, én;
- De grootte van het primaire deeltje is kleiner dan 100 nm, en / of het specifieke oppervlak van een nanopoeder is groter dan 60 m^2/g;
- Het betreft enkelvoudige deeltjes, maar ook agglomeraten of aggregaten.

Indien het deeltje niet voldoet aan bovenstaande criteria dan is Stoffenmanager Nano niet geschikt voor beoordeling van de stof. In die gevallen zal de generieke Stoffenmanager 4.5 gebruikt kunnen worden. Stoffenmanager Nano is voorlopig nog in ontwikkeling doordat in binnen- en buitenland steeds meer kennis beschikbaar komt.

In figuur 13 is de door Stoffenmanager Nano gebruikte gevaarsclassificaties weergegeven.



Figuur 13 Gevaarsclassificatie voor de Stoffenmanager nano-tool, (afkomstig uit STM nano bevindingendocument.

Het programma Stoffenmanager Nano is te raadplegen en te gebruiken via de Stoffenmanager Nano website.

3.2.1.5 EPFL-model

Het EPFL-model is ontwikkelt aan de Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne te Zwitzerland. Het EPFL model onderscheid zich van andere instrumenten doordat er geen gebruik wordt gemaakt van risicoklassen. Aangezien er nog onvoldoende data over blootstelling en de vermeende gezondheidseffecten van die blootstelling beschikbaar is, stellen de auteurs dat er geen gebruik gemaakt kan worden van risicoklassen. Er wordt daarom alleen gebruik gemaakt van gevaarsklassen (1, 2 en 3). Hoe hoger de klasse, hoe groter het gevaar. In het model wordt alleen gebruik gemaakt van gevaarsklassen en beheersmaatregelen (technisch, organisatorisch en persoonlijk). De combinatie van beheersmaatregel en gevaar bepaald in welk type onderzoekslab de werkzaamheden uitgevoerd moeten worden. In feite worden er dus eissen gesteld aan de werkplek waar de werkzaamheden uitgevoerd mogen worden (in analogie aan het werken met biologische agentia en ML-klasse indeling van de labs).

Het beslisschema dat in het EPFL-model gebruikt wordt is opgenomen in figuur 14.

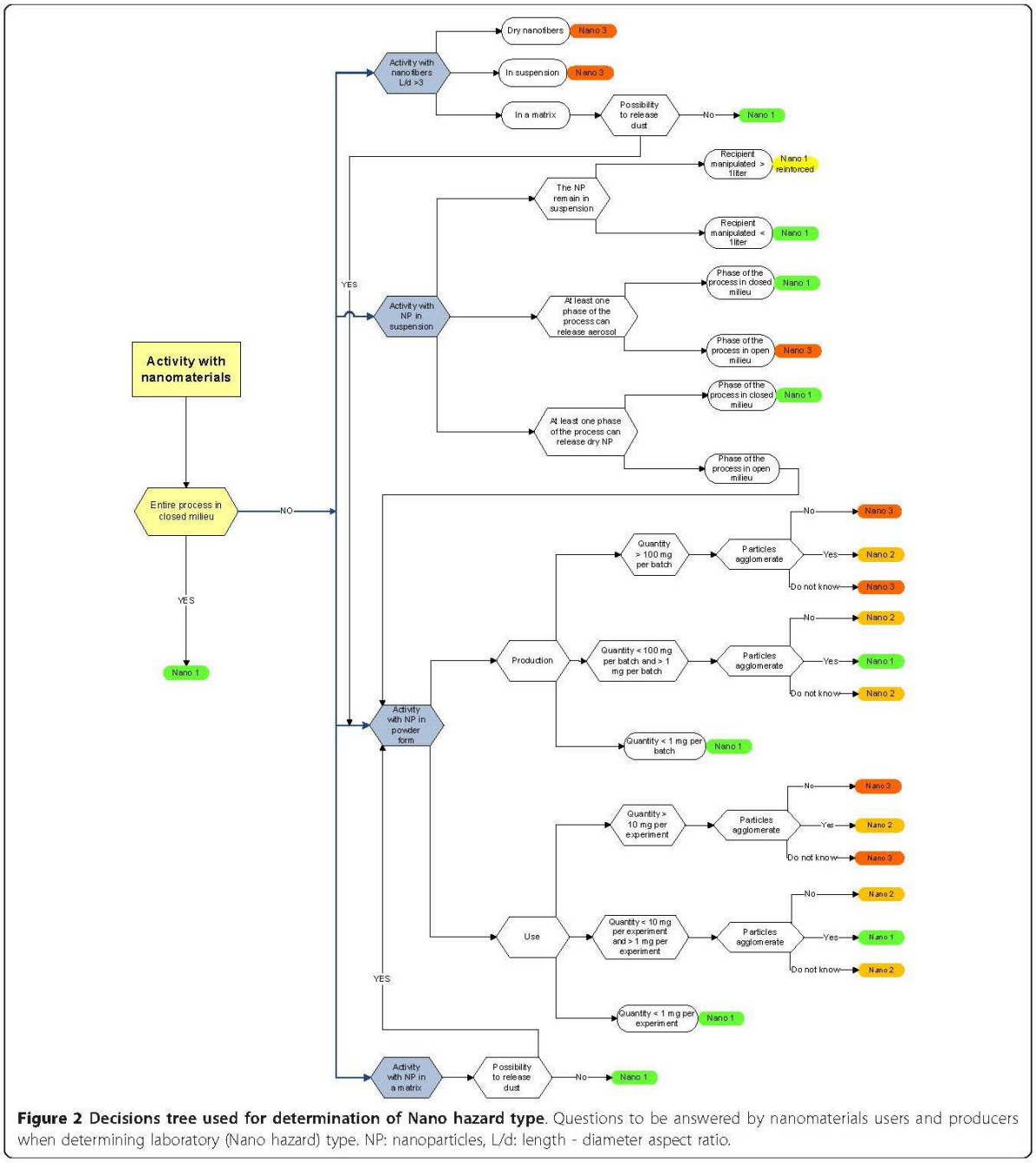


Figure 2 Decisions tree used for determination of Nano hazard type. Questions to be answered by nanomaterials users and producers when determining laboratory (Nano hazard) type. NP: nanoparticles, L/d: length - diameter aspect ratio.

Figuur 14 Beslisboom voor determinering van de nano gevaarsklasse

3.2.1.5 CENARIOS®

CENARIOS is te beschouwen als een 'arbozorgsysteem' methodiek, specifiek gericht op het werken met synthetische nanomaterialen. Risicoinschatting maakt integraal onderdeel uit van het zorgsysteem. De implementatie van de methode kan indien gewenst getoets en gecertificeerd worden door TüV. CENARIOS bevat de volgende onderdelen:

- A General Requirements, Scope, Procedure, Documentation
- B Staff-Related Requirements
- C Organizational Requirements
- D Risk Assessment and Monitoring Requirements
- E Requirements Related to Risk Treatment and Risk Communication

3.3 Blootstelling meten

Het meten en beoordelen van de blootstelling aan nanomaterialen op de werkplek staat nog in de kinderschoenen en er zijn momenteel nog geen Nederlandse standaardaarden beschikbaar om de blootstelling aan nanomaterialen te meten (bijvoorbeeld via een norm als NEN-EN 689) of om voor blootstelling relevante omgevingsfactoren vast te leggen. In 2010 is een leidraad voor het beoordelen van blootstelling aan nanomaterialen op de werkplek gepubliceerd door het BSI (65) en in 2011 door het NEN (66). Over de ervaringen die met het gebruik van deze normen zijn opgedaan is nog weinig bekend.

Blootstelling aan deeltjes in macro vorm wordt meestal uitgedrukt als concentratie in milligram per kubieke meter lucht (mg/m^3). Er zijn aanwijzingen dat massa niet (altijd) de juiste blootstellingsmaat is om het risico van blootstelling aan nanomaterialen in uit te drukken. Momenteel is er nog geen eenduidige fysisch/chemische parameter om de risico's van de blootstelling aan nanomaterialen in uit te drukken. Er zijn echter wel al diverse parameters bekend die beschouwd worden als minimum informatie die naast massa vastgelegd moet worden om de toxiciteit van nanomaterialen te onderzoeken (o.a. 67, 68). Typische factoren die de eigenschappen van nanomaterialen (en daarmee de potentiële schadelijkheid) bepalen zijn:

- Deeltjesgrootte en deeltjesgrootteverdeling;
- Specifiek oppervlak;
- Kristallijne structuur;
- Vezelvormige of rigide structuur
- Oppervlakte reactiviteit;
- Samenstelling van het oppervlak;
- Mogelijke verontreinigingen;
- Samengesteld deeltje;[3] Aggregatie/agglomeratie in het relevante medium.

Werkplek gebonden blootstelling aan deeltjes in het nanobereik zal in de praktijk een combinatie zijn van blootstelling aan (I) van nature voorkomende nanomaterialen (natuurlijke achtergrond blootstelling), (II) door de mens geïnduceerde nanomaterialen (verstorende factoren) en (III) synthetische door de mens gefabriceerde nanomaterialen (blootstelling die je wilt meten). De uitdaging is om in de totale blootstelling aan deeltjes in het nanobereik op de werkplek de blootstelling aan nanomaterialen apart te identificeren en te kwantificeren. Naast het generiek schatten van het mogelijk risico van werken met nanomaterialen is het ook mogelijk om de blootstelling aan nanomaterialen op de werkplek in kaart te brengen met behulp van meetapparatuur.

De parameters die van belang zijn voor karakterisering van blootstelling aan nanomaterialen zijn:

- Aantal deeltjes;
- Deeltjegrootteverdeling;
- Deeltjesoppervlak;
- Chemische samenstelling;
- Morfologie (vorm)
- Massa.

Wanneer metingen worden uitgevoerd, wordt vaak een combinatie van meetinstrumenten ingezet. Vaak gebruikt men een deeltjesteller (vaak een Condensation Particle Counter - CPC), gecombineerd met een instrument dat de deeltjesgrootteverdeling kan weergeven (vaak een SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer). Daarnaast worden soms monsters verzameld op filtermedia, die in het laboratorium geanalyseerd worden met één van de beschikbare electronenmicroscopische methoden (b.v. SEM/EDX). De huidige beschikbare instrumenten zijn onhandig groot zodat persoonlijke monstername in de ademzone moeilijk uitvoerbaar is. Colbeck (69) en het IRSST (70) geven een overzicht van de methoden die beschikbaar zijn voor het bemonsteren van nanomaterialen. Het overzicht uit het IRSST rapport is overgenomen in tabel 3.

[3] bijvoorbeeld een gecoat deeltje of een deeltje waarbij de kern van een ander materiaal gemaakt is dan de buitenzijde.

Tabel 3 Voorbeelden van instrumenten en technieken voor het karakteriseren van blootstelling aan nanomaterialen.

Parameter	Instruments	Remarks
Mass and granulometric distribution	Cascade impactors	Berner or micro-orifice cascade impactors allow gravimetric analysis of stages finer than 100 nm during individual assessment.
	TEOM	The Tapered Oscillating Element Microbalance (TEOM) preceded by a granulometric selector determines the mass concentration of nanoaerosols.
	ELPI (Electrical Low Pressure Impactor)	The Electrical Low Pressure Impactor (ELPI) allows real-time detection according to size of the active surface concentration and gives a granulometric distribution of the aerosol. If the charge and density of the particles are known or assumed, the data then can be interpreted in terms of mass concentration. The samples at each stage then can be analyzed in the laboratory.
	SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer)	Real-time detection according to size of the particle number concentration gives a granulometric distribution of the aerosol. Knowledge of the shape and density of the particles then allows estimating of the mass concentration.
Number and granulometric distribution	CNC	Condensation nucleus counters (CNC) allow particle number concentration measurements in real time within the particle diameter detection limits. Without a granulometric selector, the CNC is not specific to the nanometric field. P-Trak offers screening with an upper limit of 1000 nm. TSI model 3007 is another example.
	SMPS	The Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) allows real-time detection according to the electrical mobility diameter (related to size) of the particle number concentration.
	Electron microscopy	Offline electron microscopic analysis can provide information on granulometric distribution and on the aerosol's particle number concentration.
	ELPI	Real-time detection according to size and active surface concentration gives a granulometric distribution of the aerosol. If the charge and density of the particles are known or assumed, the data then can be interpreted in terms of particle number concentration. The samples at each stage then can be analyzed in the laboratory.
Specific surface area and granulometric distribution	Diffusion chargers	Commercially available diffusion chargers allow real-time measurement of the active surface of the aerosol and have a response in relation to the active surface of particles smaller than 100 nm. These instruments are NP-size specific if they are used with an appropriate pre-separator.
	ELPI	The ELPI allows real-time detection of the aerodynamic diameter according to size and active surface concentration. The samples at each stage can then be analyzed in the laboratory.
	Electron microscopy	Electron microscopic analysis can provide information on the surface of particles in relation to their size. Transmission electron microscopy provides direct information on the projected surface of the particles analyzed, which can be linked to the geometric surface for certain forms of particles.
	SMPS	The SMPS allows real-time detection according to the electrical mobility diameter (related to size) of the particle number concentration. Under certain conditions, the data can be interpreted in terms of specific surface area.
	Parallel use of SMPS and ELPI	The differences in the aerodynamic diameter and electrical mobility measurements can be used to deduce the fractal size of the particles, thus allowing a particle surface estimate.

Een onderzoek naar de prestaties en vergelijkbaarheid van vier type veel gebruikte meetinstrumenten door middel van windtunnelproeven is uitgevoerd door Asbach et al (71). De uitkomsten van de studie laten zien dat de typen meetapparatuur in de regel vergelijkbare resultaten geven, maar dat ze verschillende uitkomsten kunnen opleveren bij bepaalde typen grootteverdelingen en typen blootstelling. In het algemeen kan gesteld worden dat het vergelijken van gemeten blootstelling met verschillende typen meetapparatuur in de praktijk moeilijk is.

Het ontbreken van een uniforme goede meetstrategie, bewezen kwaliteit en reproduceerbaarheid van de verschillende meetinstrumenten en een gestandaardiseerd model voor het vastleggen van werkplekgebonden factoren maakt het vooralsnog lastig om een harde uitspraak te doen over de precieze blootstelling aan nanomaterialen op de werkplek en het vergelijken van blootstellingsscenario's. Tevens moet rekening gehouden worden met het feit dat één meting onvoldoende is om een harde uitspraak te doen over de blootstelling aan nanomaterialen, aangezien de concentratie in de lucht van dag tot dag erg kan verschillen als gevolg van de luchtvochtigheid, het weer buiten en de achtergrondconcentratie (externe bronnen) op de werkplek.

