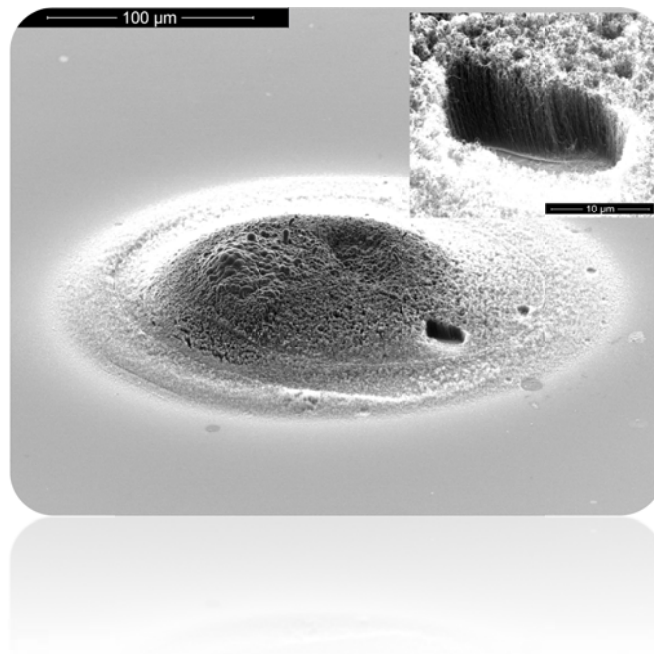


# SAAZ-UNle Rapport juni 2012

## Nano-veiligheid



Dit rapport is opgesteld voor de arbo-deskundigen en leidinggevenden van de Nederlandse universiteiten, UMC's en researchcentra.

Samengesteld namens de Werkgroep Algemene Veiligheid van de SAAZ-UNle door:

Ralf Cornelissen	Stichting FOM
Karin de Haas <sup>1</sup>	
Hans Heuer	AMD, Radboud Universiteit
Dick Hoeneveld	HRM, TU Delft
Dorine Hornung	TU Eindhoven

Eventuele aanvullingen of opmerkingen over het rapport kunt u sturen naar [d.hoeneveld@tudelft.nl](mailto:d.hoeneveld@tudelft.nl)

<sup>1</sup> Reeds met pensioen, voorheen werkzaam bij Stichting FOM

## Inhoudsopgave

Samenvatting.....	4
1. Inleiding.....	5
2. Indeling nanomaterialen .....	5
Definitie.....	5
2.1 Klassenindeling.....	5
2.2 Ruimtelijke indeling.....	5
2.3 Chemische indeling .....	7
2.4 Overige termen .....	8
3. Risico's.....	9
3.1 Gezondheidseffecten .....	9
3.2 Veiligheidseffecten .....	9
3.3 Soorten arbeid met verhoogd risico, potentiële blootstellingsmomenten .....	10
4. Grenswaarden .....	11
5. (Beheers)Maatregelen.....	15
5.1 Hazard assessment.....	15
5.2 Identificatie.....	15
5.3 Maatregelen.....	16
5.4 Validatie.....	17
5.5 Voorlichting en training .....	18
5.6 Gezondheidsmonitoring.....	18
5.7 Ketenzorg.....	18
6. Instrumenten .....	20
7. Goede praktijken .....	20
8. Wetgeving en normen.....	21
9. Websites .....	21
10. Literatuur.....	22

## Samenvatting

Dit rapport is opgesteld om de arbo-deskundigen en leidinggevenden van de Nederlandse universiteiten, UMC's en researchcentra inzicht te geven in de huidige stand der techniek op gebied van nanoveiligheid. Het bevat tevens een (niet uitputtende) inventarisatie van nanomaterialen en hun huidige toepassing. Inschatting van het arbeidsrisico bij het werken met nanomaterialen is nog een 'educated guess', harde toxicologische gegevens over nanomaterialen ontbreken immers. Het RIVM rapport: 'Tijdelijke nano-referentiewaarden' (RIVM 2010) biedt echter een eerste handreiking voor het toepassen van referentiewaarden (Benchmark Exposure Levels) op de werkplek; hierin worden koolstof nanobuisjes beschouwd als potentieel carcinogeen (tenzij het tegendeel bewezen is). Daarnaast zijn er twee Nederlandse tools ontwikkeld voor risico-inschatting (Cornelissen et al., 2010; Duuren-Stuurman et al., 2010), Op basis van het SER-advies worden beheersmaatregelen gegeven voor veilige omgang met nanomaterialen op de werkplek. Daarnaast bevat dit rapport onder meer een set goede praktijken en verwijzingen naar websites waarop de lezer nadere informatie kan vinden.

Fundamenteel onderzoek in de meeste gevallen niet te vangen in een standaard advies, of standaard beheerstrategie. Een gevolg hiervan is dat de beschikbare risico-beoordelingsinstrumenten niet één op één gebruikt kunnen worden in een onderzoekomgeving. Maatwerk zal altijd vereist zijn.

Aanbeveling van dit rapport zijn:

- ▶ beschouw alle nanomaterialen als potentieel toxisch, tenzij risico's expliciet zijn uitgesloten en dit is aangetoond (voorzorgsbeginsel);
- ▶ hanteer de arbeidshygiënische strategie; let op: persoonsgebonden beschermingsmaatregelen voorkomen geen ruimtebesmetting;
- ▶ let op pyrofore eigenschappen van nanomateriaal;
- ▶ beoordeel het risico per verbinding over de hele levenscyclus heen (inkoop of productie tot afvalfase);
- ▶ reinig nano-besmette ruimten conform asbestsanering; echter zonder het vrijgaveprotocol (voor nanomaterialen niet mogelijk).

## 1. Inleiding

Volgens prognoses van de OECD (OECD 2010) (organisatie voor economische ontwikkeling van de westerse landen) zal nanotechnologie het westen economisch voor ruim 500 miljard euro op voorsprong zetten ten opzichte van de opkomende economieën van China en India. Hiermee is nanotechnologie de grootste groeiemarkt voor het Westen. Ook vanuit een technologisch perspectief hebben nanomaterialen interessante eigenschappen, zoals hun hoge mate van reactiviteit en selectiviteit in katalytische processen, en hun barrièredoordringend vermogen (medicijnen). Deze eigenschappen kunnen nanomaterialen echter ook schadelijk maken voor mensen en het milieu. Het huidige debat over de risico's van nanotechnologie neigt naar focus op de vermoedde gevaren van nanomaterialen en de maatschappij wordt steeds intensiever geïnformeerd; zo is door Natuur en Milieu de [Nanocontrole](#) site opgericht (Natuur&Milieu 2010). Binnen het wetenschappelijk onderzoek is echter een sterk groeiende interesse in de toepassing van nanomaterialen. Dit noodzaakt kennisinstellingen om de juiste veiligheidsmaatregelen voor laboratoriumtoepassing van nanomaterialen te ontwikkelen. Van grote hulp hierbij zijn de RIVM rapporten '*Nanotechnologie in perspectief, risico's voor mens en milieu*' (RIVM 2008) en '*Tijdelijke nano-referentiewaarden: bruikbaarheid van het concept van de gepubliceerde methoden*' (RIVM 2010).

## 2. Indeling nanomaterialen

### *Definitie*

In oktober 2011 heeft de Europese commissie (Europese Commissie 20-10-2011, 2011/696/EU ) definitie-aanbevelingen gepubliceerd voor nanomaterialen:

