

Kansen en risico's van nanotechnologie voor Rijkswaterstaat

Erwin Roex
Hans Goossens
Arjen Markus

1207945-004

Titel

Kansen en risico's van nanotechnologie voor Rijkswaterstaat

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat t.a.v dhr. J. Hoskam	1207945-004	1207945-004-VEB-0001	63

Trefwoorden

Nanotechnologie, ontwikkeling, toepassingen, risico's

Samenvatting

De verwachting is dat het gebruik van nanotechnologie en nanomaterialen de komende tijd een hoge vlucht zal nemen in allerlei toepassingen die ook voor Rijkswaterstaat (RWS) van belang kunnen zijn. Dit toenemende gebruik kan tegelijkertijd leiden tot verhoogde blootstelling aan nanomaterialen en toenemende risico's voor mens en milieu. RWS heeft daarom Deltares gevraagd een verkenning uit te voeren naar de mogelijkheden en risico's van nanotechnologie en nanomaterialen, gezien vanuit het takenpakket van RWS. Na een initiële literatuurstudie betreffende de mogelijke toepassingen en risico's is vervolgens op internet gezocht naar de praktijktoepassingen van deze categorieën. Tenslotte is een aantal experts op het gebied van toepassingen en risico's van nanomaterialen geïnterviewd om het in de eerste fase ontstane beeld te toetsen.

Uit de wetenschappelijke literatuur blijkt dat *in theorie* veel toepassingsmogelijkheden van nanomaterialen zijn. Voor RWS zijn vooral de toepassingen in coatings en lakken, electronica en ICT, de auto-industrie, bouwnijverheid en energie en milieu interessant. De *praktijktoepassingen* zijn echter (nog) vrij beperkt, wat wordt onderstreept door een aantal van de geïnterviewde experts. Het lijkt dan ook dat de hierboven genoemde verwachtingen van enkele jaren geleden op een aantal toepassingsgebieden naar beneden moeten worden bijgesteld. Naast de hoge investeringskosten die gepaard gaan met innovaties, zetten de onzekerheden rondom de risico's van nanomaterialen en bijbehorende regelgeving een rem op een verdere ontwikkeling van toepassingen. Uit de deskstudie en de interviews blijkt verder dat het moeilijk is om een compleet overzicht van de toepassingen met nanomaterialen te krijgen. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door de lage graad van organisatie aan de kant van producenten van producten met nanomaterialen. In de nabije toekomst (<5 jaar) zijn vooral de toepassingen in coatings en in beton mogelijk interessant voor RWS in termen van duurzaamheid en besparing op onderhoud. Op de langere termijn zijn het vooral de vele mogelijkheden van sensortechnologie in onder andere de auto-industrie die van belang kunnen zijn voor RWS. RWS kan een nadrukkelijker rol vervullen in het stimuleren van toekomstige toepassingen via verschillende innovatieprogramma's.

De toepassingen van nanomaterialen in consumentenproducten en beton bepalen op dit moment grotendeels de risico's voor water. Emissies van autoverkeer leveren in de toekomst een mogelijk aanvullend risico voor RWS personeel op de weg. Dit additioneel risico valt onder de problematiek van ultra fijn stof, waarvoor op dit moment geen afdoende beleid bestaat. Experts in meerdere lidstaten, waaronder Nederland, zijn van mening dat de huidige Europese kaders voor risicobeoordeling niet voldoen en dat geharmoniseerde Europese wetgeving en daaruit volgende nationale implementatie waarschijnlijk nog lang op zich zal laten wachten. In afwachting daarvan geeft een groot aantal stakeholders, inclusief de Nederlandse overheid aan dat in voorkomende gevallen het voorzorgsprincipe zoveel mogelijk toegepast dient te worden. Gezien het belang dat RWS heeft bij de Interdepartementale Werkgroep Risico's Nanomaterialen (IWR-nano), wordt aanbevolen om aan te haken bij deze werkgroep.


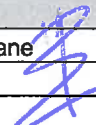
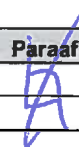
Titel

Kansen en risico's van nanotechnologie voor
Rijkswaterstaat

Opdrachtgever Rijkswaterstaat t.a.v dhr. J. Hoskam	Project 1207945-004	Kenmerk 1207945-004-VEB-0001	Pagina's 63
---	-------------------------------	--	-----------------------

Onderzoek op het gebied van risico's van nanomaterialen (zowel milieu als humaan) vindt op nationaal niveau voornamelijk plaats binnen het NanoNextNL programma, waarin alle belangrijke spelers in Nederland participeren. Aangezien RWS niet is aangehaakt bij dit programma, wordt aanbevolen om via een van de partners binnen NanoNextNL deze participatie te bewerkstelligen.

Het huidige belang van nanotechnologie en nanomaterialen voor RWS is nog vrij beperkt, maar zal in de nabije toekomst alleen maar toenemen, zowel aan de toepassingen als aan de risicokant. Het is daarom van belang om het volgen van ontwikkelingen op het gebied van nanotechnologie en nanomaterialen binnen RWS te borgen. Het instellen van een coördinator "kansen en risico's van nanomaterialen" binnen RWS zou hierbij een goede optie zijn.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	juni 2013	Erwin Roex		Remi Laane		Lucas Janssen	
		Arjen Markus					
		Hans Goossens					

Colofon:

Dit is een achtergrondrapport ten behoeve van een project in het kader van het programma Strategische Verkenningen van Rijkswaterstaat. Het rapport is bedoeld voor intern gebruik binen het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Contactpersonen RWS: Jan Hoskam en Jasper Snippe.