Naast het gebruik van de (grotere) instrumenten die reeds langere tijd op de markt zijn, zijn de laatste jaren enkele meer handzame meetinstrumenten op de markt gekomen die het makkelijker maken om te meten aan de persoon. Vaak kunnen deze instrumenten het aantal deeltjes per volume eenheid (cm^3) en de gemiddelde deeltjesgrootte (nm) meten(of schatten). Op basis van deze twee bemeten

parameters kan eventueel (d.m.v. aannames) de blootstelling aan het totale deeltjesoppervlak berekend worden (72, 73). Drie van deze kleine(nere) meters zijn de Philips Aerasense NanoTracer, de Grimm NanoCheck en de miniDiSC (commercieel verkrijgbaar via Matter.

Zoals reeds eerder aangegeven zal blootstelling aan nanomaterialen in de meeste gevallen plaatsvinden in de vorm van blootstelling aan aggregaten/agglomeraten en niet aan individuele deeltjes (39, 40, 42). Het meten van de blootstelling door middel van deeltjesmeters zal dan een onderschatting geven van de werkelijke blootstelling. Agglomeraten/aggregaten kunnen na penetratie in de longen weer in afzonderlijke deeltjes uiteenvallen. De depositie van deeltjes in de longen verschilt van persoon tot persoon en is mede afhankelijk van geslacht, inspanning tijdens het werk, leeftijd en aanwezigheid van eventuele longaandoeningen.

Brouwer et al. hebben naar aanleiding van de uitkomsten van een internationale workshop, gericht op meten en beoordelen van blootstelling aan nanomaterialen, een voorstel gedaan voor harmonisatie van een meetstrategie voor de blootstellingsbeoordeling van nanomatrialen (74).In de betreffende publicatie geven de auteurs aanbevelingen voor:

1. Het uitvoeren en analyseren van de meetresultaten;
2. Het verzamelen, analyseren en rapporteren van resultaten ven Elektronen Microscopie samples;
3. Werkplekspecifieke variabelen die vastgelegd moeten worden.

Harmonisatie van meetstrategien en meetmethoden, evenals de statistische analyse zal helpen om de veelheid aan meetdata die de komende jaren beschikbaar komt beter op waarde te kunnen schatten en zal hopenlijk bijdragen aan meer inzicht in de blootstelling. Betere en betrouwbare meetdata zal ook helpen om verschillen in blootstelling tussen sectoren beter met elkaar te kunnen vergelijken en kan ertoe bijdragen dat nanoreferentiewaarden, DNEL's en grenswaarden beter ingezet kunnen worden als controlemechanisme naar een veilige werkplek.

3.3.1 Tijdelijke nanoreferentiewaarden

Naast het monitoren en evalueren van gezondheidseffecten, kan ook het effect van de geïmplementeerde beheersmaatregelen beoordeeld worden. Dit kan mede door het meten van de mate van blootstelling vóór en na implementatie van de genomen beheersmaatregelen. Of de blootstelling voldoende laag is kan gecontroleerd worden aan de hand van grenswaarden (publiek of privaat) of DNEL's[4].

Het ontbreken van aparte grenswaarden voor het werken met nanomaterialen op de werkplek en de wettelijke verplichting voor werkgevers om een op gezondheidskundige grondslag onderbouwde private grenswaarde op te stellen maakt dat er op dit moment onduidelijkheid bestaat over de beoordeling van nano specifieke private grenswaarden voor blootstelling aan nanomaterialen op de werkplek. Enerzijds moeten bedrijven een private grenswaarde opstellen en anderzijds is er nog weinig zekerheid over de daadwerkelijke risico’s van de blootstelling aan nanomaterialen voor de mens. Een andere bijkomstigheid is het ontbreken van standaarden (o.a. meetmethoden en meetstrategie) om de blootstelling aan nanomaterialen op de werkplekbetrouwbaar in kaart te brengen.

Onder normale omstandigheden geven de grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling het maximale blootstellingsniveau aan waarbij werkzaamheden veilig worden geacht (grenswaarde of DNEL). Deze grenswaarden bestaan echter (nog) niet voor nanomaterialen.

Nanoreferentiewaarden kunnen, zolang er nog geen grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling zijn vastgesteld, hierin een oplossing bieden. Het is een generieke benadering voor een grenswaarde voor de verschillende typen nanomaterialen. Omdat onvoldoende toxiciteits- en blootstellingsgegevens beschikbaar zijn, zijn ze bepaald op basis van voorzorg en hebben ze een tijdelijk karakter. De onbekendheid van de specifieke giftigheid van nanomaterialen, en tegelijkertijd de verwachting dat deze niet verwaarloosd kan worden brengt grote onzekerheid in de risicobeoordeling. Dit leidt tot het toepassen van een benadering gebaseerd op voorzorg. Als meer gegevens beschikbaar komen kunnen ze vervangen worden door een normale grenswaarde of DNEL-waarde.

[4] DNEL = Derived No-Effect Level

Wie meer wil lezen over nanospecifieke referentiewaarden, benchmark exposure levels en voorstellen voor nanospecifieke DNEL's en grenswaarden wordt verwezen naar een artikel van van Broekhuizen et al. (75).

In Nederland zijn de nanoreferentiewaarden vastgesteld door het RIVM (76) Hierbij moet benadrukt worden dat het gaat om *tijdelijke* nanoreferentiewaarden. Het RIVM heeft zich hierbij gebaseerd op vergelijkbare initiatieven in Groot Brittannië en Duitsland, de “benchmark exposure levels” (vergelijkende blootstellingswaarden), voorgesteld door het British Standards Institue (38), en de methode zoals voorgesteld door het IFA (77). Het RIVM stelt, na raadpleging van deskundigen, voor om het IFA-model in Nederland te gebruiken.

Tijdelijke nanoreferentiewaarden worden als volgt gedefinieerd:

Een tijdelijke nanoreferentiewaarde (NRV) is een waarschuwingsniveau dat moet aanzetten tot de uitvoering van een zorgvuldige blootstellingsbeheersing van nanomaterialen op de werkplek. De NRV is vastgesteld als een 8-uur tijd-gewogen-gemiddelde concentratie gecorrigeerd voor de achtergrondconcentratie aan ultrafijne deeltjes.

Als het referentiewaarde niveau wordt overschreden:
- dan moet de blootstelling worden geminimaliseerd;
- de bron(nen) van de nanomaterialen moet(en) nauwkeurig worden vastgesteld;
- (indien mogelijk) moeten de deeltjes worden gekarakteriseerd;
- het risico moet worden beoordeeld en
- moet worden vastgesteld op welke wijze de emissie van nanomaterialen kan worden gereduceerd en de blootstelling kan worden beheerst.

In tabel 4 zijn de NRV weergegeven en is voor enkele gangbare nanomaterialen aangegeven in welke categorie ze vallen.

Tabel 4 Tijdelijke Nanoreferentiewaarden voor blootstelling aan nanomaterialen op de werkplek

	Omschrijving categorie	Dichtheid	Nanoreferentie waarden ($NRV_{8u\text{-}TGG}$)	Type
1	koolstof nanobuisjes (CNT)(lengte diameterverhouding > 3:1 en lengte > 5µm) waarvoor geen testen omtrent asbestachtige effecten zijn uitgevoerd		0,01 vezels /cm^3 10.000 vezels/m^3	CNT waarvoor asbestachtige klachten niet zijn uitgesloten. (dus zonder expliciete verklaring van de fabrikant).
2	biopersistente granulaire nanomaterialen met een primaire deeltjesgrootte in de 1 tot 100 nm range	> 6.000 kg/m³	20.000 deeltjes/cm^3	Ag, Au, CeO_2, CoO, Fe, Fe_xO_y, La, Pb, Sb_2O_5, SnO_2,
3	biopersistente granulaire nanomaterialen met een primaire deeltjesgrootte in de 1 tot 100 nm range	< 6.000 kg/m³	40.000 deeltjes/cm^3	Al_2O_3, SiO_2, TiN, TiO_2, ZnO, nanoklei Carbon Black, C_{60}, dendrimeren, polystyreen CNT zonder aantoonbare asbestachtige effecten
4	ultrafijne vloeistof en oplosbare deeltjes		betreffende grenswaarde voor moedermateriaal	o.a. vetten, koolwaterstoffen, siloxanes, NaCl

Onoplosbare nanovezels met een hoog aspect ratio (> 3:1) en een lengte groter dan 5000 nm, vormen een aparte aandachtscategorie (categorie 1 in tabel 3). Er zijn aanwijzingen dat lange rechte meerwandige koolstofbuisjes die dezelfde eigenschappen hebben als het schadelijke asbest (stijf, niet afbreekbaar, aspect ratio groter dan 3:1 en lengte groter dan 5000 nm) een vergelijkbare afwijking in het lichaam kunnen veroorzaken als asbest (een specifieke ontsteking die als het beginstadium van mesothelioma (asbestkanker) wordt beschouwd) (78). Nanovezels in deze categorie worden daarom uit voorzorg op dezelfde manier behandeld als de meest schadelijke vorm van asbest, waarbij een

tijdelijke nano-referentiewaarde van 0,01 vezels/ml (gemeten met scanning of transmission electron microscopy) gehanteerd wordt. Alleen nanovezels met de genoemde afmetingen die niet flexibel en niet afbreekbaar zijn zouden in deze categorie moeten worden ingedeeld. Met deze aanpak lijken de gezondheidskundige risico's van nanomaterialen in deze categorie naar verwachting voldoende afgedekt. De asbestnormen staan momenteel echter ter discussie en moeten mogelijk naar beneden worden bijgesteld (79). Indien dit het geval is, zal ook de tijdelijke nano-referentiewaarde voor de categorie vezels naar beneden moeten worden bijgesteld. Vezels die niet aan de bovenstaande criteria voldoen, moeten op basis van hun eigenschappen worden ingedeeld in één van de andere drie categorieën.

Nano-referentiewaarden geen zijn gezondheidskundig onderbouwde waarden. Dit betekent dat ongewenste gezondheidseffecten bij werknemers niet per definitie kunnen worden uitgesloten als de blootstelling onder de nanoreferentiewaarde blijft. Tevens moet duidelijk zijn welke juridische status er aan nano-referentiewaarden wordt toegekend en hoe ze in de praktijk gebruikt mogen worden. Dit geeft echter geen garantie voor een juiste interpretatie en een juist gebruik van nano-referentiewaarden. Bij de introductie van het grenswaardenbeleid in Nederland in de jaren zeventig van de vorige eeuw, werden vooral Amerikaanse TLV-waarden overgenomen, waarvan later bleek dat een groot deel niet op gezondheidskundige overwegingen was vastgesteld. In Nederland is later een strikte scheiding aangebracht, waarbij de gezondheidkundige overwegingen losgekoppeld werden van technische en economische haalbaarheidsoverwegingen. De maximaal aanvaarde concentratie op de werkplek (MAC-waarden, zoals ze destijds in Nederland genoemd werden) zijn vervolgens aangepast aan deze inzichten en transparantie over de basis is gecreëerd. Het in 2007 vernieuwde grenswaardenstelsel in Nederland accepteert enkel nog grenswaarden die gebaseerd zijn op gezondheidkundige overwegingen. Mochten deze niet haalbaar zijn, dan moet het bedrijf in een stappenplan aangegeven op welke wijze het maatregelen neemt om in de (naaste) toekomst wel aan deze grenswaarde te kunnen voldoen.

Vanwege bovengenoemde kanttekeningen is het essentieel expliciet te benadrukken dat nanoreferentiewaarden een tijdelijk karakter hebben. Wanneer er voldoende gegevens voor het afleiden van een gezondheidskundige grenswaarde voor specifieke nanomaterialen beschikbaar zijn, verdient de afleiding van specifieke gezondheidkundige grenswaarden de voorkeur. Er moet worden voorkomen dat er met nano-referentiewaarden een schijnveiligheid wordt gecreëerd (76).

Zijn nanoreferentiewaarden dan helemaal niet gezondheidskundig onderbouwd?
Alhoewel de nanoreferentiewaarden niet gezondheidskundig onderbouwd zijn, zit er wel een gedachte achter de waarden die vastgesteld zijn. Zo is de waarde voor vezelverbindingen gekoppeld aan de grenswaarde voor asbestvezels. Wanneer de Nederlandse grenswaarde voor asbestvezels wordt bijgesteld, dient de nanoreferentiewaarde ook bijgesteld te worden.

De waarde voor de persistentie deeltjes is afgeleid van een berekening van het gemiddeld aantal deeltjes (van een aantal persistente verbindingen) met respectievelijk een diameter van 20nm, 50nm, 100nm, 200nm dat past in 0,1 mg. De grens van 0,1 mg/m^3 was een waarde die het NIOSH een tijd lang als concept-grenswaarde had voorgesteld voor nano titaandioxide, op dat moment (2005) één van de weinige nanospecifieke, onderbouwde grenswaarden.

3.4 Effectmeting

Voor meer informatie over mogelijke blootstellingseffecten, eventuele vroegdiagnostie, gezondheidsmonitoring ten aanzien van nanomaterialen wordt verwezen naar hoofdstuk 7 Medisch Onderzoek van dit dossier.

Snelkoppelingen binnen dit dossier:
Gezondheidseffecten en beroepsziekten
Diagnostiek en behandeling
Kwetsbare groepen
Preventief medisch onderzoek (PMO) en vroegdiagnostiek.

4. Wetgeving

4.1 Arbowet

Doordat nanotechnologie een vakgebied overschrijdende technologie is, kunnen bepaalde producten van deze technologie tussen de verschillende nationale- en Europese regelgeving in vallen. Het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) heeft vooralsnog geen plannen om aparte wetgeving voor nanotechnologie in Nederland op te stellen, aangezien de Arbeidsomstandighedenwet (Arbowet) voldoende mogelijkheden biedt voor regulering voor het werken met nanotechnologie. Volgens de Arbowet is de werkgever verantwoordelijk voor het in kaart brengen van de risico's die werknemers lopen tijdens de arbeid in kaart te brengen. Hij moet deze inclusief (voorgenomen) beheersmaatregelen opnemen in de risico-inventarisatie en –evaluatie (RI&E), ook in geval van nieuwe risico's waarvan nog weinig bekend is. De werkgever is in het huidige grenswaardenstelsel zelf verantwoordelijk voor het vaststellen van veilige grenswaarden voor op de werkplek gebruikte stoffen. Als hiervoor geen wettelijke grenswaarden vastgesteld zijn, dan dienen bedrijfsgrenswaarden opgesteld te worden op basis van gezondheidskundige gronden, exclusief de haalbaarheid. De werkgever is en blijft verantwoordelijk voor een veilige en gezonde werkomgeving, waarbij de stand der wetenschap en techniek in acht genomen moeten worden. Uitgangspunt is dat stoffen met onzekere of onbekende risico's, waartoe ook nanomaterialen behoren, behandeld moeten worden als (zeer) gevaarlijke stoffen. Dat houdt in dat het beleid en de uitvoeringsmaatregelen in die gevallen gericht moeten zijn op het voorkomen of minimaliseren van de blootstelling van werknemers. Ook de Europese stoffenwetgeving (REACH) is daarbij van belang. Momenteel vindt in Europees verband overleg plaats over hoe nanomaterialen in het kader van REACH moeten worden beoordeeld. Doordat dit overleg nog niet is afgerond en gezien de onbekende en onzekere risico's die aan het werken met nanomaterialen kleven, heeft de Sociaal Economische Raad (commissie arbeidsomstandigheden) de overheid geadviseerd om in beleid en uitvoeringsmaatregelen het voorzorgbeginsel toe te passen (4).