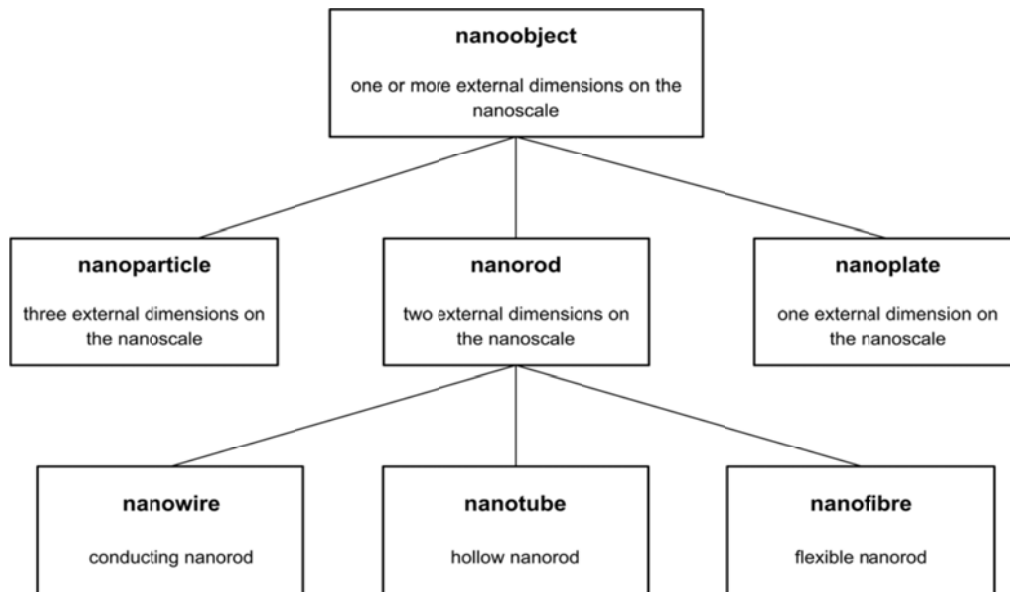
1. Natuurlijk, incidenteel of geproduceerd materiaal dat uit deeltjes bestaat, hetzij ongebonden, als aggregaat of agglomeraat waarvan minstens 50% van de deeltjes één of meer externe dimensies hebben tussen 1 en 100 nm ( $\pm 0,15\%$ ).
2. Voor het inschatten van de risico's van nanomaterialen kunnen in specifieke gevallen lagere percentages worden gehanteerd.
3. Bolvormige structuren, grafheer vlokken en carbon nanotubes moeten worden beschouwd als nanomateriaal.

### *2.1 Klassenindeling*

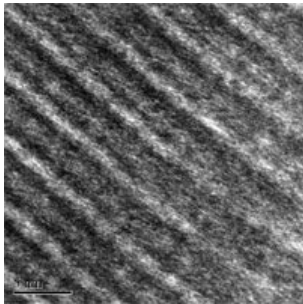
Onder nanomaterialen vallen nanoplaatjes, nanomaterialen, nanobuisjes, enz. Dit rapport gaat over 'bewust geproduceerde' of 'synthetische' nanomaterialen en niet over natuurlijk voorkomende nanomaterialen en nanomaterialen die vrijkomen bij verbranding zoals in lasrook en in uitlaatgassen.

### *2.2 Ruimtelijke indeling*

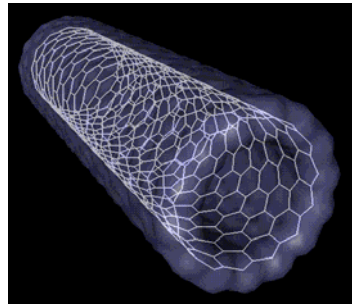
De ruimtelijke verschijningsvorm geeft de dimensie aan waarin het deeltje zijn nanogrootte vertoont: in 1, 2 en 3 dimensies. (Kaluza, S. et al, 2009)



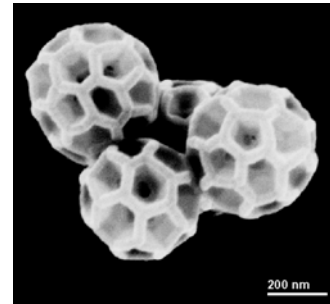
Voorbeelden zijn:



1 dimensie (als coating, film, multilayer)



2 dimensies (zoals koolstofbuisjes)



3 dimensies (als buckyballs).

### 2.3 Chemische indeling

Chemisch zijn nanomaterialen in te delen in de volgende categorieën: koolstofstructuren, metaaloxides, metalen, quantum dots, organische polymeren en biologische nanomaterialen.

Tabel 1 Indeling van nanomaterialen

Indeling	Toepassingen
<b>Koolstofstructuren</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Koolstof fullerenen (diameter 4-36 nm) zijn bolvormige kooistructuren van koolstofatomen.</li> </ul>	Vele toepassingen, o.a. in batterijen, brandstofcellen, plastic-additieven en medicijnen.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Koolstof zwart (carbon black) (80-500 nm) is amorf koolstofpoeder op nanoschaal.</li> </ul>	Met name gebruikt als pigment en in de bandenindustrie.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Koolstof nanovezels (diameter: 2-100 nm; lengte micrometers-milimeters) zijn opgebouwd uit gebogen grafietlagen die elkaar overlappen. De nanovezels kunnen massief of hol zijn.</li> </ul>	Polymeer additieven en katalysatoren.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Koolstof nanobuisjes (diameter 0,4-100 nm; lengte tot meerdere centimeters) zijn holle koolstof nanovezels waarvan de grafietlagen parallel aan de as van de buis liggen. Koolstof nanobuisjes kunnen hol zijn of aan de uiteinden afgedekt met een halve fullereen. Koolstof nanobuisjes kunnen een enkele wand hebben of meerdere wanden.</li> </ul>	O.a. polymeer additieven, elektronica, batterijen, composietstructuren
<ul style="list-style-type: none"> <li>Koolstof nanosheet: (1 nm dikte) is een 1-laags netwerk van koolstofatomen.</li> </ul>	Elektronica en coatings
<b>Metaaloxides</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nano metaaloxides (5-10 nm) kunnen in verschillende vormen worden geproduceerd, zoals amorf, staafjes, buisjes, schijfjes en complexere structuren.</li> </ul>	(Opto)elektronica, sensoren, transducers, medicijnen, verf en zonnecrème

Indeling	Toepassingen
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nano siliciumoxides (5-10 nm) komen niet vrij als deeltjes voor, maar bundelen kort na hun vorming samen tot grotere agglomeraten.</li> </ul>	Versterken van elastomeren, toevoegingen aan poeders en hitte-isolatie.
Metalen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nano gouddeeltjes</li> </ul>	Medicijnen, geleiders en optische markers
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nano zilverdeeltjes</li> </ul>	Wondafdekking, desinfectans. sokken.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nano kobalt en koper</li> </ul>	interconnectors in (nano)electronische schakelingen.
<ul style="list-style-type: none"> <li>o.a. Goud draden</li> </ul>	diverse metalen worden als nanorod toegepast, o.a. als geleider
Quantum dots	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantum dots (1-10 nm) zijn bolvormige nanokristallen van halfgeleidermateriaal met bijzondere optische eigenschappen door quantum effecten.</li> </ul>	Fluorescentie, diagnostiek
Organische polymeren	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dendrimeren zijn polymeren op nanoschaal waarvan de polymeerketens op atomair niveau te controleren zijn.</li> </ul>	Medicijnen
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nanovezels zijn polymeren waarvan de eigenschappen meer algemeen gecontroleerd kunnen worden.</li> </ul>	O.a. ultrafiltratie, bio-afbreekbare vezels, weefselkweek, medicijndosering, wondafdekking.
Biologische nanomaterialen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Biologische nanomaterialen worden gebruikt om biologisch materiaal absorberen, te dragen of te isoleren. Ze bestaan uit biologische bouwstenen zoals vetten, eiwitten en polyschariden.</li> </ul>	Medicijnen en biochemisch onderzoek

#### 2.4 Overige termen

Term	Uitleg
Ultrafine particles	Deze deeltjes vallen niet onder de definitie van synthetische nanomaterialen zoals in dit rapport opgenomen. De term wordt soms gebruikt voor niet-synthetische stoffen op nanoschaal die voorkomen in bijvoorbeeld lasrook en bij dieseluitstoot.
Nano-aerosolen	Dit zijn nanomaterialen in een gas. De deeltjes kunnen als nanodeeltje maar ook als aggregaten of agglomeraten van nanomaterialen voorkomen. Als bij de laatste twee vormen de grootte meer dan 100 nm is maar de fysische eigenschappen voldoende overeenkomen met de nanomaterialen, worden ze toch nano-aerosolen genoemd.
Nanostructured material	Hiermee wordt bedoeld aggregaten van nanomaterialen.



### 3. Risico's



Micro- en nanodeeltjes zijn in de natuur altijd al aanwezig geweest, maar over de eeuwen heen is hun concentratie in de lucht sterk toegenomen als gevolg van verbranding van fossiele brandstoffen. Er is aangetoond dat hoge concentraties micro- en nanodeeltjes in stedelijke gebieden schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid (Schwela 2000). Toxicologisch onderzoek heeft informatie opgeleverd over de relatie tussen natuurkundige en chemische eigenschappen van zulke micro- en nanomaterialen en hun schadelijk effect op de gezondheid. Onze kennis op dat gebied is echter nog verre van compleet. De vraag waar wetenschappers nu voor staan is of de kennis van 'traditionele' micro- en nanomaterialen ook toepasbaar is op de nieuwe generatie synthetische nanomaterialen. Hieronder worden verstaan nanobuisjes, fullerenen (o.m. buckyballs), nanowires, quantum dots en medicijnen. Door hun bijzondere vorm en hoge reactiviteit kan het effect van nanomaterialen op het metabolisme van mens en dier niet eenvoudig worden voorspeld.