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.1 Aanleiding en probleemstelling	2
1.2 Definitie van nanomaterialen	3
1.3 Doelstelling van deze verkenning	5
1.4 Aanpak en leeswijzer	5
2 Toepassingsgebieden nanotechnologie	7
2.1 Coatings en lakken	9
2.2 Elektronica en ICT	11
2.3 Auto-industrie	12
2.4 Bouwnijverheid	15
2.5 Energie en milieu	19
2.5.1 <i>Verbeterde analysetechnieken</i>	19
2.5.2 <i>Energie</i>	19
2.5.3 <i>Remediatie en zuiveringstechnieken</i>	19
2.6 Gezondheid en verzorging	20
2.7 Voedsel en voedselproductie	21
2.8 Overzicht van toepassingen	22
3 Risico's van nanomaterialen	25
3.1 Het begrip risico	25
3.3 Emissies van toepassingscategorieën	30
3.8 Huidig beleid en regelgeving betreffende risicobeoordeling van nanomaterialen	36
3.9 Onzekerheden in risicobeoordeling	38
3.10 Voorzorgsprincipe	39
3.11 Conclusies risicobeoordeling	39
4 Politiek-bestuurlijke en maatschappelijke ontwikkelingen	41
4.1 Toepassing	41
4.2 Regulering	42
4.3 Risico's	43
4.4 Krachtenveldbeschrijving	44
4.4.1 <i>Elektronica</i>	44
4.4.2 <i>Auto-industrie</i>	45
4.4.3 <i>Beton</i>	45
4.4.4 <i>Coatings</i>	46
4.4.5 <i>Innovatie</i>	47
4.4.6 <i>Regulering</i>	48
4.4.7 <i>Risico's</i>	48
4.5 Conclusies en aanbevelingen	50
5 Conclusies en aanbevelingen	51
5.1 Conclusies	51
5.2 Aanbevelingen	52
6 Referenties	53

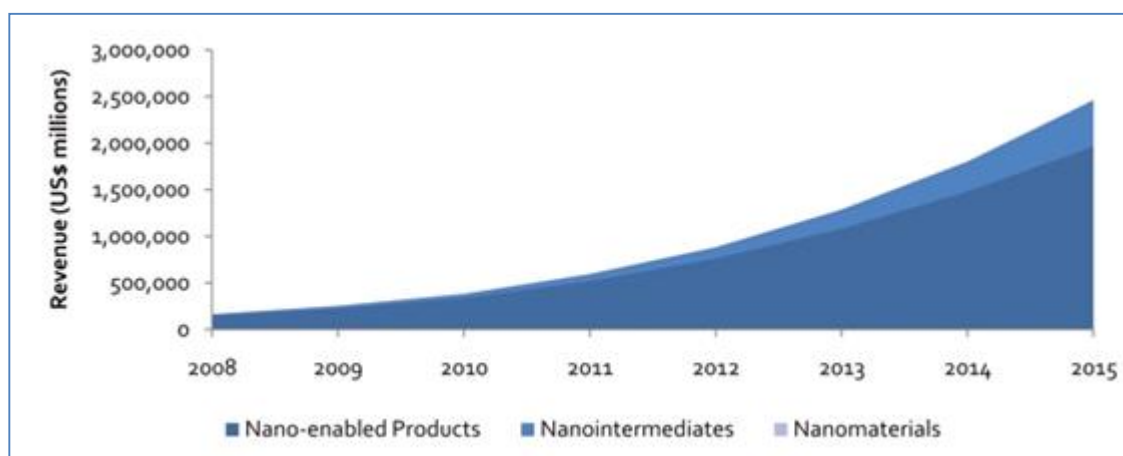
Bijlage(n)

A Samenstelling klankbordgroep	A-1
B Overzicht geraadpleegde personen	B-1
C Standaard vragenlijst experts	C-1

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Sinds een aantal jaar staan nanomaterialen nadrukkelijk in de belangstelling en dagelijks kunnen we in de media lezen over de mogelijke toepassingen van nanomaterialen (zie bijvoorbeeld een recent overzichtsartikel over toepassingen van nanotechnologie in zonnepanelen in de Volkskrant van 2 maart 2013¹). Kort gezegd zijn nanomaterialen gedefinieerd als deeltjes die in een van hun dimensies kleiner dan 100 nm (10^{-9} m) zijn. Deze afmetingen zorgen er voor dat deze deeltjes een aantal unieke eigenschappen hebben, zoals een hoge oppervlakte/inhoud ratio en een verhoogde geleidbaarheid. Deze unieke eigenschappen maken dat nanomaterialen in potentie een groot aantal toepassingsmogelijkheden hebben, zowel in consumentenproducten als in industriële toepassingen. Een marktverkenning uit 2009 laat zien dat de wereldwijde omzet van aan nanotechnologie gerelateerde producten de afgelopen jaren substantieel is toegenomen (Lux research, 2009). De verwachting in 2009 was dat de omzet in 2015 rond 2,5 miljard US dollars (ongeveer 2 miljard euro) zal bedragen, zie figuur 1.1. Overigens is dit bedrag 21% lager dan een eerder bedrag, dat dateert van voor het uitbreken van de economische crisis (Lux Research, 2009). Een rapport van de Europese Commissie over opkomende technologieën schat dat de directe werkgelegenheid op het gebied van nanotechnologie in de EU momenteel drie tot vierhonderdduizend arbeidsplaatsen bedraagt, en een stijgende lijn vertoont. Ook in dat rapport wordt een stevige groei van de nanosector van 16% per jaar verwacht (EC, 2011).



Figuur 1.1: Ontwikkeling van de omzet in de sector nanotechnologie in de komende jaren. (Lux Research, 2009).

Gezien de kansen die nanotechnologie en nanomaterialen bieden voor het bedrijfsleven heeft de Nederlandse overheid in haar actieplan Nanotechnologie in 2008 aangegeven wereldwijd een grote rol te willen spelen in deze opkomende technologie². Het kader op de volgende pagina geeft een globaal overzicht van de initiatieven die de Nederlandse overheid en een aantal andere partijen de afgelopen jaren hebben ontplooid.