De basis voor het beleid ten aanzien van gevaarlijke stoffen zoals verwoord in de Arbowet, is artikel 3, waarin de algemene zorgplicht wordt verwoord.
Aansluitend daarop zijn van belang:

- Artikel 5: stelt de RI&E verplicht
- Artikel 6: het voorkomen van zware ongevallen waarbij gevaarlijke stoffen zijn betrokken;
- Artikel 10: het voorkomen van risico‟s voor derden;
- Artikel 8: voorlichting en onderricht;
- Artikel 16: nadere inventarisatieverplichtingen voor gevaarlijke stoffen en biologische agentia

Meer informatie over de wetgeving omtrent gevaarlijke stoffen is te vinden in het Arbokennisdossier Algemeen Stoffenbeleid .

Wanneer nanomaterialen CMR[5]-eigenschappen vertonen, of wanneer ze gefabriceerd zijn uit een moedermateriaal dat als CMR-geclassificeerd is (bijvoorbeeld diverse typen Quantum Dots), dan moet de vigerende wet- en regelgeving voor het werken met CMR-stoffen gevolgd worden.

Meer informatie over wetgeving over het werken met CMR-stoffen is te vinden in het Arbokennisdossier CMR-stoffen.

4.2 Arbobesluit

Er zijn geen aparte regelingen omtrent werken met nanomaterialen en nanoproducten opgenomen in het Arbobesluit. Hoofdstuk 4 van het Arbobesluit is in zijn geheel gewijd aan het werken met gevaarlijke stoffen. Voor meer informatie over het werken met gevaarlijke stoffen en de bepalingen uit het Arbobesluit, wordt verwezen naar het Algemeen Stoffenbeleid.

4.3 Arboregelingen

Er zijn aparte regelingen omtrent werken met nanomaterialen en nanoproducten opgenomen in de Arboregelingen.

[5] Carcinogeen, Mutageen, Reproductietoxisch

4.4 Overige nationale wetgeving

Er is momenteel nog geen (overige) specifieke wet- en regelgeving voor de omgang met nanomaterialen en nanoproducten. De Nederlandse overheid heeft echter wel een onderzoek laten uitvoeren in hoeverre de huidige wet- en regelgeving de omgang met nanomaterialen en –producten dekt.

Op verzoek van het Ministerie van Infrastructuur & Milieu heeft het STEM een onderzoek uitgevoerd naar de “Regulering van onzekere risico's van nanomaterialen; mogelijkheden en knelpunten in de regelgeving op het gebied van milieu, consumentenbescherming en arbeidsomstandigheden” (80). STEM staat voor Structurele Evaluatie Milieuwetgeving en heeft de taak het uitvoeren van een meerjarig onderzoeksprogramma met als doel het zowel ex ante als ex post evalueren van milieuwetgeving.

Het STEM rapport bevat de resultaten van een onderzoek naar het reguleren van nanomaterialen. Onderzocht is welke mogelijkheden en beperkingen zich hiertoe voordoen in de regelgeving op het gebied van milieu, consumentenbescherming en arbeidsomstandigheden, gezien de onzekere risico’s die verbonden zijn aan het omgaan met nanomaterialen. Centraal staat de vraag welke bevoegdheden overheden hebben om productie, verwerking, gebruik en afvalfase van (producten met) nanomaterialen met onzekere risico’s te reguleren en welke verplichtingen bedrijven in verband hiermee hebben, teneinde de veiligheid van mens en milieu te waarborgen.

Behalve de wetgeving zoals vastgelegd in de arbeidsomstandighedenwet, zijn er nog een aantal Nederlandse wetten van toepassing op het omgaan met gevaarlijke stoffen, onder andere met betrekking tot opslag, etikettering van (gebruiks)verpakking en vervoer. De meeste wetsteksten zijn te vinden op de volgende website door te zoeken op “Gevaarlijke Stoffen”.

4.4.1 Handhaving

De kabinetsvisie nanotechnologieën (81) richt zich op uitwisseling van informatie over de risico’s van nanotechnologie en inspectie. Eind 2010 is de Arbeidsinspectie gestart met gerichte inspecties bij bedrijven waar met synthetische nanomaterialen gewerkt wordt. Doel van de inspecties is te beoordelen of de (mogelijke) arbeidsrisico’s van het veilig werken met nanomaterialen voldoende in kaart gebracht zijn. Om bedrijven te informeren over het werken met nanomaterialen heeft de Arbeidsinspectie een flyer uitgebracht. De flyer vertelt wat bedrijven volgens de Arbeidsinspectie moeten doen om werknemers en werkgevers te beschermen tegen mogelijke risico’s. Ook wordt aangegeven waar de Arbeidsinspectie op zal letten bij inspecties gericht op blootstelling aan synthetische nanomaterialen. Bij de inspecties richt de Arbeidsinspectie zich op opname van nanorisico’s in de RI&E en het nemen van adequate beheersmaatregelen. Meer informatie is hier te vinden.

4.5 Europese wetgeving

4.5.1 Europese wetgeving

Ook op Europees niveau is nog geen aparte wet- en regelgeving voor het werken- en omgaan met nanomaterialen geformuleerd. Wetgeving die moet borgen dat het werken met nanomaterialen geen nadelige gevolgen heeft op veilig en gezond werken en op het milieu is in de bestaande wetgeving opgenomen in regelgeving die betrekking heeft op o.a. bescherming van werknemers, chemicaliën wetgeving, productveiligheid en milieuwetgeving. Ook binnen de Europese Commissie wordt gesteld dat het werken met nanomaterialen en –producten gedekt wordt door de huidige Europese wet- en regelgeving. Het kan wel zo zijn dat de bestaande wetgeving aangepast moet worden wanneer nieuwe gegevens beschikbaar komen over de risico’s en effecten van nanomaterialen (82).

4.5.2 REACH

Vanaf 1 juni 2008 is de Europese stoffenverordening EC nr. 1907/2006, beter bekend onder de naam REACH vrijwel geheel van kracht geworden. REACH staat voor Registratie, Evaluatie, Autorisatie en restrictie van Chemische stoffen. REACH heeft als doel er voor te zorgen dat voortaan alle bedrijven een veilig gebruik van chemische stoffen voor de hele keten moeten garanderen, van productie, de

import tot aan het gebruik van deze stoffen. De richtlijn vervangt ruim zestig bestaande richtlijnen en verordeningen binnen de EU.

Eén van de uitgangspunten van deze wet is dat voortaan alle bedrijven een veilig gebruik van chemische stoffen moet garanderen, zodat er geen risico's zijn voor mens en milieu bij de productie, import of het gebruik van stoffen. Daartoe moeten alle fabrikanten en importeurs van chemische stoffen, stoffen in preparaten en stoffen in voorwerpen de risico's van deze stoffen te evalueren voor elk gebruik van deze stoffen dat bij hen bekend is.

Nanomaterialen vallen onder de definitie van 'stoffen' in REACH, zelfs wanneer er geen expliciete verwijzing naar nanomaterialen is. De algemeen geldende verplichtingen onder REACH zijn ook van toepassing op nanomaterialen aangezien REACH stoffen beschouwd, ongeacht hun vorm, grootte of fysische toestand.

Om te onderzoeken in hoeverre aanpassingen binnen de REACH verordening en/of de bijbehorende richtsnoeren nodig is, is een drietal REACH Implementatie Plannen voor Nanomaterialen (RIP-oNs) uitgevoerd. Elk project kreeg een eigen subvraag mee (83).

Eind 2009 startte het eerste project (RIP-oN 1), gericht op stofidentificatie. Het projectteam onderzocht een viertal voorbeeldstoffen om zo de mogelijke problemen in de stofidentificatie voor nanomaterialen op te sporen. De onderzochte stoffen zijn: (nano)zilver, (nano)titaniumoxide, (nano)calciumcarbonaat en koolstofnanobuisjes (CNT). Er kon uiteindelijk geen eenduidig advies gegeven worden aangezien over de meeste punten geen overeenstemming kon worden bereikt tussen industrie enerzijds en lidstaten, NGO's en ECHA anderzijds. De discussies draaiden vooral om de vraag of grootte van de nanomaterialen een 'identifier' of een 'characterizer' is en hoe om te gaan met oppervlaktebehandeling. Het eindproduct van RIP-oN 1 is een document waarin de voors en tegens van beide visies zijn toegelicht. Dit document kan dienen als basis voor de lidstaten om tot een concrete (politieke/pragmatische) keuze te komen.

RIP-oNs 2 en 3 zijn begin 2010 van start gegaan. RIP-oN 2 richtte zich op het opstellen van specifieke leidraden voor de informatievereisten voor nanomaterialen. RIP-oN 3 was gefocust op blootstellingsbeoordeling en gevaars-/risicokarakterisering. Uit RIP-oN 2 komt naar voren dat het voor een goede karakterisering van nanomaterialen nodig is om additionele eigenschappen te meten. Het consortium geeft een uitgebreide opsomming van mogelijke methoden, onder meer voor het bepalen van deeltjesgrootte en –vorm, maar een duidelijk plan van aanpak ontbreekt. Voor de meeste gevaarseindpunten wordt vastgesteld dat de bestaande testen veelal toereikend zijn of dat slechts kleine aanpassingen nodig zijn.

Voor beoordeling van blootstelling en risico's kwam uit RIP-oN 3 naar voren dat massa mogelijk niet (altijd) de meest geschikte/relevante meeteenheid is om risico's (en dus ook blootstelling) in uit te drukken. Het is echter niet eenduidig aan te geven wat het beste alternatief voor de maat 'massa' is, omdat de meest geschikte/relevante meeteenheid afhankelijk is van het onderzochte effect en het nanomateriaal zelf.

De RIP-oN projecten laten zien dat risicobeheersing van nanomaterialen onder REACH mogelijk is. Wel zijn aanpassingen nodig, in het bijzonder in de leidraden, maar mogelijk ook in de wettekst zelf.

5 Beleid

5.1 Arbocatalogus

Zover bekend zijn er nog geen arbocatalogi gericht op het werken met nanomaterialen opgesteld. De VSNU (Nederlandse Universiteiten) heeft in de deelcatalogus gevaarlijke stoffen twee zogenaamde Goede Praktijken opgenomen voor het werken met nanomaterialen.

5.2 Cao-afspraken

Een collectieve arbeidsovereenkomst (cao) is een schriftelijke overeenkomst waarin afspraken over arbeidsvoorwaarden zijn vastgelegd. Bijvoorbeeld loon, toeslagen, betaling van overwerk, werktijden, proeftijd, opzegtermijn of pensioen. Ook zaken als scholing, kinderopvang en vervroegd pensioen kunnen in een cao worden geregeld. Een cao wordt afgesloten door één of meer werkgevers, dan wel één of meer werkgeversorganisaties met één of meer werknemersorganisaties (meestal vakbonden). Een ondernemings-cao is een collectieve afspraak die binnen één bedrijf geldt; deze wordt afgesloten door een werkgever met één of meer werknemersorganisaties.

Partijen die met elkaar een bedrijfstak-CAO zijn overeengekomen kunnen bij de directie Uitvoeringstaken Arbeidsvoorwaardenwetgeving (UAW) van het Ministerie SZW een verzoek indienen om bepalingen van hun CAO algemeen verbindend te verklaren voor de bedrijfstak (AVV-verklaring). Door algemeen verbindend verklaring gelden de CAO-bepalingen in beginsel voor alle werkgevers en werknemers in de betreffende bedrijfstak voor zover zij werkzaamheden verrichten die vallen binnen de werkingssfeer. Dus ook voor werkgevers en werknemers die niet (zelf, of via een vertegenwoordigende organisatie) bij de CAO-onderhandelingen betrokken waren.

In een CAO kan aandacht besteed worden aan het preventiebeleid, bijvoorbeeld welk RI&E-instrument gebruikt zal worden voor de Risico-Inventarisatie en –Evaluatie (RI&E) wie de RI&E gaat uitvoeren (preventiemedewerker, arbodienst enz.). Met name in branches waar een branchespecifiek RI&E instrument is ontwikkeld (en gevalideerd) zal het voorschrift tot gebruik van dat instrument als onderdeel van de CAO worden vastgelegd.

Voor zover bekend zijn er in CAO's geen specifieke afspraken geformuleerd omtrent de preventie van blootstelling aan nanomaterialen.

5.3 Brancheafspraken

Zover bekend zijn er nog geen specifieke branche gerichte afspraken gemaakt met betrekking tot het veilig werken met nanomaterialen en -producten. Wel zijn diverse brancheorganisaties bezig (geweest) met het uitvoeren van een eigen onderzoek naar het voorkomen en gebruik van nanomaterialen binnen hun eigen sector. Van twee brancheorganisaties is bekend dat zij onderzoek binnen hun eigen branche (laten) uitvoeren.

Bouwnijverheid
Voor de sector Bouwnijverheid heeft Stichting Arbouw een onderzoek laten uitvoeren naar het voorkomen en gebruik van nanomaterialen in de Nederlandse bouwnijverheid (26). In Europees verband hebben de werkgevers (FIEC) werknemers (EFBWW) verenigingen een onderzoek laten uitvoeren naar het gebruik van nanomaterialen in de bouw en de bekendheid van het gebruik van nanomaterialen bij werkgevers en werknemers (27).

Verf- en drukinktenfabrikanten
De Vereniging van Nederlandse Verf- en Drukinktfabrikanten (VVVF) heeft aan twee studies naar het voorkomen en gebruik van nanomaterialen in de verfsector deelgenomen. De VVVF gaf in 2009 al opdracht tot onderzoek naar gezondheidsrisico's van nanomaterialen in de productie en toepassing van verf en drukinkt (84). Nanomaterialen zitten onder meer in krasvaste, vuilbestendige en antibacteriële verf.

In nauwe samenwerking met het Ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft de bedrijfstak in 2011 met ketenpartners een project uitgevoerd om blootstellingrisico's te inventariseren. De VVVF heeft

deelgenomen aan het pilotproject 'Kennisdelen nano in de verfketen' van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (8).