#### 3.1 Gezondheidseffecten

Het is bekend dat kleine stofdeeltjes diep in de longen kunnen doordringen en indien ze niet oplossen of afbreken, accumuleren ze in het lichaam en brengen gezondheidschade toe (Kaluza 2010). Door hun doordringend vermogen kunnen nanomaterialen zelfs via de slijmvliezen van de neus de hersenen bereiken (G.Oberdorster et al, 2004; Hagens et al.2007). De minieme omvang van nanomaterialen maakt het mogelijk dat ze daarna cellen binnendringen en cellulaire processen beïnvloeden.

Het is mogelijk dat nanomaterialen de vorming van schadelijke stoffen in het lichaam bevorderen o.a door reactieve zuurstofverbindingen. Daarnaast is het mogelijk dat ze ontstekingsreacties bevorderen.

Er is weinig bekend over het vermogen van nanomaterialen om de huid of het spijsverteringskanaal te doordringen. Totdat meer onderzoek op dit gebied is gedaan, moet men voorzichtig zijn. Niettemin worden bijvoorbeeld  $\text{TiO}_2$  nanomaterialen al op grote schaal toegepast in zonnecrèmes.

Onderzoek naar de schadelijke effecten van nanomaterialen richt zich voornamelijk op drie effecten: oxidatieve stress, ontstekings-effecten en genotoxiciteit (Aitken 2009).

Ontstekings-effecten worden vooral gezien bij vezelvormige nanomaterialen zoals koolstofnanobuisjes en er worden asbest-achtige gezondheidseffecten verwacht; het ontstekings-effect is echter sterk afhankelijk van de bouw van de vezel (meerwandigheid, open of dichte einden, rolt het op, of blijft het rigide). Specifieke kennis hierover ontbreekt echter nog. Oxidatieve stress is een vaak waargenomen effect van nanomaterialen, maar – net als bij ontstekings-effecten – varieert het effect sterk per nanomateriaal en moet het effect steeds per geval beoordeeld worden. Over de genotoxische effecten van nanomaterialen is nog weinig bekend.

#### 3.2 Veiligheidseffecten

De blootstellingsrisico's van nanomaterialen zijn vergroot ten opzichte van microdeeltjes, omdat ze zich, afhankelijk van de deeltjesgrootte, in de lucht hetzelfde gedragen als een gas (Kaluza, 2009).

Andere veiligheidseffecten van nanomaterialen dan toxische effecten zijn voornamelijk brandbaarheid en (stof)explosiviteit. Door hun hoge oppervlak/gewicht ratio kunnen nanomaterialen een aanzienlijk grotere reactiviteit met zuurstof hebben, dan de macro-vorm van hetzelfde materiaal. Het is daarom belangrijk om de pyrofore eigenschappen van het te gebruiken nanomateriaal vooraf te onderzoeken en met name voorzichtig te zijn bij het hanteren van grotere hoeveelheden. De Nanosafety guidelines van de TU Delft (Schmidt-Ott

2008) adviseert om gebruikshoeveelheden vanaf 1 gram altijd te onderzoeken op hun pyrofore eigenschappen.

Naast brandbaarheid en explosie, kunnen nanomaterialen gemakkelijk apparatuur binnendringen. Dit levert een risico op als het geleidende nanomaterialen betreft. Het is bekend dat nanokoolstof kortsluiting kan veroorzaken in printcircuits.

### 3.3 Soorten arbeid met verhoogd risico, potentiële blootstellingsmomenten

Het RIVM rapport "Nanotechnologie in perspectief" (RIVM 2008) zet in paragraaf 7.2 uiteen welke mogelijk risicovolle handelingen met nanomaterialen aanwezig kunnen zijn bij onderzoeksinstellingen. Deze handelingen zijn verwerkt in onderstaande opsomming.



Tabel 2

Mogelijke handelingen waarbij blootstelling aan nanomaterialen kan optreden bij wetenschappelijk onderzoek	
1	Synthese van nanomateriaal
2	(intern) Transport
3	Vorbereidende werkzaamheden en overbrenging van nanomateriaal in verwerkingsunit, bijvoorbeeld afwegen, oplossen, gieten, vernevelen (via de luchtwegen).
4	Eventueel afvullen van (vloeibaar) product dat nanomaterialen bevat (via de huid).
5	Verwerken, toepassen, (kan zowel via de luchtwegen als via de huid).
6	Mechanisch bewerken van oppervlakken met nanomateriaal, bijvoorbeeld het mechanisch bewerken en het coaten(via de luchtwegen en in mindere mate via de huid).
7	Onderhoud en reiniging apparatuur en processen (via de luchtwegen en de huid).
8	Opruimen van gemorst nano-materiaal (via de luchtwegen en de huid) en afvoer nano-afval.

#### 4. Grenswaarden

De Arbowet verplicht de werkgever middels een RI&E om het arbeidsrisico van zijn medewerkers in te schatten. Door middel van maatregelen dient daarna het risico zo laag mogelijk en op een acceptabel niveau gehouden te worden. De overheid geeft voor een aantal gevaarlijke stoffen gezondheidskundige grenswaarden. Voor de stoffen waar geen officiële grenswaarden van worden gegeven moet de werkgever zelf waarden vaststellen waarbinnen de medewerker voldoende beschermd is. Dit noemt men de zogenaamde private grenswaarden. Er is een lijst met private grenswaarden die een werkgever als lokale norm kan gebruiken. Zie ook [Leidraad Veilig werken met chemische stoffen](#).

Voor nanomaterialen is er echter nog te weinig toxicologische kennis beschikbaar om gezondheidskundig onderbouwde grenswaarden vast te stellen. De overheid heeft een Kennis en informatieplatform Risico's nanotechnologie ingesteld (KIR nano). De KIR heeft het deskundigenplatform Arbo gevraagd haar te adviseren over risico-beheersing voor het werken met synthetische nanomaterialen. In afwachting van gezondheidskundige grenswaarden adviseert de KIR de minister te werken met '**tijdelijke nano-referentiewaarden**' volgens de IFA-aanbevelingen (methode Duits arbo-kenniscentrum, zie tabel 3).

In 2009 heeft de minister van Sociale Zaken & Werkgelegenheid de Gezondheidsraad advies verzocht over de mogelijkheden van registratie van beroepsgebonden blootstellingen aan nanomateriaal en het opzetten van een gezondheidsbewaking systeem. Mei 2012 is het concept rapport van de Gezondheidsraad (Gezondheidsraad, 2012) met het antwoord op de adviesaanvraag verschenen.

Werkgeversorganisatie VNO-NCW en de vakbonden CNV en FNV voeren daarnaast tot eind 2011 een pilotproject uit voor de toepasbaarheid van nanoreferentiewaarden op de werkvloer (van Broekhuizen, 2012; SER, 2012). Zij ontwikkelden ook een handleiding voor veilig werken met nanomaterialen en -producten (Cornelissen, 2010).

#### Private Grenswaarden en DNELS

Er zijn enkele studies in de wetenschappelijke literatuur verschenen die private grenswaarden, DNELS en REL beschreven hebben. Een overzicht van verschenen studies (per september 2011) is weergegeven in tabel 3.

Het NIOSH (US National Institute for Occupational Safety and Health) heeft werkpleklimieten voorgesteld voor fijn (respirabele deeltjes) en ultrafijn (respirabele deeltjes <100 nm; nanomaterialen) titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>). In het document 'Current Intelligence Bulletin 63: Occupational Exposure to Titanium Dioxide' wordt allereerst de beschikbare wetenschappelijke kennis met betrekking tot de toxiciteit en carcinogeniteit van TiO<sub>2</sub> geëvalueerd. Vervolgens worden kwantitatieve risicoschattingen voor fijn en ultrafijn TiO<sub>2</sub> gedaan. Op basis van deze schattingen stelt het NIOSH de volgende werkpleklimieten voor: 2,4 mg/m<sup>3</sup> voor fijn TiO<sub>2</sub> en 0,3 mg/m<sup>3</sup> voor ultrafijn TiO<sub>2</sub> (inclusief nano-TiO<sub>2</sub>). Dit zijn 10-uur tijdgewogen gemiddelden (TGG) voor een 40-urige werkweek. Deze aanbevelingen zouden het risico op longkanker bij inademing van TiO<sub>2</sub> dat gedurende een werkend leven wordt opgebouwd moeten reduceren tot 1 op de 1000. Tot slot worden methoden voor blootstellingsmetingen en reductiemaatregelen beschreven en aanbevelingen voor verder onderzoek gedaan.