¹ <http://www.volkskrant.nl/vk/nl/2844/Archief/archief/article/detail/3402543/2013/03/02/Zonninge-vooruitzichten.dhtml>

² <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2008/07/04/1-actieplan-nanotechnologie.html>

Nanotechnologie en de Rijksoverheid: een kort algemeen overzicht

Nederland heeft uitgesproken ambities als het om nanotechnologie gaat, welke zijn uitgesproken in het nationale Actieplan Nanotechnologie uit 2008 en in de daarop volgend nanobrief uit 2012³. Het streven van het kabinet is “om mee te komen in de wereldwijde ontwikkeling rondom nanotechnologie en een plaats te behouden in de mondiale kopgroep”. Mede hierdoor heeft het kabinet met behulp van zogenaamde FES-subsidie in 2009 het NanoNextNL-programma geïnitieerd, zie www.nanonextnl.nl voor een overzicht. NanoNextNL is een consortium van meer dan honderd bedrijven, universiteiten, kennisinstituten en universitaire medische centra dat zich richt op onderzoek op het gebied van micro- en nanotechnologie. Het onderzoek binnen NanoNextNL richt zich op tien thema's, met een focus op toepassingen in de (bio)medische wereld, voedselproductie en elektronica. Daarnaast wordt binnen NanoNextNL ook onderzoek verricht aan de mogelijke risico's van nanotechnologie. Deltares participeert in het thema Risico-analyse en technologie assessment (RATA), waarin onderzoek wordt gedaan aan de effecten van nanomaterialen, nieuwe meetmethodes en risicobeoordelingsmethodieken. Binnen de Rijksoverheid wordt voor nanotechnologie ook de aansluiting bij het topsectorenbeleid gezocht, hierbij ligt vooral de focus op de sectoren gezondheid, duurzaamheid, energie en voeding². Omdat de rijksoverheid wil dat de samenleving helder geïnformeerd wordt over de kansen en risico's van nanotechnologie en nanomaterialen heeft de rijksoverheid onder andere de Maatschappelijke Dialoog Nanotechnologie gestart. Deze is in 2011 afgerond, en het eindrapport daarvan is beschikbaar⁴. Daarnaast is enkele jaren geleden bij het RIVM het Kennis- en Informatiepunt Risico's van Nanotechnologie (KIR-NANO) opgericht, en wordt ook sterk ingezet op agendering van het thema risico bij de EU⁵. De Nederlandse Voedsel en Waren autoriteit (NVWA) geeft ook informatie over mogelijke risico's van nanotechnologie, vooral gericht op levensmiddelen en consumentenproducten⁶. Verder werkt TNO samen met Syntens en het RIVM aan een 'Nanonetwerk bedrijven' waarbij bedrijven onderling kennis kunnen uitwisselen over veilig werken en nanomaterialen⁷. Naast de rijksoverheid besteden allerlei maatschappelijk organisaties zoals het Rathenau Instituut, de Consumentenbond, de Stichting Proefdiervrij en FNV Bondgenoten aandacht aan de maatschappelijke en ethische gevolgen van nanotechnologie en nanomaterialen. Hierover later meer.

1.1 Aanleiding en probleemstelling

Gezien het toenemende belang van nanotechnologie en nanomaterialen in de maatschappij, heeft Rijkswaterstaat (RWS) opdracht gegeven aan Deltares om een QuickScan uit te voeren met betrekking tot de mogelijk kansen en risico's van nanotechnologie op het werkkterrein van RWS. Het toepassingsgebied van nanotechnologie en nanomaterialen overziend, zijn er op het eerste gezicht meerdere toepassingen die een rol kunnen spelen in het werkveld van RWS. Het kan hierbij gaan om zowel directe als indirecte toepassingen.

³<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/nanotechnologie/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2011/09/23/kamerbrief-nanotechnologie.html>

⁴<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/nanotechnologie/documenten-en-publicaties/rapporten/2011/02/08/eindrapport-commissie-maatschappelijke-dialoog-nanotechnologie.html>

⁵<https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-29338-110.html>

⁶<http://www.vwa.nl/onderwerpen/verontreinigingen/dossier/nanotechnologie>

⁷<http://www.nanocentre.nl/>

Bij de directe toepassingen kan gedacht worden aan het aanbrengen van nanocoatings op bijvoorbeeld verkeersborden of kunstwerken, waardoor deze borden een zelfreinigend vermogen krijgen, een langere levensduur krijgen en minder onderhoud behoeven. Ook kan gedacht worden aan het gebruik van effectievere zonnecellen met nanotechnologie bij matrixborden, waardoor deze minder energie vragen.

Bij de indirecte toepassingen kan gedacht worden aan de toevoeging van bijvoorbeeld nanocerium als katalysator aan diesel, het gebruik van nano-koolstof in autobanden, of het gebruik van nanotechnologie bij waterzuivering en bodemsanering. Deze specifieke toepassingen zullen verderop in dit rapport uitgebreider toegelicht worden.

Door de verwachte sterke toename van nanomaterialen in zowel productie als gebruik zullen de emissies naar de verschillende milieucompartimenten (bodem, (grond-)water en atmosfeer) in de verschillende levensfasen van de deeltjes (productie, gebruik, afval) ook toenemen (zie onder andere Mueller en Nowack, 2008; Kahru en Dubourguier, 2010; Aschberger e.a., 2011). Dit betekent dat naast de nieuwe kansen die nanotechnologie voor RWS biedt, in de toekomst ook risico's kunnen ontstaan. Hierbij kan er sprake zijn van risico's op verschillende vlakken: gezondheidsrisico's, veiligheid-, milieu-, politieke -bestuurlijke, aanleg, operationele, life cycle kosten, verwerkingsrisico's (zoals sloop en verwijderingskosten).

Zowel de kansen als risico's zijn nog met veel onzekerheden omgeven⁸. In deze verkenning worden zowel de kansen als de risico's van nanomaterialen en nanotechnologie voor RWS in kaart gebracht. De probleemstelling wordt hieronder verder uitgewerkt.

De staatssecretaris van Milieu, tevens verantwoordelijk bewindspersoon voor RWS, heeft in Brussel aangedrongen op versnelde regulering van milieurisico's van nano-toepassingen⁹. De Nederlandse overheid wil daarmee het veilig gebruik en productie van nanomaterialen onder de aandacht brengen. Daarnaast wil men ondernemers duidelijkheid kunnen bieden en technologische innovatie faciliteren. Daarnaast is het streven van het kabinet "om mee te komen in de wereldwijde ontwikkeling rondom nanotechnologie en een plaats te behouden in de mondiale kopgroep"². Aangezien RWS een verantwoordelijkheid heeft ten aanzien van de waterkwaliteit in Rijkswateren, kan in dat kader monitoring van nanodeeltjes in de toekomst een rol gaan spelen. Tegelijk kan RWS ook zelf een gebruiker van nanotechnologie zijn en heeft zelf baat bij deze doorgaande technologische ontwikkelingen. Het is daarom van belang dat RWS zich voorbereidt op deze ontwikkelingen en zowel de kansen als de risico's van nanotechnologie voor het eigen bedrijf goed in beeld krijgt.