5.4 Standaardisatie en normalisatie

In de huidige Arbowet- en regelgeving wordt (nog) niet verwezen naar het gebruik van normen voor het beoordelen van het blootstellingrisico van nanomaterialen op de werkplek. Juist bij het inschatten van de mate van onzekerheid over de gezondheidseffecten van nanomaterialen en het toepassen van nieuwe meetmethoden en –technieken kunnen normen ondersteuning bieden. De belangrijkste tot nu toe verschenen normen zijn hieronder weergegeven:

Standaarden uitgebracht door het ISO, CEN en NEN

- ISO/TR 27628:2007 - Workplace atmospheres – ultrafine nanoparticle and nano-structured aerosols. Inhalation exposure characterization and assessment";
- NPR-CEN-ISO/TS 27687:2008-08 en: Nanotechnologieën - Terminologie en definities voor nano-objecten - Nanodeeltje, nanovezel en nanoplaat;
- PD 6699-3: Nanotechnologies. Guide to assessing airborne exposure in occupational settings relevant to nanomaterials;
- BS EN ISO 10801:2010: Nanotechnologies. Generation of metal nanoparticles for inhalation toxicity testing using the evaporation/condensation method;
- BS EN ISO 10808:2010: Nanotechnologies. Characterization of nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing;
- DD ISO/TS 10867:2010: Nanotechnologies. Characterization of single-wall carbon nanotubes using near infrared photoluminescence spectroscopy;
- DD ISO/TS 11251:2010: Nanotechnologies. Characterization of volatile components in single-wall carbon nanotube samples using evolved gas analysis/gas chromatograph-mass spectrometry;
- PD ISO/TR 11360:2010: Nanotechnologies. Methodology for the classification and categorization of nanomaterials;
- PD ISO/TR 12802:2010: Nanotechnologies. Model taxonomic framework for use in developing vocabularies -- Core concepts;
- PD ISO/TR 12885:2008: Nanotechnologies. Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies;
- DD CEN ISO/TS 27687:2009: Nanotechnologies. Terminology and definitions for nano-objects. Nanoparticle, nanofibre and nanoplate;
- BS EN ISO 29701:2010: Nanotechnologies. Endotoxin test on nanomaterial samples for in vitro systems -- Limulus amebocyte lysate (LAL) test;
- DD ISO/TS 80004-1: Nanotechnologies. Vocabulary. Part 1 : Core terms;
- DD ISO/TS 80004-3:2010: Nanotechnologies. Vocabulary. Part 3: Carbon nano-objects;
- NEN-EN-ISO 28439:2011 en: Werkplekatmosfeer - Karakterisering van ultrafijne en nano-aerosolen - Bepaling van de deeltjesgrootteverdeling en deeltjesaantallenconcentratie met differentiële mobiliteits analysesystemen.

Standaarden uitgebracht door de BSI Group, UK:

- PAS 71 Vocabulary – Nanoparticles;
- PAS 130 Guidance on the labelling of manufactured nanoparticles and products containing manufactured nanoparticles;
- PAS 131 Terminology for medical, health and personal care applications of nanotechnologies;
- PAS 132 Terminology for the bio-nano interface;
- PAS 133 Terminology for nanoscale measurement and instrumentation;
- PAS 134 Terminology for carbon nanostructures;
- PAS 135 Terminology for nanofabrication;
- PAS 136 Terminology for nanomaterials;
- PD 6699-1:2007 Nanotechnologies. Good practice guide for specifying manufactured nanomaterials;
- PD 6699-2:2007 Nanotechnologies. Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials;

- PD 6699-3:2010 Nanotechnologies. Guide to assessing airborne exposure in occupational settings relevant to nanomaterials;

5.5 Certificering

Voor adviseurs die werkzaam zijn op het gebied van arbeidsomstandigheden, en meer specifiek dat van advisering met betrekking tot gevaarlijke stoffen, bestaan certificeringssystemen.

Certificering arboprofessionals
De certificeringssystemen van arbeidshygiënisten en veiligheidskundigen zijn sinds 2005 in hoge mate geharmoniseerd. Beide certificeringssystemen worden beheerd door Stichting Hobéon SKO Certificatie (zie de website van SKO). Deze zijn opgezet om te kunnen waarborgen dat de kwaliteit van de dienstverlening op dit gebied aan een aantal minimumeisen voldoet.

Certificering bedrijven
Veel bedrijven waar gewerkt wordt met stoffen die schadelijk kunnen zijn voor mens en/of milieu werken volgens gecertificeerde systematiek: ISO 9000 voor kwaliteitsbeheer, ISO 14000 voor milieubeheer. Bedrijven kunnen daarnaast hun arbozorg-systeem certificeren volgens de systematiek van OHSAS 18000.

Vanuit de petrochemische industrie is de VCA-certificering (als: Veiligheids Checklist voor Aannemers) opgezet voor onderaannemers die bijvoorbeeld reparatie- en revisiewerkzaamheden verrichten aan de industriële installaties. Deze systematiek is in veel andere bedrijfstakken en bedrijven overgenomen en tegenwoordig kunnen ook individuele werknemers een VCA-certificaat behalen.

6 Beheersmaatregelen

6.1 Arbeidshygiënische strategie

De arbeidshygiënische strategie is een algemeen principe dat niet specifiek van toepassing is op de preventie van blootstelling aan schadelijke stoffen. Deze strategie wordt door de Arbeidsomstandighedenwet voorgeschreven bij het nemen van beheersmaatregelen voor alle voorkomende gezondheidsbedreigende factoren (lawaai, trillingen, binnenklimaat etc.) in de werkomgeving. De arbeidshygiënische strategie houdt in dat een hiërarchie (of prioriteit) is aangebracht voor de soort beheersmaatregelen die kunnen worden ingezet.

De wettelijke basis voor de arbeidshygiënische strategie wordt geformuleerd in de Arbeidsomstandighedenwet, Hoofdstuk 2, artikel 3a en 3b:

3a. “tenzij dit redelijkerwijs niet kan worden gevergd organiseert de werkgever de arbeid zodanig dat daarvan geen nadelige invloed uitgaat op de veiligheid en de gezondheid van de werknemer;”

3b. “tenzij dit redelijkerwijs niet kan worden gevergd worden de gevaren en risico's voor de veiligheid of de gezondheid van de werknemer zoveel mogelijk in eerste aanleg bij de bron daarvan voorkomen of beperkt; naar de mate waarin dergelijke gevaren en risico's niet bij de bron kunnen worden voorkomen of beperkt, worden daartoe andere doeltreffende maatregelen getroffen waarbij maatregelen gericht op collectieve bescherming voorrang hebben boven maatregelen gericht op individuele bescherming; slechts indien redelijkerwijs niet kan worden gevergd dat maatregelen worden getroffen die zijn gericht op individuele bescherming, worden doeltreffende en passende persoonlijke beschermingsmiddelen aan de werknemer ter beschikking gesteld;”

Nadere uitleg wordt gegeven in het Arbeidsomstandighedenbesluit, Hoofdstuk 4, artikel 4:

Een nadere praktische uitwerking van de arbeidshygiënische strategie is te vinden in het Arbokennisdossier Algemeen Stoffenbeleid.

De diverse instrumenten waar naar verwezen is in paragraaf 3.1 van dit dossier bevattenvaak ook concrete maatregelen voor risicoreductie van blootstelling aan nanomaterialen. Een ander nuttig rapport, waarin diverse praktische beheersmaatregelen gebuindeld zijn volgens de arbeidshygienische strategie, is dit rapport van de OECD (85).

6.1.1 Bronmaatregelen

Bij het voorkómen of beperken van de blootstelling aan gevaarlijke stoffen is het nemen van maatregelen direct aan de bron in de eerste plaats voorgeschreven. De eerste stap die daarbij moet worden overwogen is:
1. Eliminatie van de stof of het product dat de stof bevat;

Wanneer volledige eliminatie niet mogelijk is, kunnen nog verschillende ander „bronmaatregelen‟ worden overwogen:
2. Werken in gesloten systeem;
3. Vervanging van de stof / het product;
4. Aanpassing van de stof / het product;
5. Aanpassing van het proces .

Meer informatie over te nemen bronmaatregelen voor gevaarlijke stoffen in het algemeen is te vinden in het Arbokennisdossier Algemeen Stoffenbeleid.

Specifieke bronmaatregelen (niet uitputtend) voor het beheersen van blootstelling aan nanomaterialen zijn:

- Ga na of het nanomateriaal vervangen kan worden door niet-nano materiaal of door een nanomateriaal in een lagere gevaarsklasse zie paragraaf 3.2.1 in dit dossier;
- Pas het concept van Safe Design van nanomaterialen toe, waarbij in het ontwerp al nagedacht wordt over eventuele veiligere ontwerptechnieken;
- Gebruik nanomaterialen als poeder of in de gasfase zoveel mogelijk in een gesloten systeem;
- Vervoer nanomateriaal in een gesloten verpakking;
- Werk niet met meer materiaal dan nodig is (beperken gebruikshoeveelheid en werkvoorraad);
- Probeer naar toepassingen te zoeken die kant-en-klaar aangeleverd worden, zodat niet zelf op de werkplek gemengd hoeft te worden;
- Gebruik de deeltjes waar mogelijk in een matrix (bijv. dispersie, suspensie, pasta, palletvorm of ingekapseld);
- Kies bewerkingsmethoden die weinig stof of aerosol produceren: knippen en snijden in plaats van zagen, en kwasten/ rollen in plaats van spuiten.

Meer informatie over beheersmaatregelen kan gevonden worden in o.a. fact sheets, zoals ontwikkeld door het Stoffenmanager Nano consortium:

- Gesloten Systeem;
- Glove Box;

6.1.2 Organisatorische maatregelen

Er zijn verschillende en uiteenlopende organisatorische maatregelen denkbaar om blootstelling aan gevaarlijke stoffen tegen te gaan. Hiermee kan beperking bereikt worden van het aantal blootgestelde werknemers en/of van de blootstellingsduur per werknemer. Voorbeelden van organisatorische maatregelen zijn:

- afscheiding van werkzaamheden
- werkplanning
- taakroulatie

De organisatie van het productieproces en de inrichting van bedrijfsruimten kunnen mede bepalend zijn voor de mogelijkheden in een bepaalde situatie. Een overzicht van nanomateriaal specifieke organisatorische maatregelen is onderstaand weergegeven:

- Stel een medewerker aan die zich binnen het bedrijf specialiseert in risico's van nanomaterialen en train deze persoon. Deze persoon kan vervolgens dienen als aanspreekpunt voor andere medewerkers binnen het bedrijf;
- Overleg met de producent/leverancier van nanomaterialen over de mogelijkheden voor het aanleveren van nanomaterialen in een verpakking die aansluit bij de uit te voeren werkzaamheden (bijv. een in water oplosbare verpakking);
- Laat door de leverancier een waarschuwing op de verpakking zetten in de trant van: alleen openen door de ontvanger / gebruiker van dit pakket in een gecontroleerde omgeving;
- Beperk het aantal handelingen dat met het product uitgevoerd moet worden (afwegen, overgieten, mengen etc.);
- Scherm de werkplekken af waar nanomaterialen worden verwerkt;
- Beperk de toegang van werkplekken waar nanomaterialen worden verwerkt;
- Gebruik zoveel mogelijk wegwerp hulpmiddelen en voer deze af als chemisch afval. Ook restanten dienen afgevoerd te worden als chemisch afval. Nog beter is om ze op te nemen in een matrix alvorens ze af te voeren (bijv. in een hars);
- Geef werknemers adequate voorlichting en instructie over het veilig werken met nanomaterialen. De voorlichting dient afgestemd te zijn op:
  - mogelijke risico's van het werken met nanomaterialen;
  - het herkennen van de gebruikte nanomaterialen;
  - het veilig gebruik, opslag en afvalverwijdering van de gebruikte materialen;
  - eventuele bedrijfsgrenswaarden voor nanomaterialen;
  - het juiste gebruik en onderhoud van de voorgeschreven persoonlijke beschermingsmiddelen;
  - het juiste gebruik en onderhoud van de voorgeschreven technische voorzieningen;
  - wat te doen in geval van morsen en andere incidenten;

- Zorg voor adequaat periodiek onderhoud van de werking van het afzuigsysteem.

Meer informatie over te nemen organisatorische beheersmaatregelen voor gevaarlijke stoffen in het algemeen is te vinden in het dossier Algemeen Stoffenbeleid op het Arbokennisnet.

6.1.3 Technische maatregelen

Technische maatregelen om blootstelling te voorkomen, zijn bijvoorbeeld ventilatie- en afzuigingsystemen, automatisering van werkzaamheden, omkastingen, en overige hulpmiddelen en gereedschappen waarmee de blootstelling aan gevaarlijke stoffen beperkt kan worden.

Nanomateriaal specifieke technische maatregelen zijn in onderstaande overzicht weergegeven:

- Nanomaterialen verspreiden zich als een gas. Probeer zoveel mogelijk te werken in een gesloten systeem;
- Werk indien mogelijk in een zuurkast, glove-box om verspreiding van nanomaterialen naar de omgeving te voorkomen;
- Gebruik bij handelingen met nanomateriaal een doelmatige bronafzuiging. Bronafzuiging is doelmatig als de afstand van de afzuigmond tot de bron van nanomaterialen niet groter is dan de diameter van de afzuigmond;
- Voorkom recirculatie van lucht die mogelijk verontreinigd is met nanomaterialen en draag er zorg voor dat de afgezogen lucht niet in een andere ruimte wordt ingebracht;
- Voorzie de ventilatiesystemen van HEPA-filters om de nanomaterialen af te vangen;
- Nanomaterialen zullen eenvoudig kunnen ontsnappen uit lekkages in ventilatiesystemen. Repareer lekkages en slechte afdichtingen direct;
- In geval van gebouwen in aanbouw: maak maximaal gebruik van natuurlijke ventilatie door ramen en deuren te openen, werkplekken niet teveel af te schermen etc.;
- In geval van werk in de buitenlucht: plaats activiteiten of apparaten (ook dieselgeneratoren) die nanomaterialen produceren benedenwinds. De wind zal de vervuiling afvoeren van de plaats waar de medewerker zich bevindt;
- Voorkom ongewilde verspreiding van deeltjes na gebruik en leg ze vast in een hars, vloeistof etc. Voer de deeltjes af als chemisch afval;
- Maak ruimtes waar met nanomateriaal gewerkt wordt regelmatig schoon. Doe dit uitsluitend door middel van natte reiniging (schrobmachine) of met een industriële stofzuiger die uitgerust is met een speciaal HEPA-filter.

Meer informatie over te nemen technische beheersmaatregelen voor gevaarlijke stoffen in het algemeen is te vinden in het dossier Algemeen Stoffenbeleid op het Arbokennisnet.

6.1.4 Persoonlijke beschermingsmiddelen

Onder de „individueel gerichte" beheersmaatregelen kunnen de volgende typen maatregelen ingedeeld worden:

1. Instructies en werkvoorschriften;
2. Aanpassing van de werkplekinrichting;
3. Ter beschikking stellen van persoonlijke beschermingsmiddelen.

Zie verder ook het dossier „Persoonlijke Beschermingsmiddelen" op het arbokennisnet.