Dit is een van de eerste documenten waarin een gezondheidskundige blootstellingslimiet voor nanomaterialen op de werkplek is afgeleid. De beschikbare gegevens laten zien dat oppervlakte (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) een betere dosismaat is dan massa (mg/m<sup>3</sup>) Toch heeft het NIOSH de werkpleklimieten in mg/m<sup>3</sup> uitgedrukt.

Tabel 3 Voorstel voor grenswaarden en DNELS voor specifieke nanomaterialen gepubliceerd in de wetenschappelijke literatuur.

Verbinding		OEL of REL g/m <sup>3</sup>	DNEL g/m <sup>3</sup>	Deeltjes/cm <sup>3</sup>	Referentie
MWCNT (Baytubes)	8-hr TWA	50		$7.1 \times 10^6 - 3.2 \times 10^7$	Pauluhn, 2009
MWCNT (10-20nm/5-15µm)	Short term inhalation		201	$4.1 \times 10^4 - 5.1 \times 10^5$	ENRHES 2009
	Chronic inhalation		33.5	$7.1 \times 10^3 - 8.5 \times 10^4$	ENRHES 2009
MWCNT (10-20nm/5-15m)	Short term inhalation		4	$8.5 \times 10^2 - 1.0 \times 10^4$	ENRHES 2009
	Chronic inhalation		0.67	$1.4 \times 10^2 - 1.7 \times 10^4$	ENRHES 2009
MWCNT (Nanocyl)	8-hr TWA	2.5			Nanocyl 2009
CNT (SWCNT & MWCNT)	8-hr TWA	7			NIOSH
CNF (carbon nano fibres)	8-hr TWA	7			NIOSH
FullereneN	Short term inhalation		44.4	$2.9 \times 10^5$	ENRHES 2009
	Chronic inhalation		0.27	$1.8 \times 10^3$	ENRHES 2009
FullereEN		~800		$2.7 \times 10^5$	NEDO-2 2009
Ag (18-19nm)	DNEL-lung scenario1		0,33	4000	ENRHES 2009
	DNEL-lung scenario2		0.098	1200	ENRHES 2009
	DNEL-liver		0.67	7000	ENRHES 2009
TiO <sub>2</sub> (21nm)	Chronic inhalation		17	$8.3 \times 10^5$	ENRHES 2009
TiO <sub>2</sub> (10 -100nm) (REL)	10hr/day, 40hr/week	300		$4.5 \times 10^4 - 4.5 \times 10^7$	NIOSH 2011
TiO <sub>2</sub> P25 (primary size 21nm)	TWA 8h/d, 5d/w	1200		$6.5 \times 10^7$	NEDO-1 2009
Algemene aanpak voor ENP	0.5µl PMrespirable / m <sup>3</sup> x agglomerate density				Pauluhn 2010

*Tijdelijke referentiewaarden RIVM volgens de IFA aanbeveling*

**Tijdelijke** nanoreferentiewaarden (Benchmark Exposure Levels), zoals aan de minister wordt geadviseerd in het RIVM-rapport (RIVM 2010), voor materialen met een deeltjesgrootte tussen de 1 en de 100 nm zijn samengevat in tabel 3.

Tabel 4 Tijdelijke grenswaarden volgens IFA-aanbeveling

Categorie	Omschrijving categorie	Tijdelijke referentiewaarde
A	metalen, metaal oxiden en andere biopersistente granulaire nanomaterialen met een dichtheid > 6000 kg/m <sup>3</sup>	20.000 deeltjes/cm <sup>3</sup> *
B	biopersistente granulaire nanomaterialen met een dichtheid < 6000 kg/m <sup>3</sup>	40.000 deeltjes/cm <sup>3</sup> *
C	vezelvormige nanomaterialen	0,01 vezels/cm <sup>3</sup> (gebaseerd op het blootstellingsrisico van asbest**)
- -	ultrafijne vloeibare deeltjes (vetten, koolwaterstoffen, siloxanen)	Huidige gezondheidskundige grenswaarden van de macrovorm

\* 8-uur Tijd Gewogen Gemiddelde (TGG) toename ten opzichte van de achtergrond

\*\* Gemeten met fasecontrast microscopie.

NB: in Nederland is de huidige grenswaarde 0,01 vezels/cm<sup>3</sup> uitgedrukt in metingen met Fase Contrast Microscopie (FCM): en 0,02 vezels/cm<sup>3</sup> uitgedrukt in metingen met Transmissie Elektronen Microscopie (TEM).

NB: IFA verwacht in 2012 met een verdere gevaars-differentiatie te komen binnen de groep koolstof nanobuisjes.

*Aandachtspunten*

- De door IFA voorgestelde referentiewaarden zijn erop gericht om de blootstelling te minimaliseren conform de huidige stand van de wetenschap en zijn niet gezondheidskundig onderbouwd. Gezondheidsrisico's voor werknemers kunnen bij deze blootstellingsniveaus niet worden uitgesloten. Daarom mogen de referentiewaarden niet worden verward met gezondheidskundige blootstellingslimieten voor de werkplek (grenswaarden).
- De indeling is gebaseerd op zowel de biopersistentie als op deeltjesgrootte en dichtheid.
- De gevaarsindeling is gebaseerd op de nano-eigenschappen en niet op de chemische toxiciteit van de macro-vorm.
- nano vezels vormen een aparte categorie omdat zij asbestachtige effecten kunnen veroorzaken. Andere vezelvormige en oplosbare nanomaterialen (bijvoorbeeld nanodraden) kunnen eveneens in deze categorie vallen. Het is dan echter van belang om te weten hoe het materiaal zich gedraagt. Als nanodraden bijvoorbeeld een bolletje vormen als zij loskomen van de drager zijn de effecten vermoedelijk minder schadelijk dan wanneer ze de vezelvorm behouden.
- Met het meten van de deeltjes in de categorieën A en B moet rekening gehouden worden met de achtergrondconcentratie. Deze is soms hoger is dan 20.000 deeltjes/cm<sup>3</sup>.
- Omdat de referentiewaarde voor categorie C lager ligt dan de detectiegrens van de monitorapparatuur, ontbreekt hier nog een meetmethode. De methode is wellicht analoog aan de asbest meetmethode.
- De referentiewaarden zijn in alle gevallen lager dan de voorgestelde stofspectifieke Occupational Exposure Limits (OEL's).

- De referentiewaarden zijn in sommige gevallen hoger en in andere gevallen lager dan de voorgestelde stofspecifieke Derived No Effect Level (DNEL's). Voor de veiligheid kunnen de waarden dus te hoog zijn gekozen om alle gezondheidseffecten te voorkomen.
- Het blijft noodzakelijk om de concentratie zo laag mogelijk te houden en het "As Low As Reasonably Achievable"-principe (ALARA) na te streven.

Verwacht wordt dat het gebruik van nanoreferentiewaarden minder geschikt is voor gebruik in een onderzoekomgeving. De achtergrondconcentraties zijn dan namelijk vaak erg laag, en de gebruikte hoeveelheden nanomateriaal gering en de blootstellingstijd zo kort, dat afgevraagd kan worden of de blootstelling goed gemeten kan worden.

#### Methodiek RI&E

In het rapport "Veilig omgaan met nanomaterialen op de werkvloer" (SER 2009) worden beheersmaatregelen voorgesteld in een Best Practice Richtlijn. Deze richtlijn gaat uit van een RI&E in een aantal stappen. De richtlijn is verwerkt in het volgende voorgestelde stappenplan voor de nano RI&E:

RI&E stappenplan voor het werken met synthetische nanomaterialen	
<b>A</b>	Verzamel zo veel mogelijk informatie over de toxische eigenschappen van de stof, zowel van het moedermateriaal als van het nanomateriaal.
<b>B</b>	Maak een keuze voor de verschijningsvorm van het materiaal en een keuze voor de te gebruiken methode (bij voorkeur het werken in gesloten systemen).
<b>C</b>	Identificeer het gevaar voor alle mogelijke risicovolle handelingen (zie tabel 2).
<b>D</b>	Evalueer de risico's en score de in stap C geïdentificeerde gevaren en de risicovolle handelingen.
<b>E</b>	Voer beheersmaatregelen door voor elk potentiële risicovolle handeling.
<b>F</b>	Valideer de effectiviteit van de maatregelen.
<b>G</b>	Geef voorlichting en training.