1.2 Definitie van nanomaterialen

De begrippen nanotechnologie en nanomaterialen roepen nogal eens vragen op, omdat er geen eenduidige definities voor zijn. Een simpele definitie zou kunnen luiden: Nanomaterialen zijn deeltjes die in tenminste één dimensie kleiner zijn dan 100 nm. Het gaat dan om min of meer bolvormige deeltjes, maar ook plaatjes en staafjes of buisjes – allemaal vormen die in de nanotechnologie gebruikt worden. Helaas is die definitie niet sluitend, omdat hiermee geen onderscheid gemaakt kan worden tussen natuurlijke deeltjes met afmetingen op nanoschaal en bewust gefabriceerde deeltjes, maar vooral omdat hiermee voorbij wordt gegaan aan het feit dat binnen een materiaal/mengsel er altijd een bepaalde deeltjesgrootte verdeling is,

⁸ <http://www.rathenau.nl/web-specials/nanodialoog/waarom-belangrijk/onzekerheid-over-risicos.html>

⁹ <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/nanotechnologie/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2011/09/23/kamerbrief-nanotechnologie.html>

waarbij er altijd wel één klein deeltje in nanogrootte is.. Binnen de Europese Unie wordt dan ook gebruik gemaakt van de volgende uitgebreidere definitie (EC, 2012):

"Een natuurlijk, incidenteel of geproduceerd materiaal dat uit deeltjes bestaat, hetzij in ongebonden toestand of als een aggregaat of agglomeraat en waarvan minstens 50 % van de deeltjes in de gekwantificeerde grootteverdeling een of meer externe dimensies bezit binnen het bereik van 1 nm tot 100 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 %."

Deze definitie is in dit rapport integraal overgenomen. Meestal zal er sprake zijn van door de mens bewust gefabriceerde nanomaterialen, de zogeheten engineered nanoparticles (ENP). Dit type nanomateriaal kan bijvoorbeeld bestaan uit:

- Metaal (zilver, goud, ijzer, tin, nikkel) of metaaloxide (titaandioxide, zinkoxide, ceriumoxide), al dan niet voorzien van een coating,
- Koolstof, onder te verdelen in fullerenen of buckyballs, grafeen en Carbon NanoTubes (CNT). Fullerenen zijn geheel uit koolstof bestaande bolvormige moleculen, waar vaak allerlei functionele groepen op worden aangebracht zoals hydroxy-groepen of kleine organische moleculen. Grafeen bestaat uit een laag van koolstofatomen, en heeft sterke geleidende eigenschappen. De Europese Commissie noemt grafeen het 'plastic van de 21e eeuw'¹⁰. CNT's zijn grote buisvormige moleculen, met een enkelvoudige of meervoudige wand),
- Kleimineralen (silica, kaoliniet, etc.),
- Combinaties van metalen als cadmium en selenium, zogeheten quantumdots, waarmee zonnecellen en andere foto-elektrische toepassingen mogelijk zijn.

Er worden veel verschillende typen nanomaterialen gebruikt en bestudeerd. De toepassingen die men daarmee beoogt zijn divers. Voor een deel zijn die toepassingen nog in ontwikkeling, andere hebben de weg naar de consument en de industrie al gevonden.

Nanotechnologie en nanomaterialen

Nanotechnologie is de technologie die zich bezig houdt met het fabriceren of toepassen van materialen in de orde van grootte van nanometers. Nanotechnologie maakt het mogelijk om stoffen op moleculair niveau te hanteren en zo materialen nieuwe eigenschappen te geven. De deeltjes die door deze techniek tot stand komen, noemen we nanomaterialen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen het gebruik van nanomaterialen in toepassingen (nanotechnologie als product) en het gebruik van nanotechnologie in het productieproces (nanotechnologie als proces). Nanotechnologie is bij uitstek een "enabling" technologie. Dat wil zeggen dat nanotechnologie een fundamentele of basistechnologie is die daardoor ontwikkelingen op vele terreinen mogelijk maakt.

Naast bewust geproduceerde nanomaterialen zijn er ook natuurlijke nanomaterialen en proces-gegenereerde nanomaterialen. Een voorbeeld van de eerste categorie is vulkanisch stof, van de tweede categorie uitstoot van ultrafijnstof door (diesel)motoren en lasrook. Beide categorieën vallen niet binnen het domein van nanotechnologie, maar zijn wel van belang bij de risico's van nanomaterialen. Daarom worden ze in dit rapport wel besproken.

¹⁰ http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-54_nl.htm

1.3 Doelstelling van deze verkenning

Doel van deze verkenning is tweeledig:

- in kaart brengen van witte vlekken in de RWS-kennis met betrekking tot het huidig gebruik van nanotechnologie (binnen RWS), de groeiende toepassingsmogelijkheden en de kansen en risico's (voor RWS) en
- bijdragen aan de voorbereiding van de besluitvorming over positionering van RWS in het krachtenveld rondom nanotechnologie.

Onderzoeksvragen

In deze opdracht is een aantal onderzoeksvragen te onderscheiden:

1. Wat is de aard en omvang van ontwikkelingen op het gebied van nanotechnologie? Wat is de stand van de toepassing en de stand van de kennis over de effecten? En wat kan in de toekomst worden verwacht? Bij ontwikkelingen wordt onderscheid gemaakt in:
 - gebruik van nanotechnologie
 - technische ontwikkelingen
 - milieueffecten,
 - risico's voor gezondheid en veiligheid.
2. Van welke toepassingsmogelijkheden van nanotechnologie wordt momenteel binnen RWS (en door leveranciers van RWS) gebruik gemaakt?
3. Wat betekenen deze ontwikkelingen voor aanleg, beheer en onderhoud, en verkeersmanagement van de drie RWS-netwerken (rijkswegennetwerk, het rijksvaarwegennetwerk en het landelijke watersysteem)?
Wat zijn de kansen en risico's, als het gaat om:
 - Milieueffecten voor de leefomgeving (bodem-water-lucht)
 - Gezondheids- en veiligheidseffecten voor RWS-medewerkers en collega's
 - Toepassing van nieuwe materialen en technieken bij aanleg en onderhoud
4. Hoe ziet het krachtenveld rond het gebruik en de regulering van nanotechnologie er uit? Wat zijn belangrijke ontwikkelingen bij stakeholders op de markt, in de kenniswereld, bij maatschappelijke partijen en in de politiek-bestuurlijke wereld?
5. Hoe kan RWS zich het beste in dit veld opstellen, mede gezien de kansen en risico's en de positie van RWS?