Nanomateriaal specifieke maatregelen met betrekking tot persoonlijke beschermingsmiddelen zijn in onderstaand overzicht opgenomen:

- Geef medewerkers goede gebruikersinstructies over het veilig en juiste gebruik van de voorgeschreven persoonlijke beschermingsmiddelen;
- Gebruik wegwerphandschoenen. Bij voorkeur geen geweven katoenen handschoenen. Handschoenen die als geschikt beschouwd worden zijn o.a. nitril, latex en neopreen;
- Gebruik een veiligheidsbril bij verspreidende werkzaamheden;
- Gebruik voor werkkleding bij voorkeur geen geweven kleding, maar bijvoorbeeld Tyvek;

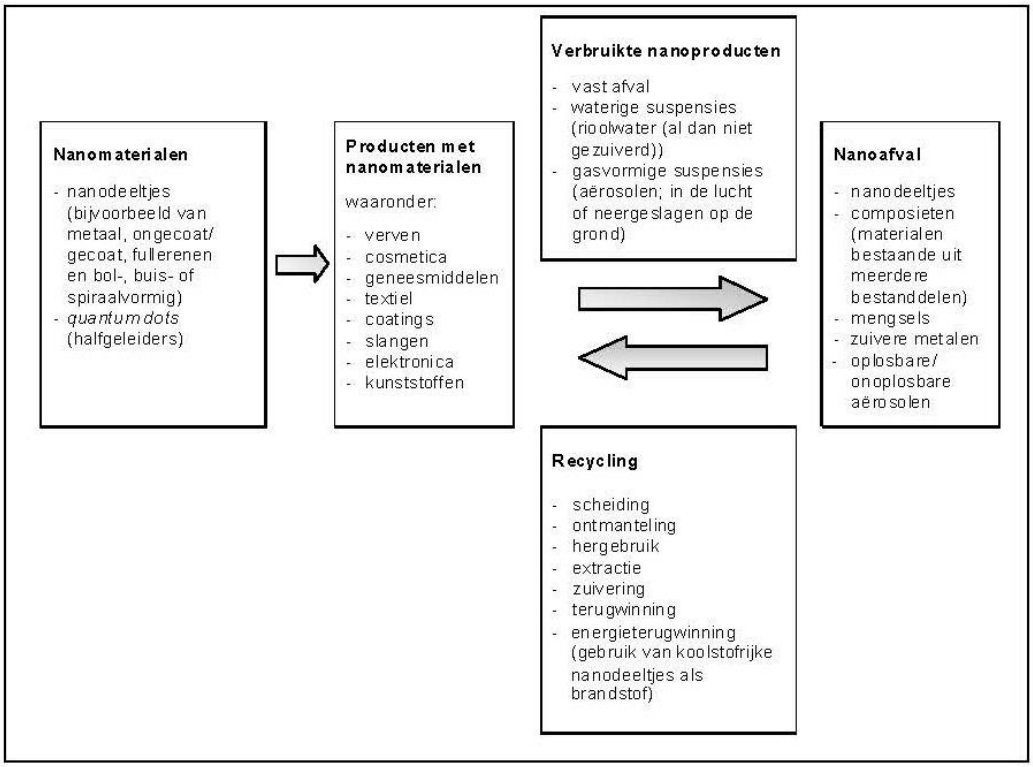
- Gebruik minimaal FFP3- ademhalingsbescherming (met een NPF van 50 of hoger).

Gerealiseerd moet worden dat nanomaterialen een andere verspreidingskarakteristiek hebben dan materialen in macro vorm. Wanneer zich onverhoopt een calamiteit voordoet, waarbij grote hoeveelheden nanomateriaal vrijkomt, dan zal afhankelijk van de risicoklasse van het nanomateriaal een saneringsregime opgesteld moeten worden. Normen voor acti- en vrijgavewaarden ontbreken en de achtergrondwaarden kunnen erg fluctueren. Aangeraden wordt om terughoudend te zijn om alleen PBM's in te zetten als beschermingsmiddel bij het saneren van een besmette ruimte. Aangeraden wordt om vooraf een plan van aanpak op te stellen alvorens te gaan saneren.

Meer informatie over te nemen persoonlijke beschermingsmaatregelen is te vinden in het dossier Algemeen Stoffenbeleid op Arbokennisnet.

6.1.5 Afvalfase

Ieder product, of het nanomaterialen bevat of niet, doorloopt de fases van onderzoek en ontwikkeling, productie en professionele toepassing, gebruik en afval. In figuur 14 is de levensloop van nanomaterialen schematisch weergegeven (86)



Figuur 14 Schema van levensloop van nanomaterialen

Meer informatie over hoe om te gaan met nanomateriaal in de afvalfase kan nagelezen worden in de reeds genoemde publicatie van de OECD of in het rapport 'Nanomaterialen in afval' van de Gezondheidsraad uit 2011.

6.2 Psychsociale aspecten van beheersmaatregelen

Er is momenteel nog te weinig bekend over de effectiviteit van nanomateriaal specifieke beheersmaatregelen om medewerkers gerust te stellen. Welke mate van beheersing nodig is om de mogelijke risico's afdoende te beheersen weten we nog niet. Daardoor kunnen er in de betekenisgeving verschillende dingen gebeuren. Maatregelen die genomen worden kunnen als overbodig gezien worden of aan de andere kant kan men erg ongerust worden door het inzetten van beheersmaatregelen op het moment dat het gevaar niet zichtbaar is. Bij onzichtbare gevaren wordt het aangenomen gevaar betekenis gegeven. Het probleem is daarbij dat deze betekenisgeving

afhankelijk is van veel verschillende factoren. Naast opvoeding en onderwijs spelen ook erfelijke factoren een rol. De ene mens is nu eenmaal angstiger aangelegd dan de ander.

Goede voorlichting en vooral ook eerlijke voorlichting geven de medewerker ondersteuning in het omgaan met deze betekenisgeving. Het kan helpen medewerkers wat meer achtergrond kennis van het gebruikte nanomateriaal te geven en duidelijk aan te geven waarom en hoe het gevaarlijk zou kunnen zijn en waarom men verwacht dat het niet gevaarlijk zal zijn wanneer de voldoende beheersmaatregelen genomen worden.

Een duidelijke beschrijving van verantwoordelijkheden, nu en in de toekomst is zeer wenselijk. Het aangeven van mogelijke risico's in scenario kan hier helpen. Risk Governance (87) geeft mogelijkheden om verantwoordelijkheden te beschrijven. Ook de zogenaamde '*Gaps in Regulation'* (gaten in regelgeving) moeten goed omschreven worden. Waar geen regelgeving is moet duidelijk aangegeven worden. Het is niet doenlijk om voor alle mogelijke gevallen regelgeving op voorhand te maken. Het is beter om duidelijk aan te geven dat er geen regelgeving in het scenario is, met daarbij wie er welke verantwoordlijkheid draagt.

Onzekerheden zijn onvermijdelijk bij het werken met nano deeltjes. Hert is vaak niet doenlijk de onzekerheden weg te nemen omdat er nog veel onbekend terrein is. Door duidelijk aan te geven wat we wel maar vooral ook niet weten, ofwel waar de onzekerheden zijn en hoe groot die zijn, kunnen medewerkers leren om te gaan met onzekerheden. Dit kan gebeuren door de volgende 3 stappen:

1. Erkennen van onzekerheden. Het eerlijk durven aangeven dat er onzekerheden zijn en welke dat zijn;
2. Het herkennen van onzekerheden. Bij medewerkers navragen welke onzekerheden ervaren wordt;
3. Het tollereren van onzekerheden. Het leren omgaan met onzekerheden.

6.3 Implementatie van beheersmaatregelen

Voorlichting
Het meest van belang is goede, eenduidige en reële voorlichting. Het achterwege laten van voorlichting geeft het risico dat mensen toch achter het mogelijk gevaar van de stoffen waarmee ze werken komen en dan is het probleem vele malen groter. De werkgever is dan ook nog eens het vertrouwen kwijt. Het geven van voorlichting geeft de kans op attributiefouten en verkeerde betekenisgeving. Als de voorlichting te moeilijk in taal en inhoud is, kunnen medewerkers het idee krijgen dat het allemaal veel erger is dan het werkelijk is. Als de voorlichting bagatelliserend gebracht wordt loop je de kans dat medewerkers het vertrouwen kwijt raken in de werkgever. Als de voorlichting te veel open eindjes heeft dan loop je het risico dat iedereen die niest verkouden is van nanomaterialen.

Algemeen
Er zijn verder geen psychosociale aspecten die specifiek genoemd moeten worden met betrekking tot beheersmaatregelen rondom blootstelling aan nanomaterialen. Zie voor een algemene beschrijving van psychosociale aspecten van beheersmaatregelen het dossier Algemeen Stoffenbeleid en het dossier Kankerverwekkende, mutagene en teratogene stoffen. In het dossier Algemeen Stoffenbeleid wordt onder andere stilgestaan bij de volgende aspecten:

- Commitment;
- Communicatie;
- Kennis en ervaring;
- Rol van leidinggevenden;
- Individuele verschillen.

7. Medisch Onderzoek

Er bestaan zorgen over mogelijk schadelijke gezondheidseffecten van synthetische nanomaterialen. In verschillende dierstudies is dit aangetoond, maar onduidelijk is of dit ook bij mensen het geval is. De rol van medisch onderzoek en advisering is dan ook beperkt tot alert zijn op mogelijke schadelijke gezondheidseffecten, het verzorgen van voorlichting hierover en counseling van nanowerkers die mogelijk verhoogd kwetsbaar zijn.
In dit hoofdstuk worden de mogelijke gezondheidseffecten besproken, de signalering van mogelijke werk-gerelateerde gezondheidsproblemen en de kwetsbare groepen.

7.1 Gezondheidseffecten en beroepsziekten

7.1.1 Gezondheidseffecten

Ook blootstelling aan nanomaterialen kan negatieve gezondheidseffecten hebben, zo blijkt uit diverse dierstudies.De zorgen worden versterkt door de kennis die is opgedaan met nanomaterialen en vezels die in de natuur of onbedoeld zijn ontstaan (roetdeeltjes, vliegas en carbon black door verbranding van brandstoffen, lasrookdeeltjes, asbest en minerale kunstvezels). Hierbij is aangetoond dat deze bij de mens schadelijk kunnen zijn voor de luchtwegen en het hart-vaatstelsel. In de longen kunnen ontstekingsreacties ontstaan waarbij ontstekingsmarkers (stoffen die betrokken zijn bij ontstekingsreacties) vrijkomen die longfibrose en verhoogde atherosclerose en stollingsstoornissen (hart-vaatziektes) kunnen veroorzaken en vooral bestaande hart-vaat aandoeningen in ernst versterken.

Ook kankerverwekkende eigenschappen zijn mogelijk na blootstelling aan koolstof-nanobuisjes met eigenschappen die lijken op asbestvezels (‘*Fibre Paradigm*’). In een enkel onderzoek zijn op de lange termijn longtumoren gevonden (titaniumdioxide) en bij een gevoelige muizensoorten mesotheliomen in de buikholte (koolstofnanobuisjes, na toediening in de buikholte).
Ook kunnen nanomaterialen via de long naar lymfeklieren en de bloedbaan doordringen en via de bloedbaan in allerlei weefsels en organen (lever, nieren, placenta) terechtkomen en daarmee reageren. Een bijzondere route is de ‘*Olfactory Pathway*’: vanuit de neus kunnen nanomaterialen direct de temporaalkwab van de hersenen bereiken via de reukzenuw. Dit is o.a. aangetoond bij blootstelling aan mangaandeeltjes in nano-vorm. Neurotoxische effecten kunnen het gevolg zijn.

Gegevens over de mogelijke schadelijke gezondheidseffecten zijn in tabel 5 samengevat. Het meeste onderzoek is gedaan naar de korte termijneffecten van blootstelling aan koolstofnanobuisjes, titaniumdioxide en enkele andere metaalbevattende nanomaterialen, zoals zilverdeeltjes. Het is onduidelijk of de gevonden effecten ook bij lagere doseringen en bij mensen kunnen optreden. In een aantal dierexperimenten zijn bijvoorbeeld hoge doseringen gebruikt en zijn de blootstellingsroutes (injectie in bloedbaan, inbrengen in de luchtpijp of buikholte) minder relevant voor de mens. Veel onderzoek is verder slechts eenmaal uitgevoerd op één specifieke diersoort. Ook is er slechts op beperkte schaal onderzoek verricht naar de langetermijneffecten bij chronische blootstelling. Ondanks de beperkingen van dit dierexperimenteel onderzoek, kunnen zij ook voor de mens relevant zijn.

Een mooi overzicht van de mogelijke gezondheidseffecten is beschreven in een artikel van Fadeel et al. (88).

Tabel 5 Samenvattend overzicht van de gezondheidseffecten op verschillende orgaansystemen uit dierexperimenteel onderzoek (Gezondheidsraad 2012) (15)

Ademhalings-stelsel	<u>Korte termijneffecten</u> Single- en multi-walled CNT: longontstekingen, hyperplasie en longfibrose. Mogelijke oorzaak: overbelasting. Fullerenen: longontstekingen afhankelijk van chemische samenstelling. Carbon black: rhinitis, longontsteking en longfibrose. Titaniumdioxide: Longontsteking en longfibrose; mate van effect afhankelijk van deeltjesgrootte. Zilverdeeltjes: tegensprekende resultaten wat ontstekingen in de longen betreft na inhalatie. <u>Langetermijneffecten</u>: Titaniumdioxide: in één onderzoek, longkanker in ratten (maar niet in muizen).