## 5. (Beheers)Maatregelen

### Uitgangspunten

De SER-commissie adviseert in haar SER-advies (\*\*lit) met betrekking tot het werken met nanomaterialen op de werkvloer uit te gaan van het voorzorgbeginsel. Het voorzorgbeginsel impliceert bij het werken met nanomaterialen, waarvan de risico's nog grotendeels onbekend zijn, dat de inspanning van de werkgever erop is gericht om blootstelling te voorkomen en – in gevallen waarin blootstelling onvermijdbaar is – de blootstelling qua duur en omvang zo beperkt mogelijk te houden. De SER-commissie wijst er op dat toepassing van het voorzorgbeginsel in principe van tijdelijke aard is, namelijk tot het moment waarop de implementatie van de risico's van nanomaterialen in REACH voldoende is afgedekt en de toename van kennis en informatie over nanomaterialen voldoende is en wel in die zin dat vaststaat dat bepaalde nanomaterialen geen risico's hebben of dat deze risico's kunnen worden beheerst met behulp van een grenswaarde of een onderbouwd doelvoorschrift.

Ook het RIVM stelt in het onderzoek naar tijdelijke nano-referentiewaarden dat de blootstelling zo laag mogelijk moet worden gehouden (ALARA-beginsel) ook als dat betekent dat de blootstelling veel lager is dan de door het RIVM voorgestelde tijdelijke referentiewaarden.

Op basis van de gerapporteerde praktijken én informatie zoals aangeboden in internationale richtlijnen is in de 'Handleiding veilig werken met nanomaterialen en –producten' (Cornelissen, 2010) een overzicht opgenomen van 30 beheersmaatregelen gerangschikt volgens de arbeidshygiënische strategie.

In de volgende paragrafen wordt een mogelijk stappenplan voor een risico-inventarisatie en –evaluatie van het gebruik van en werken met nanomaterialen beschreven.

### 5.1 *Hazard assessment*

Verzamel zoveel mogelijk beschikbare informatie over de toxische eigenschappen van het gebruikte materiaal (zowel van het uitgangsmateriaal als van het materiaal in nano-vorm voor zover daarover informatie beschikbaar is).

- a. Voorkom het gebruik van nanomaterialen waarvan bekend is dat ze (of het uitgangsmateriaal) zeer toxische eigenschappen bezit;
- b. Indien weinig informatie bekend is of achterhaald kan worden over de toxische eigenschappen van een stof, behandel dit nanomateriaal dan als een zeer toxische stof. Naarmate het kennishiaat groter is en dus de onzekerheid over de risico's groter is, moet een grotere veiligheidsmarge worden ingebouwd en moeten er dus meer maatregelen worden genomen om de blootstelling te voorkomen (zie hieronder);
- c. Als startpunt voor de hazard assessment kan een indeling worden gemaakt in de vier referentiewaarden (zie tabel 3), waarbij voor categorie C aanzienlijk meer maatregelen moeten worden genomen om de blootstelling te voorkomen dan voor categorie B en A.

### 5.2 *Identificatie*

Identificeer en scoor alle taken en handelingen met potentiële blootstelling en rangschik deze op basis van de hoogte van de mogelijke blootstelling (op basis van duur, frequentie en aantallen blootgestelde medewerkers). In feite komt dit neer op een verdiepende risico-inventarisatie en evaluatie van het gebruik van nanomaterialen:

- a. Verzamel zoveel mogelijk informatie over de processtappen die tot blootstelling kunnen leiden.
- b. Identificeer daarnaast ook alle taken en handelingen die buiten de normale procesvoering ook blootstelling aan nanomaterialen kunnen geven (blootstellingsscenario's opstellen).
- c. Evalueer de geïdentificeerde risico's en neem zo nodig maatregelen.

### 5.3 Maatregelen

De aard van de maatregelen om blootstelling te reduceren voor nanomaterialen zijn over het algemeen vergelijkbaar met de maatregelen die voor andere toxische stoffen moeten worden genomen. Echter bedenk wel dat het pakket van maatregelen voor nanomaterialen strenger zou moeten zijn dan voor grotere deeltjes, gezien de onzekerheden over de toxische effecten van nanomaterialen. Basis om blootstelling aan nanomaterialen te voorkomen is de volgorde:

1. voorkomen gebruik van gevaarlijke nanomaterialen;
2. vervangen van nanomateriaal met deeltjes die minder gevaar opleveren;
3. insluiten en isoleren van nanomaterialen bij bewerkingen in een ruimte;
4. technische beheersmaatregelen;
5. organisatorische beheersmaatregelen;

#### ad 1. **Voorkomen**

Voorkom gebruik van gevaarlijke stoffen of processen waardoor blootstelling ontstaat. Zo moet men bijvoorbeeld het gebruik van handelingen waarbij aerosolvorming kan plaatsvinden (zoals sproeien) voorkomen. Dit is natuurlijk moeilijk als nanomateriaal reeds is geselecteerd vanwege specifieke eigenschappen. Uiteraard moet overwogen worden of de betere eigenschappen van het nanomateriaal opweegt tegen de grotere risico's die het gebruik er van met zich mee brengt.

#### ad 2. **Vervangen**

Vervang het nanomateriaal of proces door één met minder risico. Als dat niet kan, probeer dan de blootstelling te verminderen gebruik te maken van nanomaterialen als poeder of in gasfase, maar gebruik waar mogelijk nanomaterialen in een matrix (dispersies, pasta's, in palletvorm ingekapseld).

#### ad 3. **Insluiten en isoleren**

Werk zoveel mogelijk in een afgesloten ruimte en gesloten systemen. Dit geldt met name voor nanomaterialen als poeder of in de gasfase. Zorg voor puntafzuiging waar toch handelingen met het materiaal plaats vinden. Maak ruimtes waar met nanomateriaal gewerkt wordt regelmatig schoon, bij voorkeur natte reiniging.

#### ad 4. **Technische maatregelen**

Indien een gesloten systeem niet mogelijk is, zet lokale/gerichte ventilatie in om de blootstelling bij de bron af te vangen:

- a. een goed ontworpen (en lekdicht) ventilatiesysteem zal nanomaterialen effectief afvangen. Bedenk dat nanomaterialen zich grotendeels als gas gedragen en dus eenvoudig kunnen ontsnappen uit lekkages. Ventilatiesystemen moeten aan dezelfde kwaliteitscriteria voldoen als voor andere toxische stoffen;
- b. onderhoud ventilatiesystemen periodiek en toets op effectiviteit (zie ook validatiestap bij punt 5.4 );
- c. voorkom recirculatie van de lucht;
- d. hou rekening met werkzaamheden als het schoonmaken van apparatuur of het vervangen van het HEPA- of F7 filter.

#### ad 5. **Organisatorische maatregelen kunnen technische maatregelen aanvullen:**

- a. voer voorafgaand aan de werkzaamheden een nano specifieke RI&E uit;
- b. beperk het aantal blootgestelde werknemers;
- c. zorg dat alleen medewerkers die geïnstrueerd zijn met nanomaterialen kunnen werken. Beperk (bijvoorbeeld) de toegang tot ruimtes met potentiële blootstelling;
- d. markeer de locaties waar met nanomaterialen wordt gewerkt en scherm deze af;
- e. beperk de duur van de blootstelling;
- f. geef voorlichting over de mogelijke risico's van de nanomaterialen waar mee gewerkt wordt en licht ze voor over de genomen en te nemen beheersmaatregelen;
- g. waarborg goede hygiëne op de werkplek;



- h. maak goede afspraken over de wijze van ontdoen van nanomaterialen in het afvalstadium.

**NB: de 6<sup>e</sup> stap, PBM gebruik,** is als reguliere veiligheidsomgang met nanomaterialen in de regel geen optie omdat dit aanvaarding van ruimtebesmetting zou inhouden, waarbij alle aanwezigen uitwendige nanobesmetting kunnen oplopen en een saneringssituatie ontstaat.

Het gebruik van PBM mag nooit als de enige stap uit de arbeidshygiënische strategie toegepast worden, altijd alleen in combinatie met beheersmaatregelen van een hoger niveau.

Adviezen met betrekking tot gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen zijn:

- Geef medewerkers goede gebruikersinstructies over het veilig en juiste gebruik van de voorgeschreven persoonlijke beschermingsmiddelen.
- Gebruik wegwerphandschoenen. Bij voorkeur geen gewezen 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 gewezen kleding, maar bijvoorbeeld Tyvek.
- Gebruik minimaal FFP3- ademhalingsbescherming (met een NPF van 30 of hoger).

#### 5.4 Validatie

De effectiviteit van maatregelen kan worden gevalideerd door de nanomaterialen te meten:

1. spoor bronnen op met een daartoe geschikt continu meetinstrument;
2. zorg voor een goede bepaling van de achtergrondblootstelling zonder de activiteiten met nanomaterialen;
3. zodra een bron is geïdentificeerd: zet meetmethoden in om meer informatie over de blootstelling te krijgen (bijvoorbeeld om deeltjesgrootteverdeling te bepalen of semi-kwantitatieve analyse, bijvoorbeeld met behulp van Aerosol Sampler geschikt voor nanomaterialen (NMPS), of electronenmicroscopie (SEM/TEM) gecombineerd met een analytische module (EDX).