1.4 Aanpak en leeswijzer

Voor beantwoording van vraag 1 is in eerste instantie een overzicht gemaakt van de belangrijkste ontwikkelingen op het gebied van toepassingen van nanotechnologie. Hiervoor zijn de volgende werkzaamheden verricht:

- a) In relevante recente rapporten zijn de belangrijkste potentiële nano-toepassingen geïdentificeerd. Deze rapporten geven een algemeen overzicht tot 2011.
- b) Dit overzicht van toepassingen is verder verdiept met gerichte zoekacties naar beschikbare wetenschappelijk literatuur op deze toepassingen.
- c) Vervolgens is via internet op een groot aantal zoektermen gezocht welke van deze nano-toepassingen commercieel verkrijgbaar zijn, en welke (nog) niet. De zoektermen die hierbij gebruikt zijn, waren resultaat van onderdeel a) en b).

- d) Tenslotte is een aantal verdiepende interviews afgenomen met een selectie van personen in het werkveld, om zo te komen tot een actueel beeld van de toepassingen voor nanotechnologie en nanomaterialen. Deze selectie van personen is tot stand gekomen na overleg met opdrachtgever, en is mede gebaseerd op input van de klankbordgroep, expertise aanwezig bij opdrachtgever en Deltares, en het hiervoor genoemde literatuuronderzoek.

Op basis van de verzamelde informatie (wetenschappelijke literatuur, internet, interviews) is een overzicht gegenereerd van de voor RWS belangrijkste toepassingsgebieden van nanotechnologie en nanomaterialen. Hierbij is per toepassing aangegeven wat de huidige stand van zaken is en wat de mogelijkheden op korte termijn (<5 jaar) en op de middellange termijn (5-10 jaar) zijn. Zowel het algemene als het op RWS toegespitste overzicht wordt beschreven in hoofdstuk 2.

Voor beantwoording van vraag 3 is eveneens eerst in de meest recente literatuur gezocht naar informatie over de mogelijk risico's voor mens en milieu. Naar aanleiding van deze informatie is met een aantal personen een interview afgenomen. De tabel met geïnterviewde personen is weergegeven in de bijlagen.

Een overzicht van de stand van zaken met betrekking tot risico's van nanotechnologie en nanomaterialen is weergegeven in hoofdstuk 3.

In hoofdstuk 4 wordt een overzicht gegeven van het krachtenveld rondom nanotechnologie, gebaseerd op de onderzochte literatuur en de interviews met de geselecteerde experts. Tenslotte worden in hoofdstuk 5 een aantal conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

2 Toepassingsgebieden nanotechnologie

De totale hoeveelheid nanomaterialen op de wereldmarkt wordt geschat op ongeveer 11 miljoen ton (EC, 2012). Er is een aantal typen nanomaterialen die veel gebruikt wordt, andere typen zijn vrij exotisch. Roet vormt op dit moment ongeveer 85% van het totaal aantal ton aan nanomaterialen, siliciumdioxide vormt nog eens 12% (EC, 2012). De materialen die op dit moment de meeste aandacht trekken zijn nanotitaandioxide, nanozinkoxide, fullerenen, koolstofnanobuizen en nanozilver. Volgens de literatuur (bijvoorbeeld van Wijnhoven e.a., 2010; Lorenz e.a., 2011) en internetsurveys (Woodrow Wilson Institute, 2012) blijken nanomaterialen vooral gebruikt te worden in cosmetica en verzorgingsproducten, maar ook in coatings, verven en in textiel. Tabel 2.1 geeft een globaal overzicht op basis van het type nanomaterialen en de typische toepassingen die daarbij horen.

Tabel 2.1: Overzicht van typische toepassingen van nanomaterialen

Type nanomateriaal	Toepassingen	Opmerkingen	Geschatte productie in ton/jr.
Zilver	Textiel, coatings, deodorant,	antibacteriële werking blijft langer fris	2.8-20 ¹¹ 500 ¹²
Titaandioxide	Zonnecrème Coatings Tandpasta	UV-filter, door kleine afmetingen transparant Remt algengroei Witte kleurstof (dan grotere deeltjes)	7800-38.000 ⁷ 60.000 ⁸
Zinkoxide	Zonnecrème, coatings	Als titaandioxide	10.000 ⁸
Ceriumdioxide	Brandstof	Katalysator	35-700 ⁷
Carbon Nano Tubes (CNT)	Sportartikelen, Bouwmateriaal, Autobanden	Versteviging van het materiaal	55-1101 ⁷ 500 ⁸
Hydrofoob materiaal ¹³	"Zelfreinigende" oppervlakken	Door hydrofobe karakter van coating krijgt vuil geen kans om te hechten (Lotuseffect).	Enkele 100.000 ton ¹⁴
IJzer	Reinigen van vervuilde grond	IJzer is in staat om allerlei organische verbindingen te reduceren.	?
Black Carbon (roet)	Toevoeging aan autobanden	Versteviging	Enkele miljoen ton ¹⁰
Fullerenen (C ₆₀)	Drager voor medicijnen, pesticiden	Op dit moment vooral experimenteel	2-80 ⁷ 40 ⁸
Grafeen	Electronica, detectie van stoffen, DNA	Op dit moment vooral experimenteel	?

¹¹ Ogilvie-Hendersen e.a.(2011)

¹² Aschberger e.a. (2011)

¹³ Er zijn veel bedrijven die producten met het zogeheten Lotuseffect op de markt brengen, maar er is geen informatie over welke materialen precies gebruikt worden. Vandaar dat we het aanduiden met de functionele eigenschap.

¹⁴ EC (2012)

In de laatste kolom is te zien wat de geschatte wereldproductie per jaar in 2011 was. De productievolumes gaan met veel onzekerheden gepaard, exacte cijfers zijn moeilijk te achterhalen. Deze cijfers kunnen bovendien misleidend zijn, aangezien het productievolume vrij laag kan zijn, maar de hoeveelheid deeltjes per kubieke centimeter erg hoog. Dit heeft vooral invloed op de risico's van deze deeltjes (zie hoofdstuk 3).