Hart- en bloedvaten	Korte termijneffecten: Single-walled CNT: versnelde vorming van atherosclerotische beschadigingen in de aorta van muizen. Single-walled en multi-walled CNT, carbon black: aanwijzingen voor vasculaire trombose (sterkere reactie dan urban particulate matter). Zuivere fullerenen: geen aanwijzingen voor vasculaire trombose. Quantum dots (gecoat met carboxyl of amine): vasculaire trombose in de longen (mate afhankelijk van elektrische lading dots). Langetermijneffecten: geen gegevens
Zenuwstelsel	Korte termijn effecten: Titaniumdioxide: schade aan hersenen van muizen (deeltjes ingebracht via de buikholte). Nanomaterialen van ijzer- of mangaanoxide: veranderingen hersenactiviteit. Nanomaterialen van zilver, koper of aluminium: schade aan zenuwcellen in hersenen (diverse blootstellingroutes).Voor aluminium zijn gedragsneurologische veranderingen in muizen beschreven (deeltjes ingebracht in de neus). Silica nanomaterialen: aanwijzingen voor schade in zenuwcellen van hersenen (deeltjes ingebracht via de neusholte). Langetermijneffecten geen gegevens.
Zintuigen	Kortetermijneffecten Fullerenen: negatief voor irritatie en sensibilisatie aan de ogen. Meer onderzoek is nodig voor een definitieve conclusie. Langetermijneffecten: geen gegevens
Huid	Kortetermijneffecten: Single- en multi-walled CNT: huidontstekingen. Fullerenen: negatief voor irritatie en sensibilisatie. Meer onderzoek is nodig voor een definitieve conclusie. Nota bene, zilverdeeltjes in wondverband: ontkleuring van de huid en verminderde leverfunctie bij patiënten met brandwonden. Langetermijneffecten: geen gegevens.
Spijsvertering en buikholte	Kortetermijneffecten: geen gegevens. Langetermijneffecten: Multi-walled CNT : geen tumoren in buik van ratten na eenmalige injectie in de buikholte, maar wel bij gevoelige muizensoort (en in ratten na toediening van asbestvezels).
Urogenitaliën	Korte- en langetermijneffecten: geen gegevens.
Bewegingsstelsel	Korte- en langetermijneffecten: geen gegevens.
Voortplanting en nageslacht	Silicium- en titaniumdioxide: zwangerschapcomplicaties in muizen, zoals afwijkingen placenta (deeltjes geïnjecteerd in de bloedbaan). Titaniumdioxide: in muizen verminderde spermaproductie bij het nageslacht. Fullerenen en silicadeeltjes(> 300 nm): geen zwangerschapscomplicaties.
Afweer	Kortetermijneffecten: CNT: verergering van allergische astma. Multi-walled CNT onderdrukt mogelijk het immuunsysteem. Lange termijn effecten: geen gegevens.
Hormoonhuishouding	Korte- en langetermijneffecten: geen gegevens

7.1.2 Beroepsziekten

Er zijn enkele waarnemingen waarbij een relatie tussen gezondheidsproblemen en eerdere blootstelling aan nanomaterialen wordt gesuggereerd. Eén van de eerste studies werd beschreven door Song et al, in 2009 (89). Zij bespraken een case van zeven jonge vrouwen met ernstige luchtweg- of hartproblemen. Twee van hen kwamen te overlijden. Ze hadden onder slechte omstandigheden in een kunststofverwerkend bedrijf gewerkt, waarbij blootstelling aan diverse chemicaliën, (o.a. polyacrylaat) en verbrandingsproducten bestond, waarvan sommige in het nanobereik. De blootstelling was niet goed gekarakteriseerd waardoor geen heldere conclusies getrokken kunnen worden of de medewerkers ziek werden als gevolg van blootstelling aan nanomaterialen, of als gevolg van de zeer slechte arbeidsomstandigheden in deze fabriek.

Echte ‘Nano-beroepsziektes’ zijn (nog) niet gevonden. Wel is extra waakzaamheid op dit punt geboden. Een ‘Good Practice’ op dit punt is een Frans surveillance systeem RNV4P waarbij alle gevallen van mogelijke arbeidsgebonden aandoeningen uit alle universitaire klinieken in Frankrijk in een data-base met individuele medische en blootstellingsgegevens worden opgenomen. Gevallen van werkers met nanomaterialen worden apart geanalyseerd en zo nodig extra onderzocht.

Hoe uitgebreid de risico-evaluaties vooraf ook worden gedaan en hoeveel dierproeven ook verricht, er kunnen zich toch onverwachte gezondheidseffecten voordoen. Bij blootstelling aan nanomaterialen is het onzeker, maar wel plausibel, dat het effecten kan geven op de stolling en op de luchtwegen en sommige deeltjes zouden carcinogene effecten kunnen veroorzaken. Het organiseren van waakzaamheid rond deze mogelijke gezondheidsrisico’s is dus een belangrijk punt.

In Nederland kunnen bijzondere gezondheidsproblemen die wellicht samenhangen met blootstelling aan nanomaterialen (of andere stoffen) gemeld worden bij SIGNAAL, een apart elektronisch loket van het Nederlands Centrum voor Beroepsziekte, van waaruit ook ondersteuning kan worden geboden bij analyse van lastige gevallen of clusters.

7.2 Diagnostiek en behandeling/begeleiding

Omdat er vooralsnog geen aanwijzingen bestaan voor specifieke aandoeningen die door blootstelling aan nanomaterialen op de werkplek kunnen ontstaan, is het onderdeel diagnostiek en behandeling in dit dossier beperkt tot signalering van mogelijke vroege effecten en begeleiding van kwetsbare werkenden. Uitgebreider zal worden ingegaan op de zin, beperkingen en uitdagingen van preventief medisch onderzoek, inclusief biomonitoring.

7.2.1 Diagnostiek

Onderzoek naar (vroege) gezondheidseffecten van de luchtwegen of het hartvaatstelsel is mogelijk door gebruik te maken van biomarkers van fysiologische veranderingen (bijvoorbeeld onstekingsmarkers, markers van het stollingssysteem, veranderingen in hartslag variabiliteit, testen van functionele beperkingen (longfunctie, hartfunctie, neuropsychologisch onderzoek, neuro imaging, EEG) en diagnostische testen voor aandoeningen (Röntgen onderzoek).

Luchtwegaandoeningen en hartvaatziektes komen veel voor onder de algemene bevolking en kennen een veelheid van (ook niet arbeidsgebonden) risicofactoren. De bovengenoemde biomarkers en diagnostische testen zijn niet specifiek voor gezondheidseffecten die door nanomaterialen veroorzaakt zouden kunnen worden. Dit betekent dat het bij afwijkende resultaten bij een individuele werknemer niet mogelijk is om met zekerheid te zeggen of de gezondheidseffecten door blootstelling aan nanomaterialen zouden zijn veroorzaakt en los daarvan kan het de vraag ook niet beantwoorden of het door synthetische nanomaterialen of proces gegenereerde nanomaterialen komt. Bij onderzoek naar vroege effecten op andere orgaansystemen geldt hetzelfde. Al met al zijn geen medische testen met voldoende sensitiviteit en specificiteit beschikbaar om specifieke vroege gezondheidseffecten van blootstelling aan nanomaterialen op te sporen.

7.2.2 Behandeling en begeleiding

Er zijn geen specifieke ‘Nano ziektes’ geïdentificeerd waardoor van behandeling geen sprake kan zijn. Omdat er toch zorgen zijn over mogelijke gezondheidseffecten van nanotechnologie is bijzondere alertheid geboden: door preventief medisch onderzoek kan een vinger aan de pols worden gehouden en bij opmerkelijke gezondheidsklachten en/of afwijkingen kan worden aangeklopt bij SIGNAAL (zie paragraaf 7.1.2). Met mogelijk kwetsbare werkenden, zoals mensen met bestaande hartvaatziektes, moeten de mogelijke extra risico’s in een counselingsgesprek besproken worden. Blootstelling aan hoge concentraties proces gegenereerde deeltjes is in dit kader een duidelijker probleem dan blootstelling aan vaak lage concentraties synthetische nanomaterialen.

7.3 Kwetsbare groepen

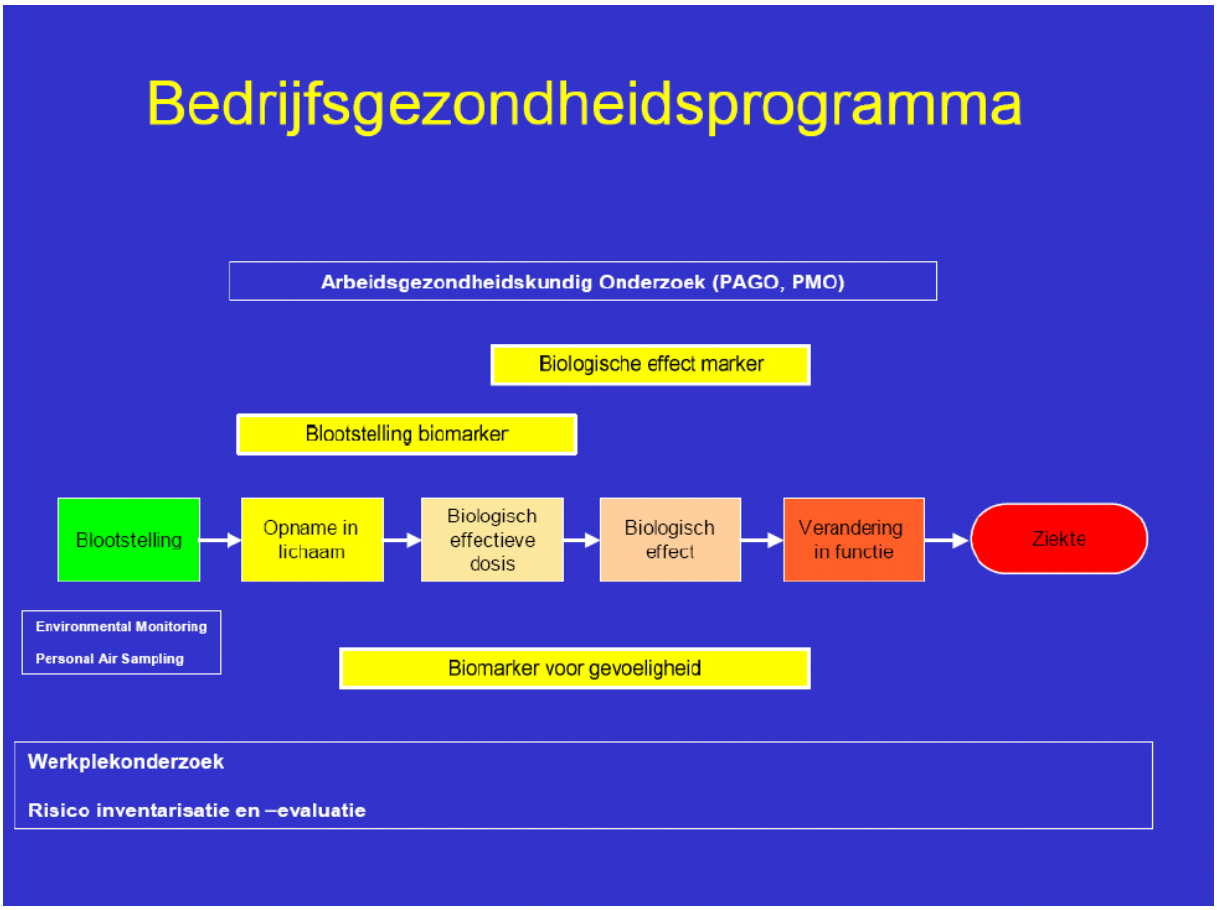
Aangenomen mag worden dat bepaalde groepen vanwege hun persoonlijke kenmerken (genetische factoren, leeftijd en geslacht, cobormiditeit) en gedrag (zoals roken) extra gevoelig voor de invloed van

blootstelling aan nanomaterialen zijn (15). Deze werkers zullen eerder ziekteverschijnselen ontwikkelen of bij hen gaan latent aanwezige ziekteverschijnselen eerder over in klinisch waarneembare klachten / ziekteverschijnselen. Het is op dit moment onduidelijk of en in welke mate deze risicofactoren van invloed zijn op het ontstaan van ziekteverschijnselen door beroepsmatige blootstelling aan nanomaterialen. Daarvoor zal eerst meer wetenschappelijk onderzoek moeten worden uitgevoerd.

7.4 Preventief medisch onderzoek inclusief vroegdiagnostiek

Door de zorgen over de gezondheidsrisico's van blootstelling aan nanomaterialen dringt de vraag zich op of een vorm van gezondheidsbewaking als een 'early warning system' bij nano-werkers opgezet zou kunnen worden. Preventief Medisch Onderzoek moet als onderdeel van een bedrijfsgezondheidsprogramma worden beschouwd, waarbij een systematische verzameling, analyse van blootstellingsgegevens en medische data wordt uitgevoerd. Doel hiervan is de vroege opsporing en preventie van arbeids-gerelateerde aandoeningen.

Preventief medisch onderzoek en screening zijn twee te onderscheiden strategieën, waarbij screening een *klinische focus* heeft om ziektes in een vroeg stadium op te sporen en preventief medisch onderzoek een *preventieve focus* heeft om mogelijke vroege gezondheidseffecten in samenhang met blootstellingsgegevens te beschouwen, een 'clinical watch system': kijken naar gezondheidseffecten die zouden kunnen optreden. De peilers van een gezondheidsbewakingsprogramma zijn blootstellings- en gezondheidseffectmonitoring. In figuur 15 is zo'n programma schematisch weergegeven. De beperkingen en uitdagingen van zo'n programma voor nano-werkers wordt onderstaand besproken.



Figuur 15 Schematisch overzicht van een bedrijfsgezondheidszorgprogramma

De Risico-inventarisatie omvat de periodieke identificatie van potentiele blootstelling aan gezondheids- en veiligheidsrisico's. Bij werk met synthetische nanomaterialen is blootstellingskarakterisering en blootstellingsregistratie een voorwaarde om dit te koppelen aan resultaten van medisch onderzoek als een 'early warning' systeem van gezondheidsbewaking

Registratie van blootgestelden

Vanwege de zorgen en het gebrek aan kennis over de gezondheidsrisico's van beroepsmatige blootstelling aan synthetische nanomaterialen wordt door de Gezondheidsraad (15) aanbevolen om een blootstellingsregistratie op te zetten, als basis voor epidemiologisch onderzoek bij beroepsmatige blootstelling aan synthetische nanomaterialen die niet of slecht in water oplossen. Analogie met andere registratiesystemen dringt zich op. Specifieke blootstellingsregistraties op de werkplek bestaan al op het gebied van ioniserende straling en kankerverwekkende, mutagene en reproductietoxische stoffen:

- Het Nationaal Dosisregistratie- en Informatiesysteem (NDRIS) voor beroepsmatige blootstelling aan ioniserende straling is een verplichting op basis van de Kernenergiewet. Het gaat om individuele dosisgegevens die tot dertig jaar na beëindiging van de werkzaamheden centraal worden bewaard. Het bevat individuele blootstellingsgegevens (dosimetrie) van meer dan honderdduizend personen, waarvan de NAW gegevens en BSN bekend zijn.
- In het Nederlands Arbobesluit staan speciale voorschriften over registratie van kankerverwekkende, mutagene en reproductietoxische stoffen. Deze gegevens blijven in het bezit en beheer van het bedrijf of de instelling waar de werknemers werken. Er is geen centrale registratie of een systeem dat de blootstellinggeschiedenis bijhoudt wanneer een werknemer van werkgever wisselt. Voor asbest zijn aanvullende voorschriften opgenomen over de meetmethode. In een register dient van iedere werknemer die beroepsmatig wordt blootgesteld aan asbeststof een aantekening te worden gemaakt over de aard en de duur van de arbeid, alsmede de mate van de blootstelling. De indruk bestaat dat deze registraties in veel bedrijven niet gerealiseerd en/of geactualiseerd worden. Dit biedt dan ook geen basis voor verder epidemiologisch onderzoek.

Als basis voor epidemiologisch onderzoek is een solide registratie nodig met goede blootstellingskarakterisering. In het Gezondheidsraadrapport wordt niet aangegeven hoe dit gerealiseerd moet worden. De precieze invulling en de praktische uitwerking van de blootstellingsregistratie zal niet eenvoudig zijn.