Overzicht van meetmethoden en technieken (niet uitputtend) is opgenomen in bijlage 2 (Gezondheidsraad 2012).

Met behulp van de PIMEX-methode (Picture Mix Exposure) worden de werkhandelingen opgenomen met een videocamera en tegelijkertijd de blootstelling gemeten met meetapparatuur. Door deze opnamen geïntegreerd te tonen wordt het effect van de werkmethode op de blootstelling zichtbaar.



Condensation Particle Counter



Philips nano-tracer



Pimex methode

### 5.5 Voorlichting en training

Verzorg voorlichting en training aan de medewerkers. Instrueer alle betrokken werknemers over de eigenschappen van de nanomaterialen en de noodzaak voor speciale maatregelen en zorg voor adequate training van de werknemers.

### 5.6 Gezondheidsmonitoring

Er is op dit moment geen specifiek meetbaar gezondheidseffect voor blootstelling aan nanomaterialen, hetgeen suggereert dat medische surveillance op dit moment niet kan worden uitgevoerd. Vanuit het oogpunt van zorgvuldigheid, mede vanwege de onzekerheden over de effecten, zou in ieder geval de beschikbare informatie over gebruikte materialen en blootstellingduur moeten worden verzameld voor het geval later gezondheidseffecten zouden worden waargenomen. Het bijhouden van een blootstellingregister van alle blootgestelde werknemers voor retrospectieve doeleinden wordt door de SER geadviseerd. Dit register kan dan worden gebruikt zodra een relevant gezondheidseindpunt bekend is.

### 5.7 Ketenzorg

De SER-commissie hecht eraan aandacht te schenken aan openheid, transparantie en betrokkenheid van alle stakeholders – aspecten genoemd in de diverse gedragscodes die er met betrekking tot nanomaterialen bestaan.

Daarnaast moet er volgens de commissie ook aandacht zijn voor een meldingsplicht, (product)labeling, communicatie en voorlichting in de keten, een tijdelijk verbod van toepassing van nanotechnologie en/of het werken met nanomaterialen als mogelijke uitkomst van het gebruik van het voorzorgbeginsel. Ook moet aandacht worden besteed aan het advies om de GezondheidsRaad voor de meest toegepaste/voorkomende nanomaterialen met voorrang een gezondheidskundige advieswaarde vast te laten stellen en aan de mogelijkheid om nanoreferentiewaarden te ontwikkelen als bruikbaar hulpmiddel voor de praktijk.

In het kader van ketenzorg zal REACH ook voor nanotechnologie naar verwachting van de auteurs een steeds belangrijker rol gaan spelen. Kern van REACH is dat bedrijven in principe van alle stoffen, die ze produceren of verwerken, de risico's moeten kennen en aan de klanten doorgeven. Dit geldt in principe ook voor stoffen op nano-schaal. Echter, methodologieën voor de identificatie van gevaren en evaluatie van risico's van stoffen op nano-schaal zijn nog onvoldoende uitgewerkt om dit te verplichten. REACH heeft in 2009 een resolutie aangenomen dat binnen 2 jaar nanomaterialen geregistreerd moeten worden als nieuwe stof. Er wordt getwijfeld of dit haalbaar is.

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

RIP-oN 1: stofidentificatie. Welke kenmerken van materialen kunnen gebruikt worden om stoffen te identificeren en risico's goed te identificeren.

RIP-oN 2: richtte zich op het opstellen van specifieke leidraden voor de informatievereisten voor nanomaterialen. Uit RIP-oN 2 komt naar voren dat het voor een goede karakterisering van nanomaterialen nodig is om additionele eigenschappen te meten. RIP-oN 2 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 gevareneindpunten wordt vastgesteld dat de bestaande testen veelal toereikend zijn of dat slechts kleine aanpassingen nodig zijn

RIP-oN 3: behandelt de blootstellingsbeoordeling en gevaars-/risicokarakterisering. Voor beoordeling van blootstelling en risico's komt 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.

## 6. Instrumenten

Er zijn diverse instrumenten om de risico's van nanomaterialen in kaart te brengen en te beheersen, te weten:

- Risico-inventarisatie en -evaluatie;
- checklists;
- een blootstellingsregister;
- procedures waarin normen en afspraken voor het werken met nano-materialen;
- voorlichting en onderwijs aan medewerkers;
- Stoffenmanager Nano 1.0;
- Handleiding veilig werken met nanomaterialen en –producten, Cormelissen R.T.M. et al (november 2010) IVAM UvA BV / IndusTox in opdracht van FNV, VNO-NCV, CNV.
- Management of Nanomaterials safety in research environment, Groso et al. 2010;

## 7. Goede praktijken

- TU Delft Nanosafety guidelines (Schmidt-Ott, 2010) (zie bijlage 2)
- NPR-ISO/TR 12885, nanotechnologies - Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies(NEN, 2008)
- Het bijhouden van een blootstellingsregister, zoals geadviseerd door de SER
- Nanosafety Quick check (TU Delft Nanosafety guidelines (Schmidt-Ott, 2008)
- Beheersmaatregelen uit de Handleiding veilig werken met nanomaterialen;
- Tijdelijke Nano-referentiewaarden (RIVM, 2010)
- Nanotechnologie in perspectief, risico's voor mens en milieu, RIVM (2008), RIVM rapport 601875002Nanotoolkit: Working Safely with Engineered Nanomaterials in Academic Research Settings. Best practices, Standards, and Guidelines to using engineered nanomaterials. California Nanosafety Consortium of Higher Education. 2012;
- Hornung, DC, ( april 2011) Kleine deeltjes, grote gevolgen? Studie naar de mogelijke risico's van werken met nanomaterialen bij de Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

## 8. Wetgeving en normen

Er is (nog) geen wetgeving specifiek gericht op nanomaterialen. De algemene verplichtingen in de Arbowet en Arbobesluit voor gevaarlijke stoffen zijn van toepassing. Daarnaast zijn er normen en praktijkrichtlijnen opgesteld.

### Arbowet

- artikel 3: Zorgplicht van de werkgever voor een veilige en gezonde werkplek
- artikel 5: Verplichting Inventarisatie en -evaluatie van de risico's
- artikel 8: Verplichting voorlichting en onderricht
- artikel 11: Verplichting werknemers voor veilig werken en onderricht volgen.

### Arbobesluit

- hoofdstuk 4: Nadere omschrijving verplichtingen voor Gevaarlijke stoffen.

### Normen

- 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;
- PD ISO/TR 12885:2008: Nanotechnologies. Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies;
- NEN-EN-ISO 28439:2011 en: Werkplekatmosfeer - Karakterisering van ultrafijne en nano-aerosolen - Bepaling van de deeltjesgrootteverdeling en deeltjesaantallenconcentratie met differentiële mobiliteits analysesystemen.
- 

## 9. Websites

- Kennis- en informatiepunt risico's (KIR) nano-technologie:  
[http://www.rivm.nl/rvs/075\\_nanotechnologie/KIR\\_nano/](http://www.rivm.nl/rvs/075_nanotechnologie/KIR_nano/)
- Leidraad voor 'Veilig werken met chemische stoffen' (private grenswaarden):  
<http://www.veiligwerkenmetchemischestoffen.nl/default.aspx>
- Grenswaarden Publiek en Privaat:  
<http://www.ser.nl/nl/taken/adviserende/grenswaarden.aspx>
- OECD (2010), "Science and technology policy: nanotechnology."  
[http://www.oecd.org/document/36/0,3343,en\\_2649\\_34269\\_38829732\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/36/0,3343,en_2649_34269_38829732_1_1_1_1,00.html)
- OECD Database on Research into the Safety of Manufactured Nanomaterials  
<http://webnet.oecd.org/NanoMaterials/Pagelet/Front/Default.aspx>
- <http://www.aerasense.com/>
- <http://www.natuurenmilieu.nl/nanocontrole>
- [www.nano.stoffenmanager.nl](http://www.nano.stoffenmanager.nl)
- Kennisdossiers IFA (Institut der Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung: <http://www.ifa-arbeitsmappedital.de>
- NIOSH US: <http://www.niosh.com>
- [www.arbokennisnet.nl](http://www.arbokennisnet.nl) --> dossier nanotechnologie