De mechanismen waarop deze toepassingen gebaseerd zijn, lopen sterk uiteen:

- De antibacteriële werking van zilver is al eeuwen bekend, het precieze toxische mechanisme is dat echter niet. Vermoedelijk spelen zilverionen een rol en niet zilver zelf. Voor eventuele milieueffecten is dit wel van belang.
- Zowel titaandioxide (TiO₂) als zinkoxide (ZnO) ontleen hun katalytische werking aan de productie van zuurstofradicalen (reactive oxygen species) onder invloed van UV-straling.
- Als de deeltjes TiO₂ en ZnO klein genoeg zijn, dan zijn ze transparant voor zichtbaar licht, maar ondoorzichtig voor UV-straling. Dit maakt ze aantrekkelijk als UV-filter in zonnecrèmes.
- Carbon nanotubes worden ingebed in de kunststoffen voor allerlei producten zoals de ruimtevaart en tennisrackets (Ajayan & Zhou, 2001), waarin ze zorgen voor extra dwarsverbindingen. Daardoor wordt het materiaal beter bestand tegen afschuiving. In de wetenschappelijke literatuur worden ook toepassingen in beton genoemd (Konsta-Gdoutosa e.a., 2010; Abu Al-Rub e.a., 2012), maar opschaling van deze toepassing heeft nog niet plaatsgevonden. Ook zijn deze buisjes zeer sterk en elastisch, waardoor ook de treksterkte vergroot wordt. Zo is er minder materiaal nodig om dezelfde sterkte te bereiken (Ajayan & Zhou, 2001).
- Het Lotuseffect berust enerzijds op een sterk hydrofoob oppervlak (grote contacthoek), waardoor druppels maar een klein raakvlak hebben met het onderliggende oppervlak, en anderzijds op de microscopische structuur van dat onderliggende oppervlak. De druppels of het vuil ligt dan boven op die kleine structuren en daardoor rollen ze er gemakkelijk vanaf.
- Een gemeenschappelijke eigenschap van alle soorten nanomaterialen is dat de specifieke oppervlakte relatief groot is. Dat maakt dat chemische reacties sneller verlopen, iets dat vooral van belang is als de nanomaterialen gebruikt worden als katalysator.

Een andere indeling die gebruikt kan worden is de fysieke vorm waarin nanomaterialen uiteindelijk toegepast worden. Deze vorm zal invloed hebben op de uiteindelijke emissies naar mens en milieu toe. De fysieke vormen van nanomaterialen zijn onder te verdelen in de volgende categorieën (Foss Hanssen e.a., 2007):

1. Bulkmetaal met een nano-structuur;
2. Oppervlak met een nano-structuur;
3. Nanomaterialen opgelost in een vaste fase;
4. Aan oppervlakken gebonden nanomaterialen;
5. Naar lucht emitterende nanomaterialen;
6. Nanomaterialen op gelost in een vloeistof.

Uit bovenstaande blijkt dat nanomaterialen op verschillende wijzen ingedeeld kunnen worden (type nanomaterialen, voorkomen, toepassing). Omdat de focus in dit rapport ligt op de toepassingsvormen van nanomaterialen, zullen in de rest van dit hoofdstuk de belangrijkste toepassingsgebieden categorisch behandeld worden. Deze zijn als volgt ingedeeld:

- 1) Coatings en lakken;
- 2) Elektronica en ICT;
- 3) Auto industrie;

- 4) Bouwnijverheid;
- 5) Gezondheid en verzorging;
- 6) Energie en milieu;
- 7) Voedsel en voedselproductie.

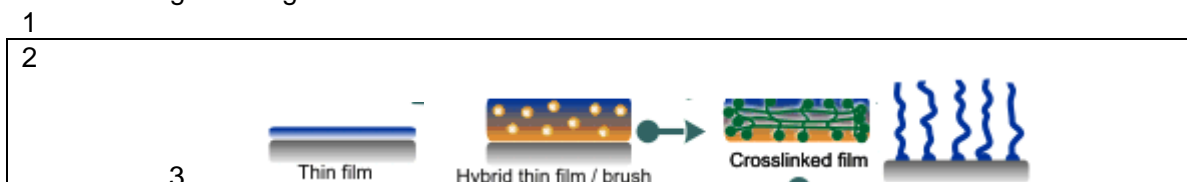
Logischerwijs zit er overlap in sommige van deze categorieën; zo worden producten uit de eerste categorie (coatings en lakken) ook gebruikt in de bouwnijverheid en de auto-industrie. Niet alle toepassingen zijn even relevant voor het werkgebied van RWS. Een nadere analyse van de toepassingsgebieden, aangevuld met informatie van de opdrachtgever en leden van de klankbordgroep geeft aan dat de categorie 1, 2, 3, 4 en 6 de belangrijkste categorieën voor RWS zijn, deze zullen in onderstaande paragrafen verder behandeld worden. Bij iedere categorie zal ook aangegeven worden in hoeverre nanomaterialen al worden toegepast en wat de toekomstverwachtingen zijn. De categorieën 5 en 7 bevatten geen toepassingen die kansen bieden voor RWS. Wel leveren toepassingen uit deze 2 categorieën potentiële risico's op voor de taakvelden van RWS, vandaar dat ze hier ook behandeld worden.

2.1 Coatings en lakken

Op dit moment worden nanomaterialen al op relatief grote schaal toegepast in coatings, lakken en verven. In een telefonische enquête in 2011 van de brancheorganisatie van de verf- en drukinktindustrie (VVVF) gaf 29% van de respondenten aan nanomaterialen in hun producten te gebruiken (Pronk e.a., 2011).

In principe zijn de nanocoatings onder te verdelen in 3 verschillende types, zie ook figuur 2.1:

- 1 Coatings met een dikte van <100 nm, zogenaamde nanolayers of thin films;
- 2 Coatings die daadwerkelijk nanomaterialen bevatten. Deze nanodeeltjes gaan verbindingen met elkaar aan, waardoor versterkte netwerken ontstaan;
- 3 Coatings die zogenaamde nano-structuren bevatten.