Door de betrekkelijk kleine omvang van de populatie werkers met specifieke nanomaterialen in individuele bedrijven/landen lijkt pooling van internationale cohorten nodig om snelle wijze tot een goed gezondheidsbewakingssysteem te komen, een post-marketing surveillance van werkenden die aan specifieke nano-materialen zijn blootgesteld in analogie met de postmarketing surveillance van geneesmiddelen. In een recent artikel in de Journal of Occupational and Environmental Medicine worden de randvoorwaarden voor een dergelijk programma besproken (90).

Preventief Medisch Onderzoek en Screening

Bij preventief medisch onderzoek wordt de gezondheidsstatus in een groep werkers met specifieke blootstelling onderzocht. Het gaat dan om het in kaart brengen van ziekte en verandering in biologische functie waarbij trendanalyse essentieel is. Bij medische screening gaat het om het opsporen van vroege stadia van ziekte in een ogenschijnlijk gezonde populatie.

Voordat een screeningsprogramma voor arbeids-gerelateerde ziektes kan worden opgezet, moet aan een aantal basisvoorwaarden worden voldaan:

1. De blootstelling moet duidelijk of aannemelijk zijn;
2. Er zijn sterke aanwijzingen dat blootstelling tot bepaalde schadelijke effecten leidt;
3. Er zijn medische testen met voldoende sensitiviteit en specificiteit beschikbaar om gezondheidseffecten op te sporen, bij voorkeur in een asymptomatisch en omkeerbaar stadium van de aandoening;
4. Er is overeenstemming over de aanpak van abnormale bevindingen bij de screeningstest, ook wat betreft de arbeidszekerheid.

Bij medisch onderzoek na blootstelling aan synthetische nanomaterialen wordt aan voorwaarde 3 en 4 niet voldaan en voorwaarde 2 is onzeker. Er bestaat dus geen basis voor medische screening. Toch is het zinvol om bij groepen nanoworkers inzicht te krijgen in mogelijke gezondheidseffecten. Goed

georganiseerde pilot studies zouden hiervoor kunnen worden opgezet, zoals al in sommige bedrijven (bv BASF) al wordt verricht (91, 92, 93, 94).
Voor een adequaat preventief medisch onderzoeksprogramma bij nanowerkers moet aan een aantal voorwaarden worden voldaan om relatief geringe veranderingen in de gezondheidsstatus op te sporen:

- gegevens over blootstelling en effect moeten systematisch en over een langere periode worden verzameld;
- gegevens moeten compleet en betrouwbaar zijn;
- er is een hoge participatiegraad nodig om alle blootgestelde werkers te includeren.

Alleen in goed georganiseerde en geëquipeerde arbodiensten kan aan deze voorwaarden worden voldaan. Dit geldt ook voor arbeids-epidemiologisch onderzoek, waarbij grote groepen nodig zijn om tot betrouwbare conclusies te kunnen komen.
Al met al zijn er geen testen voor specifieke vroege gezondheidseffecten van blootstelling aan nanomaterialen beschikbaar, waardoor specifiek medisch onderzoek niet uitvoerbaar is.

Gezondheidsbewaking
Vanwege de onzekerheden rond gezondheidsrisico's lijkt het zinvol om een 'early warning'-systeem van gezondheidsbewaking voor werk met synthetische nanomaterialen op te zetten. Hiermee zouden op een snelle manier mogelijke vroegoptredende effecten worden gesignaleerd.. In combinatie met blootstellingsregistratie kan waardevolle informatie worden verkregen op de korte en lange termijn. De Gezondheidsraad (15) acht het niet zinvol om een apart medische surveillancesysteem voor nanowerkers ('actieve surveillance') op te zetten, gezien de bovengenoemde beperkingen en randvoorwaarden.

Een alternatief systeem is het koppelen van gegevens uit bestaande gezondheidsregistraties aan gegevens uit blootstellingsregistratie. Ondanks de beperkingen van sommige bestaande registratiesystemen, dekken zij een groot scala aan mogelijke gezondheidseffecten. Dit kan alleen als de blootstellingsgegevens uit de registraties tot individuen herleidbaar zijn en privacy aspecten opgelost worden.

Met passieve surveillance lukt het niet altijd om op betrouwbare wijze causale verbanden aan te tonen tussen gezondheidseffecten en blootstelling. De Gezondheidsraad ziet daarom ook een belangrijke rol voor epidemiologisch onderzoek. Epidemiologisch onderzoek is complementair aan de surveillance en kan hier in de toekomst focus in aanbrengen. Ook het goed volgen van resultaten van onderzoek uit de nanotoxicologie is nodig voor arbovigilantie bij werk met nanomaterialen.

8 Werkgeversverplichtingen

De werkgeversverplichtingen komen voort uit de Arbowetgeving. Kortweg dient de werkgever beleid te voeren waarbij werkdruk en beheersmaatregelen in ieder geval terugkomen in de RI&E en in voorlichting & onderricht. (Artikel 11 van de arbowet)

Wettelijke verplichtingen
Artikel 3 van de Arbowet stelt algemene eisen met betrekking tot veilig werken en het beschermen van de geestelijke en lichamelijke gezondheid van de mens. Doel is ongevallen op het werk te voorkomen, evenals ziekte(verzuim) door arbeidsgebonden factoren. De werkgever dient een zo goed mogelijk arbeidsomstandighedenbeleid te voeren waarbij de actuele stand van de wetenschap en professionele dienstverlening in acht wordt genomen.

9 Werknemersverplichtingen

De werknemer is verplicht zich als een 'goed werknemer' te gedragen. Dit betekent bijvoorbeeld dat de werknemer zich moet houden aan de werkvoorschriften van de werkgever en verplicht is om mee te werken aan reïntegratie.

Wettelijke verplichtingen
De Arbowet, hoofdstuk 2, artikel 11 beschrijft de algemene verplichtingen van de werknemer. In de gewijzigde versie van januari 2007 is een belangrijke verplichting opgenomen, namelijk: “De werknemer is verplicht om in zijn doen en laten op de arbeidsplaats overeenkomstig zijn opleiding en de door de werkgever gegeven instructies, naar vermogen zorg te dragen voor zijn eigen veiligheid en gezondheid en die van de andere betrokken personen.”

Verder zijn werknemers verplicht om naar vermogen desgevraagd mee te werken aan het opstellen van de RI&E en maatregelen voortvloeiend uit het plan van aanpak van de RI&E uit te voeren.

Gezondheidsschade voorkomen
Ter preventie van gezondheidsschade zijn werknemers verplicht om:

- arbeidsmiddelen op de juiste wijze te gebruiken;
- de ter beschikking gestelde persoonlijke beschermingsmiddelen op de juiste wijze te gebruiken en na gebruik op de daartoe bestemde plaats op te bergen;
- mee te werken aan voor hen georganiseerd voorlichting/onderricht;
- de door hen opgemerkte gevaren voor de veiligheid of de gezondheid terstond ter kennis te brengen aan de werkgever of degene die namens deze ter plaatse met de leiding is belast.

Gedragsregel
Kort samengevat is de werknemer verplicht zich zo te gedragen dat de eigen gezondheid niet in gevaar gebracht wordt. Dit betekent voorlichting en onderricht volgen en daar waar mogelijk toepassen, beschikbaar gestelde arbeidsmiddelen op een juiste wijze en verantwoorde wijze gebruiken en daar waar zich knelpunten m.b.t. gezondheidsrisico‟s voordoen deze terstond melden zodat maatregelen kunnen worden getroffen.

10 Werknemersrechten

10.1 Rechten individuele werknemer

De rechten van de individuele werknemer staan vermeld in de Arbeidsomstandighedenwet.
In het kader van goed arbobeleid is een werkgever onder andere verplicht, de medewerkers Preventief Medisch Onderzoek aan te bieden. De medewerker kan echter niet worden verplicht aan dit arbeidsgezondheidskundig onderzoek deel te nemen en de medische informatie uit het PMO mag alleen na goedkeuring van de medewerker aan de werkgever worden verstrekt.

10.2 Rechten medezeggenschapsorgaaan

In Hoofdstuk 3 van de Arbo-wet wordt aangeven wat wordt verstaan onder samenwerking met, en de bijzondere rechten van, de ondernemingsraad, de personeelsvertegenwoordiging en de belanghebbende werknemers en de regeling ten aanzien van deskundige bijstand.
Artikel 14 en 14a zijn artikelen aangaande maatwerkregeling aanvullende deskundige bijstand bij specifieke taken op het gebied van preventie en bescherming.

RI&E
In aanvulling op artikel 13 laat de werkgever zich bijstaan door één of meer deskundige personen ten behoeve van het toetsen van de risico-inventarisatie en -evaluatie en het opstellen van het plan van aanpak. De ondernemingsraad of het medezeggenschapsorgaan heeft hierin een adviserende rol naar de werkgever en dient dan ook te worden betrokken bij de keuze en mag indien gewenst de uitvoerende partij(en) tijdens de uitvoering begeleiden.

Plan van Aanpak
Na de uitvoering van de risico-inventarisatie en evaluatie en het opstellen van het plan van aanpak dienen deze ter goedkeuring aan de ondernemingsraad of het medezeggenschapsorgaan te worden voorgelegd. Na akkoord worden RI&E en Plan van Aanpak binnen de organisatie bekend gemaakt. Is er geen ondernemingsraad of personeelsvertegenwoordiging dan wordt het advies direct bekend gemaakt aan de belanghebbende werknemers.

Verzuimbegeleiding
De ondernemingsraad of medezeggenschapsraad heeft een adviserende rol als het gaat om de keuze van de uitvoerende partij die wordt ingeschakeld voor de begeleiding van werknemers die door ziekte niet in staat zijn hun arbeid te verrichten, met inbegrip van de bijstand bij de uitvoering van de in de sociale verzekeringswetten gestelde regels.

11 Praktijkverhalen

Er zijn momenteel nog geen concrete praktijkverhalen beschikbaar. De kennis en gepubliceerde ervaringen rondom het veilig werken met nanomaterialen bij eindgebruikers zijn momenteel nog schaars. Het meten en beoordeling van de blootstelling aan nanomaterialen staat nog in de kinderschoenen en er zijn zover bekend nog geen interventiestudies uitgevoerd en beschreven.

Doordat nog onvoldoende bekend is in welke bedrijfstakken en bij welke bedrijven nanomaterialen gebruikt worden, maakt het lastig om de informatie over concrete toepassingen en de geïmplementeerde beheersmaatregelen te beschrijven.

Om op de hoogte te blijven van de ontwikkelingen rondom het veilig werken met nanomaterialen, dan kan o.a. gebruik gemaakt worden van onderstaande websites:

Kennis en Informatiepunt Risico's nanotechnologie (KIR-nano) van het RIVM.
Een doel van het KIR-nano is het signaleren van risico's rond nanotechnologie en ontwikkelingen daarin voor mens en milieu. Voor de mens richt het KIR nano zich op de risico's voor de werknemer, consumenten en patiënten. Het gaat daarbij om arbeidshygiëne, voeding, consumentenproducten, geneesmiddelen en medische technologie

Het Nanopodium
Nanopodium was een podium voor het uitwisselen van gedachten, meningen, ideeën en suggesties om met elkaar in gesprek te komen over kansen en bedreigingen van nanotechnologie voor individu en samenleving. Nanopodium was een initiatief van de onafhankelijke Commissie Maatschappelijke Dialoog Nanotechnologie (CieMDN). Het project liep van maart 2009 tot maart 2011. De CieMDN heeft het beheer van de Nanopodium-website overgedragen aan Technologiestichting STW. Op de website is nog steeds veel informatie te vinden over het maatschappelijk debat rondom nanotechnologie.

12 Referentie auteurs

Hoofdauteur en auteur wetgeving
Ir. Ralf Cornelissen, arbeidshygiënist/ hoger veiligheidskundige, werkzaam bij de Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie

Co-auteur Veiligheidskunde
Ing. Dick Hoeneveld, arbo en milieu adviseur / management consultant, werkzaam bij de Technische Universiteit Delft

Co-auteur arbeid en organisatie
Drs. Harry Tweehuysen, arbeid en organisatiedeskundige, werkzaam bij Tweehuysen Advies

Co-auteur medisch
Drs. Gert van der Laan, klinisch geneeskundige, werkzaam bij het Nederlands Centrum voor Beroepsziekten

13 Peer review

Dit arbodossier is beoordeeld door:

14 Referenties

De meeste artikelen in buitenlandse wetenschappelijke tijdschriften waarnaar hier verwezen wordt zijn te vinden via de websites PubMed of Google Scholar.

1 ISO/TR 27628:2007 - Workplace atmospheres – ultrafine nanoparticle and nano-structured aerosols. Inhalation exposure characterization and assessment";
2 NPR-CEN-ISO/TS 27687:2008-08 en: Nanotechnologieën - Terminologie en definities voor nano-objecten - Nanodeeltje, nanovezel en nanoplaat (2008);
3 Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks SCENIHR. Scientific Basis for the Definition of the Term “nanomaterial”. European Union. ISBN 978-92-79-12757-1, 2010;
4 Sociaal Economische Raad. Veilig omgaan met nanodeeltjes op de werkplek. SER advies 2009-1. 2009 ;
5 M.B.H.J. Vervoort. (2012) Risk assessment of occupational used nanomaterials: A comparison of risk assessment methods in order to determine the risk of occupational used nanomaterials in a research environment. Master thesis. Netherland School of Public and Occupational Health (NSPOH)
6 Publicatieblad van de Europese Unie. Aanbeveling van de commissie van 18 oktober 2011 inzake de definitie van nanomateriaal2011/696/EU geraadpleegd via http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:NL:PDF
7 Maynard A.D., Aitken R.J. Assessing exposure to airborne nanomaterials: Current abilities and future requirements. Nanotoxicology 2007; 1(1): 26-41.
8 van Manen-Vernooij et al. (2012) Pilot "Kennisdelen Nano in de verfketen". TNO Earth, Environmental and Life Sciences in samenwerking met IVAM UvA bv. TNO rapport V9445 | 1;
9 Brouwer et al. (2012) Harmonization of measurement strategies for exposure to manufactured nano-objects. Ann. Occup. Hyg. vol. 56. no.1;
10 Ajzen, I., & Fishbein, M. (2005). The influence of attitudes on behavior. In D. Albarracín, B. T. Johnson, & M. P. Zanna (Eds.), The handbook of attitudes (pp. 173-221). Mahwah, NJ: Erlbaum;
11 Bandura, A. Organizational Application of Social Cognitive Theory. Australian Journal of Management, 13(2), 275-302, 1988;
12 H. Cormack et al. (2006) HSE research report 464. Identifying and evaluating the social and psychological impact of workplace accidents and ill-health incidents on employees;
13 R. Gibson et al. (2012) EU-OSHA. Risk perception and risk communication with regard to nanomaterials in the workplace. European Risk Observatory Literature Review;
14 http://ec.europa.eu/nanotechnology/index_en.html;
15 Gezondheidsraad (2012) Werken met nanodeeltjes: blootstellingsregistratie en gezonheidsbewaking. www.gr.nl;
16 Jong W.H. de, Roszek B, Geertsma R.E. Nanotechnology in medical applications: possible risks for human health. RIVM rapport 265001002. 2005;
17 Dekkers S, Prud'homme De Lodder LCH, Winter R de, Sips AJAM, Jong WH de. Inventory of consumer products containing nanomaterials. RIVM letter report 340120001. 2007;
18 Wijnhoven S.W.P., Dekkers S, Hagens W.I., Jong W.H. de. Exposure to nanomaterials in consumer products. RIVM letter report 340370001. 2009;
19 S.W.P. Wijnhoven, S. Dekkers, M. Kooi, W.P. Jongeneel en W.H. de Jong. Nanomaterials in consumer products: Update of products on the European market in 2010. RIVM Report 340370003/2010. 2010;
20 Dekkers, S et al. Presence and risks of nanosilica in food products. Nanotoxicology, 2010;
21 Etheridge, M.L. et al (2013) The big picture on nanomedicine: the state of investigational and approved nanomedicine products. Nanomedicine: nanotechnology, biology and medicine 9 (2013) 1-14;
22 Voedsel en Waren Autoriteit. Nanodeeltjes in consumentenproducten. Rapport ND09231G. 2010;