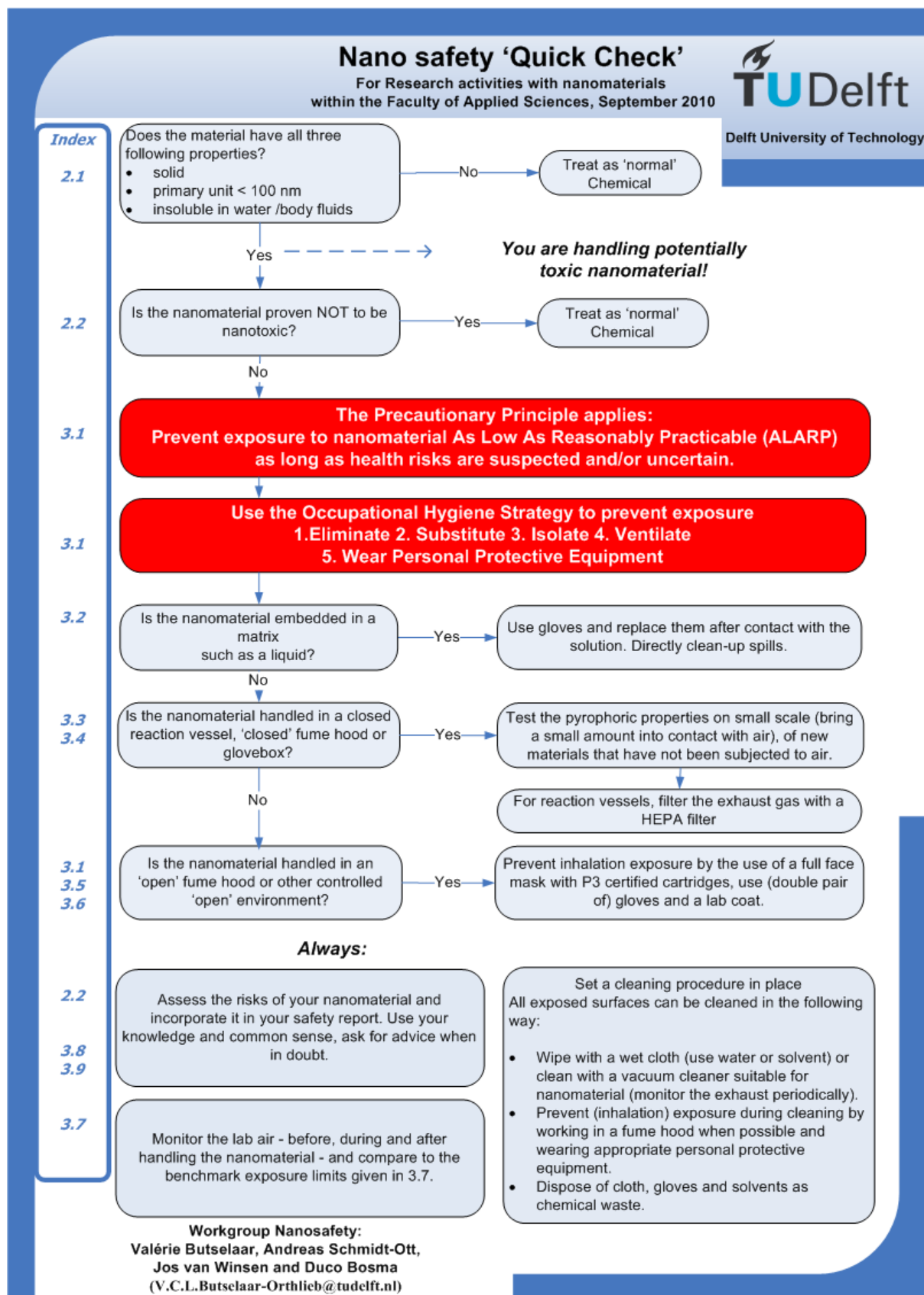
## 10. Literatuur

- Aitken, R. e. a. (2009) EMERGNANO: A review of completed and near completed environment, health and safety research on nano materials and nano technology. **Volume**, 198 DOI:
- Kaluza, S. e. a. (2009). workplace exposure to nanoparticles. Bilbao, European Risk Observatory OSHA EU: 89.
- Schwela, D. e. a. (2000). Guidelines for concentration and exposure-response measurement of fine and ultra fine particulate matter for use in epidemiological studies. WHO. geneva: 206.
- SER, SER-advies, 'veilig omgaan met nanomaterialen op de werkplek', publicatienummer 1, 20 maart 2009.
- Natuur&Milieu (2010). "<http://www.natuurenmilieu.nl/nanocontrole/>."
- NEN (2008). nanotechnologies - Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies. NPR-ISO/TR 12885. NEN. Delft, NEN: 79.
- OECD (2010), "Science and technology policy: nanotechnology."
- RIVM (2010), Tijdelijke nano-referentiewaarden, Report 601044001/2010, S. Dekkers | C. de Heer
- Cornelissen, R.T.M. et al (november 2010). *Handleiding veilig werken met nanomaterialen en – producten*, IVAM UvA BV / IndusTox in opdracht van FNV, VNO-NCV, CNV.
- Dekkers, S., de Heer, C. (september 2010) *Tijdelijke nano-referentiewaarden, bruikbaarheid van het concept van de gepubliceerde methoden*, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) ), Rapport 601044001, Bilthoven
- Zalk, D.M., Paik, S.Y. (maart 2010) *Control Banding and Nanotechnology*, The Synergist
- Zijderden, M. van, Sips, A.J.A.M (2008) *Nanotechnologie in perspectief, risico's voor mens en milieu*, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), RIVM rapport 601875002
- Hornung, DC, ( april 2011) *Kleine deeltjes, grote gevolgen? Studie naar de mogelijke risico's van werken met nanomaterialen bij de Technische Universiteit Eindhoven*, Eindhoven;
- G.Oberdorster et al. (2004). Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhalation Toxicology* 16 (6-7): 437-445;
- 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;
- Sociaal-Economische Raad. Voorlopige nanoreferentiewaarden voor synthetische nanomaterialen. Sociaal-Economische Raad, Den Haag, advies 12/01; 2012;
- Van Broekhuizen P, Van Broekhuizen F, Cornelissen R, Reijnders L. Workplace exposure to nanoparticles and the application of provisional nanoreference values in times of uncertain risks. *J Nanopart Res* 2012; 14: 770-794;
- Pauluhn 2010, Poorly soluble particulates: Searching for a unifying denominator of nanoparticles and fine particles for DNEL estimation, *Toxicology* doi.10.106/j.tox.2010.10.009;
- Stone V et al 2009. ENRHES 2009, Engineered Nanoparticles : Review of Health and Environmental Safety, Edinburgh Napier University  
[http://www.temas.ch/Impart/ImpartProj.nsf/7903C02E1083D0C3C12576CC003DD7DE/\\$FILE/ENRHES+Revie w.pdf?OpenElement&enetarea=03](http://www.temas.ch/Impart/ImpartProj.nsf/7903C02E1083D0C3C12576CC003DD7DE/$FILE/ENRHES+Revie w.pdf?OpenElement&enetarea=03) Assessed 5 july 2011;
- Nanocyl (2009), Responsible Care and Nanomaterials Case Study Nanocyl. Presentation at European Responsible Care Conference, Prague 21-23rd October 2009.  
[http://www.cefic.be/files/downloads/04\\_nanocyl.pdf](http://www.cefic.be/files/downloads/04_nanocyl.pdf);
- NIOSH 2010, NIOSH Current Intelligence Bulletin, Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers, draft publication, November 2010  
[http://www.cdc.gov/niosh/docket/review/docket161A/pdfs/carbonNanotubeCIB\\_PublicReviewOfDraft.pdf](http://www.cdc.gov/niosh/docket/review/docket161A/pdfs/carbonNanotubeCIB_PublicReviewOfDraft.pdf)
- NEDO-2 2009, Naohide Shinohara, Masashi Gamo, Junko Naganishi, NEDO project – Research and Development of Nanoparticle Characterization methods, Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials – Fullerene (C60), Interim report 2009;
- NEDO-1 2009, Sozuke Hanai, Norihiro Kobayashi, Makoto Ema, Isamu Ogura, Masashi Gamo, Junko Naganishi, NEDO project – Research and Development of Nanoparticle Characterization methods, Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials – Titanium Dioxide, Interim report 2009;
- NIOSH 2011, Occupational Exposure to Titanium Dioxide, Current Intelligence Bulletin 63, April 2011;
- RIVM. Signaleringsbrief KIR-nano. Nanomaterialen in REACH. Signaleringsbrieven zijn te bereiken via: <http://www.rivm.nl/nieuwsbrieven/NBR0-IT-0036.nsf/Laatste%20nieuws?OpenForm>;