Figuur 2.1: Drie belangrijkste types nanocoatings, met van links naar rechts nanolayers, coatings met nanodeeltjes en coatings met nanostructuren (bron: University of Clarkson¹⁵).

De voordelen van toepassing van nanomaterialen in coatings zijn meervoudig. De belangrijkste worden hieronder genoemd:

- het optreden van het al eerder genoemde “Lotus-effect” (zie tabel 2.1), waardoor objecten minder snel vuil worden en dus ook minder vaak schoongemaakt hoeven worden. De meeste middelen met dit effect zijn gebaseerd op siliciumdioxide (SiO₂). Het betreft hierbij voornamelijk nanolayers van type 1. Hiervan zijn al verschillende middelen commercieel verkrijgbaar, veelal toegepast in de auto-industrie, bijvoorbeeld op autoruiten¹⁶, maar ook op lak van auto's¹⁷ of andere objecten¹⁸. Ook het impregneren van verkeersborden met een dergelijke coating wordt als mogelijke toepassing genoemd¹⁹, wat een interessante optie voor RWS in de toekomst zou kunnen zijn.

¹⁵ <http://people.clarkson.edu/~sminko/?nanostructured/responsive-smart-materials/stimuli-responsive-nanostructures.html>

¹⁶ <http://nl.percenta.com/nanotechnologie-coating-voor-autoruiten.php>

¹⁷ <http://www.nanoservices.nl/index.php?p=diensten&m=3>

¹⁸ <http://www.nanotech-solutions.nl/nanoglass-coatings.html>

¹⁹ <http://www.nanohouse.nl/nl/kansen>

- Een toepassing die op het moment erg in de belangstelling staat is, en in de toekomst ook mogelijk interessant voor RWS zou kunnen zijn is het aanbrengen van een anti-reflectie-coating op zonnepanelen, zoals de door DSM geproduceerde coating Khepricoat®²⁰. Door het opbrengen van deze coating op glas van zonnecellen wordt 4% meer opbrengst gegenereerd, wat in deze branche een grote rendementsverhoging is. Belangrijke spelers op deze markt zijn naast DSM Honeywell en 3M. De verwachting van DSM is dat in 2015 100% van de zonnecellen, die dan worden geproduceerd uitgerust is met een dergelijke nanocoating (persoonlijke mededeling medewerker van DSM). Ook hier betreft het nanolayers van type 1.
- Een betere krasbestendigheid op voornamelijk metalen objecten, waardoor deze minder snel slijten, en waardoor ook de mechanische eigenschappen van een constructie verbeterd worden. Zo gebruikt Mercedes Benz al sinds 2003 nanocoatings voor een gedeelte van zijn modellen²¹. Dit zijn coatings die daadwerkelijk nanomaterialen bevatten. Deze optie is in de toekomst zeer interessant voor allerlei toepassingen van RWS (kunstwerken, vangrails e.d.)
- Het creëren van een zelfreinigend en desinfecterend vermogen van oppervlakten, waardoor ze ook minder snel vuil worden en zelfs hun omgeving helpen schoner te maken. Hierbij wordt in de meeste gevallen gebruik gemaakt van coatings waarin nanotitaniumdioxide (TiO₂) is verwerkt, dit zijn dus coatings van type 2. TiO₂ fungeert hierbij als katalysator. Het kan hierbij gaan om oppervlaktes van hele auto's, het interieur van vliegtuigen, maar ook om wanden in bijvoorbeeld ziekenhuizen of voederproductieruimtes²². De verhoogde effectiviteit van deze middelen ten opzichte van conventionele middelen is volgens het RIVM nog niet aangetoond²³.
- Nanocoatings van het derde type hebben vooral als toepassing in de maritieme sector als anti-fouling de potentie enorme voordelen op te leveren voor het milieu en de scheepvaart zelf. Het reduceren van brandstofkosten door weerstand verlagende nanomaterialen in coatings en nanomaterialen die erosie op een milieuvriendelijke manier tegengaan zijn twee voorbeelden van huidig onderzoek. In beide gevallen heeft gecombineerd academisch en industrieel onderzoek de werking ervan aangetoond. Voor de toekomst worden dan ook door een expert-panel op grote schaal toepassingen verwacht²⁴. Ook als anti-fouling op boeien en sluizen kunnen dit soort nanostructuren toegepast worden.
Ondanks de hoge verwachtingen van nanotechnologie binnen maritieme coatings geven industriële marktleaders aan dat er nog te weinig kennis is van de structurele- en oppervlakte-eigenschappen van nanomaterialen. Daarbij zien zij de impact van eventuele, nu nog onbekende nadelige eigenschappen van nanocoatings op lange termijn als mogelijk grootste barrière voor verdere ontwikkeling²³. Ook is er nog weinig bekend over de robuustheid en duurzaamheid van dergelijke toepassingen (persoonlijke mededeling medewerker van Tata Steel).

Conclusies

Ondanks de vele theoretische mogelijkheden tot toepassing voor nanocoatings, blijkt dat ze in de praktijk nog weinig worden toegepast, enkele uitzonderingen zoals de toepassing op zonnepanelen en in de auto-industrie daargelaten. In de recente marktverkenning van TNO

²⁰ http://www.dsm.com/en_US/cworld/public/markets-products/pages/khepricoat.jsp

²¹ <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=264>

²² <http://www.nanoservices.nl/>

²³ http://www.nanoservices.nl/include/Antibacteriele_nano_RIVM_-_KIRnano.pdf

²⁴ <http://www.agentschapnl.nl/onderwerp/maritieme-coatings-ontwikkelingen-en-toepassingen-op-nanoschaal-vs>

wordt aangegeven dat de bedrijven die in de Nederlandse coating-industrie met nanomaterialen werken, dit slechts op incidentele basis doen (Pronk e.a., 2011).

Belangrijkste belemmeringen voor verdere innovaties en applicaties zijn naast de huidige economische crisis, het opschalen van applicaties (“van lab naar praktijk”) en de daarmee gepaard gaande kosten. Verder dienen klanten zelf aan te geven wat voor hen de meerwaarde is van deze applicaties. Op dit moment zijn klanten daar niet van overtuigd, mede gezien de vele onzekerheden rond de risico’s van nanomaterialen (zie ook hoofdstuk 3). De verwachting is dat wel dat op korte termijn (<5 jaar) de eerste interessante toepassingen voor RWS op de markt zullen komen (persoonlijke mededeling medewerker van Tata Steel).