23 Borm et al. Omgaan met nanodeeltjes op de werkvloer. Survey naar goede praktijken in omgaan met nanomaterialen in de Nederlandse industrie en kennisinstellingen. 2008;
24 R.T.M. Cornelissen, A. Dijkman, D. Hoeneveld, M. Samwel, J. Terwoert en M. Vervoort (2013) Werken met synthetische nanomaterialen bij Nederlandse onderzoekinstellingen. Sector analyse. SoFoKleS, Den Haag;
25 Pronk et al. (2011) Vervaardiging en gebruik van nano-eindproducten in Nederland. TNO rapport V9300;
26 R.T.M. Cornelissen, J. Terwoert en J.C. v. Broekhuizen. Nanoproducten in de Nederlandse Bouwnijverheid: Toepassingen, mogelijke risico's en beheersmaatregelen. Rapport 1023O. 2010;
27 F.A. van Broekhuizen and J.C. van Broekhuizen. Nano-products in the European Construction Industry -State of the art 2009. IVAM UvA bv. 2009;
28 Schmid, K et al. Use of Nanoparticles in Swiss Industry: a Tageted Survey. Environmental Science and Technology, vol. 42. N0.7 2008;
29 Schmid, K et al. Swiss nano-Inventory: An assessment of the usage of nanoparticles in Swiss Industry. Institute for Work and Health (IST), Lausanne, Switserland. 2008;
30 Boccuni, F et al. Potential occupational exposure to manufactured nanoparticles in Italy. Journal of Cleaner Production 16 (2008) 949-956. 2008;
31 Gezondheidsraad. Betekenis van nanotechnologieën voor de gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad. publicatie nr 2006/06. 2006;
32 Delft University of Technology, workgroup Nanosafety of the Faculty of Applied Sciences. Nanosafety Guidelines. Version 2 – September 2010;
33 Kabinetsvisie Nanotechnologieën Van Klein Naar Groots. jaartal onbekend, bereikbaar via deze link: http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2006/11/16/kabinetsvisie-nanotechnologie.html;
34 G.Oberdorster et al. (2004). Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. Inhalation Toxicology 16 (6-7): 437-445;
35 W.I. Hagens et al. (2007) What do we (need to) know about the kinetic properties of nanoparticles in the body? Regulatory Toxicologie and Pharmacology 49: 217-229;
36 Wolterbeek, André / van der Horst-Groeneveld, Linda / Tegelenbosch-Schouten, Mariska / Koster-Ammerlaan, Anneke / Bode, Peter / Wolterbeek, Bert. Kinetics of gold nanoparticles in pregnant Wistar rats., Reproductive Toxicology, 30 (2), p.247, TU Delft/ TNO. 2010;
37 Poland, C.A. et al. (2013) Dermal absorption of nanomaterials. Danish EPA. Environmental Project no. 1504;
38 PD 6699-2:2007 Nanotechnologies – Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials. British Standards. ISBN 978 0 580 60832 2. 2007;
39 Seipenbusch M. et al. (2008). Temporal Evolution of Nanoparticle Aerosols in Workplace Exposure. Ann. Occup. Hyg., Vol. 52, No. 8, pp. 707–716, 2008;
40 SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks), The appropriateness of the risk assessment methodology in accordance with the Technical Guidance Documents for new and existing substances for assessing the risks of nanomaterials, 21-22 June 2007;
41 Stone, V. et al. (2010) Engineered nanoparticles; Review of health and environmental safety, final report FP7-projec ENRHES;
42 Kosk-Bienco, J. (Ed.) (2009) Workplace exposure to nanoparticles, European Risk observatory report – literature review, Bilbao, European Agency for Safety and Health at Work;
43 Schneider, T. et al., (2007) Evaluation and control of occupational health risks from nanoparticles, Copenhagen, Nordic council, rep. 2007-581;
44 Brouwer, D. Exposure to manufactured nanoparticles in different workplaces. Toxicology. Volume 269, issues 2-3, 120–127. 2010;
45 M. Methner, L. Hodson, and C. Geraci (2010) Nanoparticle Emission Assessment Technique (NEAT) for the Identification and Measurement of Potential Inhalation Exposure to Engineered Nanomaterials — Part A Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 7: 127–132;

46 M. Methner, L. Hodson, and C. Geraci (2010) Nanoparticle Emission Assessment Technique (NEAT) for the Identification and Measurement of Potential Inhalation Exposure to Engineered Nanomaterials — Part B:
Results from 12 Field StudiesJournal of Occupational and Environmental Hygiene, 7: 163–176;
47 David M. Zalk, Samuel Y. Paik and Paul Swuste. Evaluating the Control Banding Nanotool: a qualitative riskassessment method for controlling nanoparticle exposures. J Nanopart Res 11:1685–1704 (2009);
48 D.M. Zalk and S.Y. Paik Control Banding and Nanotechnology. The Synergist Volume 21 No. 3 (2010);
49 Cornelissen, R.T.M., Jongeneelen, F en v. Broekhuizen, J.C. Handleiding veilig werken met nanomaterialen en –producten. Ontwikkelt in opdracht van Vakcentrale FNV, VNO-NCW en CNV (2010);
50 Cornelissen, R.T.M. Veilig werken met nanomaterialen. Safety! nr. 1. 2011;
51 Duuren-Stuurman, B et al. Stoffenmanager Nano: Description of the conceptual control banding model. TNO Report V9216. 2011 (beschikbaar via de Stoffenmanager Nano website);
52 Höck J. et al.: Guidelines on the Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials. Version 2 Federal Office of Public Health and Federal Office for the Environment, Berne 2010 http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html?lang=en;
53 Expert Committee (CES) on Physical Agents. Developing of a specific Control Banding Tool for Nanomaterials. ANSES Request no. 2008-SA-0407 Control Banding. 2010;
54 Riediker, M et al. (2012) Development of a control banding tool for nanomaterials. Journal of Nanomaterials, vol. 2012;
55 Foss Hansen et al. (2012) NanoRiskCat – A Conceptual Decision Support Tool for Nanomaterials. Environmental Project No. 1372 2011. Danish EPA;
56 Groso, A.et al. (2010) Management of nanomaterials safety in research environment. Particle and Fibre Toxicology 2010 7:40;
57 The UK NanoSafety Partnership Group (2012) Working Safely with Nanomaterials in Research & Development;
58 California Nanosafety Consortium of Higher Education (2012) Nanotoolkit. Working safely with engineered nanomaterials in academic research settings;
59 F. Giacobbe, L. Monica and D. Geraci (2009) Nanotechnologies: Risk assessment model. Journal of Physics: Conference Series 170 (2009);
60 Brouwer, D. (2012) Control Banding Approaches for nanomaterials. Ann. Occup. Hyg. vol. 56, no. 5
61 Van Broekhuizen (2012) Dissertatie. Nano matters: building blocks for a precautionary approach. Chapter 6. Comparison of control banding tools to support safe working with nanomaterials and the role of process generated nanoparticles;
62 Cherrie JW, Schneider T. Validation of a new method for structured subjective assessment of past concentrations. Ann Occup Hyg; 43: 235–45. 1999;
63 Hans Marquart et al. Stoffenmanager', a Web-Based Control Banding Tool Using an Exposure Process Model. Ann. Occup. Hyg., Vol. 52, No. 6, pp. 429–441, 2008;
64 Thomas Schneider, Derk Henri Brouwer, Ismo Kalevi Koponen, Keld Alstrup Jensen, Wouter, Fransman, Birgit van Douren-Stuurman, Martie von Tongeren and Erik Tielemans. Conceptual model for assessment of inhalation exposure to manufactured nanoparticles (Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology 2011, 1–14). 2011;
65 PD 6699-3:2010 Nanotechnologies. Guide to assessing airborne exposure in occupational settings relevant to nanomaterials. 2010;
66 NEN-EN-ISO 28439:2011 en: Werkplekatmosfeer - Karakterisering van ultrafijne en nano-aerosolen - Bepaling van de deeltjesgrootteverdeling en deeltjesaantallenconcentratie met differentiële mobiliteits analysesystemen. 2011;
67 Warheit, D.B., ´How meaningful are the results of nanotoxicity studies in the absence of adequate material characterization?´, Toxicol. Sci., 101, 2008, 183-185;
68 Murdock, R.C., Braydich-Stolle, L., Schrand, A.M., Schlager, J.J., Hussain, S.M., ´Characterization of nanomaterial dispersion in solution prior to in vitro exposure using dynamic light scattering technique´, Toxicol. Sci., 2007;
69 Colbeck, I University of Essex Interne notititie voor het NanoCap project. te downloaden via: http://www.nanocap.eu/Flex/Site/Downloadf860.pdf?ID=3984. 2009;
70 IRSST. Best Practices Guide to Synthetic Nanoparticle Risk Management. Report R-599. ISBN: 978-2-89631-345-7 (2009);

71 Asbach et al. Comparison of four mobility particle sizers with different time resolution for stationary exposure measurements. J Nanopart Res. Published online June 2009;
72 Johan Marra, Matthias Voetz and Heinz-Jurgen Kiesling (2009) Monitor for detecting and assessing exposure to airborne nanoparticles. J Nanopart Res. Published online: 15 July 2009;
73 Johan Marra. Using the Aerasense NanoTracer for simultaneously obtaining several ultrafine particle exposure metrics te downloaden via de Aerasense website 2011;
74 Brouwer, D et al. (2012) Harmonization of measurement strategies for exposure to manufactured nano-objects: report of a workshop. Ann. Occup. Hyg. vol. 56, no.1;
75 Van Broekhuizen et al. (2012) Exposure Limits for Nanoparticles: Report of an International Workshop on Nano Reference Values. Ann. Occup. Hyg. vol. 56, no. 5,
76 RIVM report 6010440001/2010, S.Dekkers, C. de Heer, Tijdelijke nano-referentiewaarden – Bruikbaarheid van het concept en van de gepubliceerde methoden. 2010;
77 IFA website: Technical Information → nanoparticles at the workplace: http://www.dguv.de/ifa/en/fac/nanopartikel/beurteilungsmassstaebe/index.jsp;
78 Poland, C.A. et al. (2013) Dermal absorption of nanomaterials. Danish EPA. Environmental Project no. 1504;
79 Gezondheidsraad. Asbest: Risico's van milieu- en beroepsmatige blootstelling. Publicatienr. 2010/10. Gezondheidsraad, Den Haag: Beschikbaar op: http://www.gezondheidsraad.nl/sites/default/files/201010ASBEST.pdf , 2010;
80 dr. E.M. Vogelezang-Stoute, dr. J.R. Popma, dr. M.V.C. Aalders en mr. J.M. Gaarthuis. STEM publicatie 2010/5. Regulering van onzekere risico's van nanomaterialen; mogelijkheden en knelpunten in de regelgeving op het gebied van milieu, consumentenbescherming en arbeidsomstandigheden. 2010;
81 Kabinet. Kabinetsvisie Nanotechnologieen, Van Klein Naar Groots. 2006;
82 Communication from the commission tot he European Parliament, The Council and the European Economic and Social Committee. Regulatory Aspects of Nanomaterials. COM(2008) 366 final. 2008; Geraadpleegd op 15 juni 2011: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0366:FIN:en:PDF;
83 RIVM. Signaleringsbrief KIR-nano. Nanomaterialen in REACH. Signaleringsbrieven zijn te bereiken via: http://www.rivm.nl/nieuwsbrieven/NBR0-IT-0036.nsf/Laatste%20nieuws?OpenForm;
84 IndusTox rapport niet openbaar beschikbaar. Verwijzing naar rapport in: "Neem het zekere voor het onzekere - mogelijke gezondheidseffecten van nanotechnologie in de verf- en drukinktindustrie' (Verf & Inkt 2009-05)". 2009;
85 OECD (2010) Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials No. 28. Compilation of nanomaterial exposure mitigation guidelines relating to laboratories. ENV/JM/MONO(2010)47;
86 Gezondheidsraad (2011) Nanomaterialen in afval. nr. 2011/14;
87 Dijkman, A, Terwoert, J en Hollander, A (2011) Literature review on risk governance at the company level. TNO Hoofddorp;
88 Fadeel B, Pietroiusti A, Shvedova AA. (2012) Adverse effects of engineered Nanomaterials. Exposure, Toxicology and impact on Human Health. Academic Press, Elsevier, London 2012 (ISBN : 978-0-12-386940-1);
89 Song Y, Li X, Du X. (2009) Exposure to nanoparticles is related to pleural effusion, pulmonary fibrosis and granuloma. Eur Respir J 2009; 34: 559–567;
90 Riediker M, Schubauer-Berigan MK, Brouwer DH et al. (2012) A road map toward a globally harmonized approach for occupational health surveillance and epidemiology in nanomaterial workers. J Occup Environ Med. 2012 Oct;54(10):1214-23;
91 David R.M, Nasterlack M, Engel S, Conner P.R. (2011) Developing a registry of workers involved in nanotechnology. BASF experiences. JOEM 2011;53:S32-S34;
92 Trout D.B, Schulte P.A. Medical surveillance, exposure registries and epidemiological research for workers exposed to nanomaterials. Toxicology 2010;269:128-135;
93 Schulte P.A, Mundt D.J, Nasterlack M, Mulloy K.B, Mundt K.A. Exposure registries. Overview and utility for nanomaterial workers. JOEM 2011;53: S42-S47;
94 Trout D. B. General principles of medical surveillance. Implications for workers potentially exposed tot nanomaterials. JOEM 2011;53:S22-24.