**Bijlage 1      Lijst met afkortingen**

Afkorting	Betekenis
ALARA	As Low As Reasonable Achievable
BEL	Benchmark Exposure Limits
CMAR	Carcinogeen, Mutageen, Astmageen (sensibiliserend) of Reprotoxisch
DNEL	Derived No Effect Level, omgerekend van ug/m <sup>3</sup> naar aantallen deeltjes/cm <sup>3</sup>
EDX	Energy Dispersive X-ray analysis (gebruikt bij SEM/TEM)
NEN	Nederlandse norm
NMPS	Aerosol Sampler geschikt voor nanomaterialen
NPR-ISO	Nederlandse PraktijkRichtlijn- Internationale Standaard
OEL	Occupational Exposure Limits
PBM	Persoonlijke beschermingsmiddel
REACH	Registration, Evaluation and Authorisation of CHemicals
RI&E	Risico-inventarisatie en -evaluatie
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
SEM	Scanning Electronen Microscop
SER	Sociaal Economische Raad
TEM	Transmissie Electronen Microscop
TWA	Time weighted average

Bijlage 2 Nanosafety Quack check





### Bijlage 3      Overzicht van meetmethoden en technieken

Methode	Opmerkingen
Size selective personal sampler.	Persoonlijke bemonstering op filter via aanzuigpomp of via impactor monsters. Daarna gravimetrische en chemische analyse van de filtermonsters nodig. Er bestaan geen filters die specifiek deeltjes onder de 100 nm opvangen.
Size selective static sampler	Stationaire bemonstering op filter via aanzuigpomp of impact monsters. Daarna gravimetrische en chemische analyse van de filtermonsters nodig. Sommige impactors kunnen deeltjes met een diameter onder de 100 nm opvangen (o.a. Berner Low Pressure Impactor (LPI) en Micro Orifice Impactor (MOI)).
Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM <sup>®</sup> ).	Real-time monitoring van massaconcentratie. Met speciale inlaten kan geselecteerd worden op grootte van de deeltjes.
Electric Low Pressure Impactor (ELPI <sup>™</sup> ).	Real-time monitoring. Deeltjes worden opgezogen m.b.v. een vacuümpomp en daarna een elektrische lading gegeven. Meet het actieve deeltjesoppervlak, opgesplitst in grootteverdeling. Massaconcentratie kan berekend worden als de deeltjeslading en de dichtheid bekend zijn. ELPI is af te stellen op aerodynamische diameter van de aerosolen. Ook kunnen aerosolen worden opgevangen voor verdere analyse.
Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor (MOUDI).	Real-time monitoring. Is af te stellen op aerodynamische diameter van de deeltjes.
Condensation Nuclei or Particle Counter (CNC or CPC).	Real-time monitoring (stationaire en draagbare modellen). De CNC/CPC stuurt aangezogen lucht in een verzadigde alcohol damp. De alcohol condenseert op de nanodeeltjes, waardoor die een grotere diameter krijgen. Deze grotere deeltjes kunnen met een optische detector worden geteld. Het instrument telt alle deeltjes ter grootte van < 10 nm tot 1000 nm. Het maakt geen onderscheid tussen grotere en kleinere deeltjes en laat dus geen verdeling in deeltjesgrootte zien.
Optical Particle Counter (OPC)	Real-time monitoring (stationaire en draagbare modellen). De OPC gebruikt een laserscatteringstechniek en meet het aantal deeltjes per liter lucht met een diameter vanaf 300 nm en groter. In combinatie met een CPC kunnen ook deeltjes gemeten worden met een kleinere diameter.
Differential Mobility Analyser (DMA)	Near real-time aerosol monitoring van de verdeling van de deeltjesgrootte op basis van <i>mobility</i> diameter (≈5 – 800 nm). Massaconcentratie kan berekend worden als de deeltjeslading en de dichtheid bekend zijn. Kan worden gecombineerd met andere technieken zoals DMPS
Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)	Meet in aerosolen. Gevoeligheid: 3 – 1,000 nm; gebruikt een elektrostatische ordening en een CPC. Kan gekoppeld worden aan DMA
Fast Mobility Particle Sizer (FMPS)	Real-time stationaire monitoring. Zie DMAS en SMPS

Methode	Opmerkingen
Elektronenmicroscopie	Off-line. Stofmonsters worden verzameld op een filter en na bewerking in de elektronenmicroscopie geplaatst
(Aerosol) Diffusion Charger ((A)DC).	<p>Real-time monitoring van actief oppervlak aerosolen. Niet alle chargers kunnen deeltjes meten met een 'actieve oppervlak' onder de 100 nm. Voorbeelden zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De draagbare Aerotrak™ 9000 Nanoparticle Aerosol Monitor (onderscheid geen deeltjes &gt; 100 nm).</li> <li>• De draagbare Grimm Nano-Check™ 1.320 (meet deeltjesconcentratie en gemiddelde <i>mobility</i> diameter, waardoor schatting van geometrisch deeltjesoppervlakte mogelijk is; detectielimiet ondergrens is 25 nm).</li> <li>• De draagbare Philips Aerasense Nanotracer en Nanomonitor (meet deeltjesconcentratie en gemiddelde diameter van deeltjes, waardoor schatting van geometrisch deeltjesoppervlakte mogelijk is; detectie 10 en 300 nm).</li> <li>• Matter Diffusion Size Classifier.</li> </ul>
Nanoparticle Surface Area Monitor (NSAM)	Real-time stationaire monitoring. Is gevoelig voor deeltjes groter dan 10 nm in aerosolen. Vergelijkbare werking als de Electrical Aerosol Detector (EAD)
Elektronenmicroscopie	Deeltjesoppervlakte kan worden afgeleid door tweedimensionale projectie in de TEM.
DMAS gekoppeld aan ELPI™	Verskil in gemeten aerodynamische en <i>mobility</i> diameter kan worden gebruikt voor de berekening van deeltjesoppervlak
Scanning elektronenmicroscopie)	Off-line analyse; gevoeligheid tot 1 nm; voor analyse is meer dan 1 microgram monster nodig. Is ook geschikt voor overige karakterisering (aggregaten, vorm).
Atomic Force Microscopie (AFM)	Off-line analyse; gevoeligheid: 1 nm – 8 micrometer; is een vorm van scanning Probe Microscopie. Lucht- en vloeistofmonsternamen mogelijk. Is ook geschikt voor overige karakterisering (aggregaten, vorm).
Photon Correlation Spectroscopie (PCS)	Off-line analyse; gevoeligheid 1 nm – 10 micrometer; gebaseerd op DLS.
Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)	Meet in suspensies. Gevoeligheid: 10 – 1,000 nm; wordt gebruikt in combinatie met Dynamic Light Scattering (DLS) en PCS.
X-Ray Diffraction (XRD)	Off-line analyse; Kan individuele kristallen identificeren; gevoeligheid tot 1 nm; tenminste 1 mg monster nodig.
Aerosol Time of Flight Mass Spectrometrie	Meet in aerosolen; gevoeligheid 100 – 3,000 nm; hoe kleiner de deeltjes hoe minder efficiënt de analyse.
Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)	Meet in aerosolen; gevoeligheid: 3 – 1,000 nm; gebruikt elektrostatische classificatie en een CPC. Kan gekoppeld worden aan DMA.

Monitoring en meettechnieken gerangschikt naar parameter

Parameter Methode(n)	Parameter Methode(n)
Massaconcentratie	Aerosol particle Mass Analyser (APM) Electric Low Pressure Impactor (ELPI™) Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor (MOUDI) Size selective personal sampler Size selective static sampler Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM®)
Deeltjesconcentratie	Condensation Nuclei or Particle Counter (CNC or CPC) Differential Mobility Analyser (DMA) Elektronenmicroscopie Fast Mobility Particle Sizer (FMPS) Optical Particle Counter (OPC) Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)
Oppervlakteconcentratie	(Aerosol) Diffusion Charger ((A)DC) DMAS gekoppeld aan ELPI™ Electric Low Pressure Impactor (ELPI™) Elektronenmicroscopie Nanoparticle Surface Area Monitor (NSAM)
Deeltjeskarakteristiek: deeltjesgrootte	Aerosol Time of Flight Mass Spectrometrie Atomic Force Microscopie (AFM) Nanoparticle Tracking Analysis (NTA) Photon Correlation Spectroscopie (PCS) Scanning elektronenmicroscopie Transmissie elektronenmicroscopie X-Ray Diffraction (XRD) Casacade impactor
Deeltjeskarakteristiek: verdeling van de deeltjesgrootte	Nanoparticle Tracking Analysis (NTA) Photon Correlation Spectroscopie (PCS) Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)