2.2 Elektronica en ICT

De mogelijkheden die nanotechnologie biedt om steeds kleinere structuren te manipuleren worden gezien als een kans voor het vergroten van de capaciteit van de huidige elektronische circuits²⁵. Maar ook nieuwe toepassingen worden verwacht. De belangrijkste ontwikkelingen zijn:

- 1 Transistors op basis van individuele nanotubes maken een verdere miniaturisering mogelijk, terwijl het energieverbruik vele malen kleiner is dan met conventionele materialen. Dit is bij het ontwerpen en vervaardigen van steeds fijnere elektronische circuits een groot probleem. Nanotubes kunnen zo vervaardigd worden dat ze de eigenschappen hebben van een halfgeleider (voor toepassing in transistors) maar ook van geleider, waarbij de weerstand bovendien extreem laag is. Mogelijk interessante toekomstige toepassingen voor RWS zijn het gebruik als high efficiency sensortechnieken in de auto-industrie²⁶ in zogenaamd in-car systemen. Daarnaast kunnen deze kleinere effectieve sensoren ook een rol gaan spelen in verkeersmanagement.
- 2 Een verwante ontwikkeling is de vervaardiging van transistors van grafeen. Dit is een materiaal dat bestaat uit laagjes koolstof van één atoom dik. Een van de interessante mogelijkheden die dit materiaal biedt is dat het kan werken met een zeer hoge frequentie, veel hoger dan de huidige standaardmaterialen, gemaakt van silicium, zoals onderzoek bij IBM heeft getoond²⁷.
- 3 Ontwikkeling van beeldschermen op basis van quantumdots. Dergelijke beeldschermen vergen minder energie, zijn zeer dun en bovendien is de kleur nauwkeurig te regelen²⁸. Een aanverwante ontwikkeling betreft het maken van flexibele displays met nanowires die functioneren als LEDs, gemaakt van organisch materiaal, zogenaamde OLEDs. Toepassingen van dergelijke “active matrix” displays betreffen onder andere “heads-up” displays in autoruiten²⁹.
- 4 Met magnetische quantumdots is het mogelijk computergeheugen te creëren dat veel compacter is dan de huidige technieken toelaten en dat minder energie gebruikt. Bij deze nieuwe techniek wordt zowel de lading als de spin van de elektronen gebruikt om data op te slaan. De naam die hieraan gegeven is spintronics³⁰. Het is de verwachting dat deze techniek vooral in de auto-industrie een belangrijke rol gaat spelen (zie ook paragraaf 2.3).

²⁵ <http://www.understandingnano.com/nanotechnology-electronics.html>

²⁶ <http://www.nano.gov/you/nanotechnology-benefits>

²⁷ <http://www.understandingnano.com/nanoelectronics-graphene-transistor.html>

²⁸ <http://www.qdvision.com/qled-technology>

²⁹ <http://www.understandingnano.com/nanoelectronics-nanowire-flat-panel-display.html>

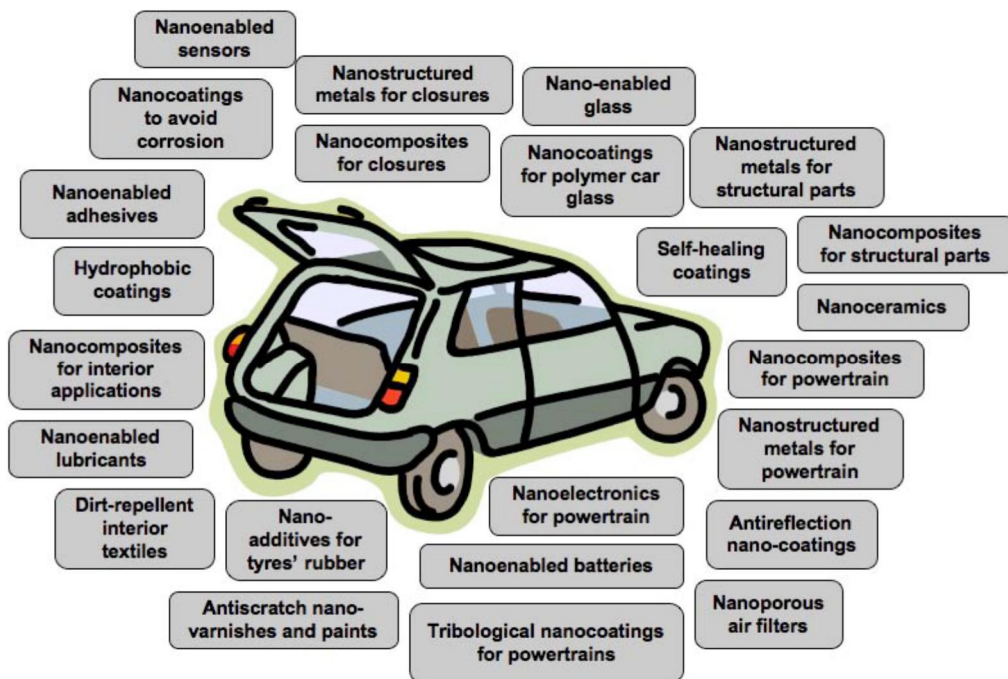
³⁰ <http://www.nature.com/nmat/journal/vaop/ncurrent/abs/nmat2716.html>

Conclusies

Uit zowel het literatuuronderzoek als de verdiepende interviews blijkt dat veel toepassingen op het gebied van elektronica nog in de kinderschoenen staan of vooral onderwerp zijn van onderzoek. Deze bevindingen worden ondersteund door de bevindingen in de marktverkenning uitgevoerd door TNO (Pronk e.a., 2011). Verder blijkt dat de term nano in deze branche tot verwarring leidt. Vaak gaat het niet om nanomaterialen, maar om fysische processen op nanoschaal (Pronk e.a., 2011). Het is op dit moment niet te verwachten dat op korte of zelfs lange termijn (>10 jaar) hiervoor belangrijke toepassingen voor RWS uit voort komen.

2.3 Auto-industrie

Een sterk groeiende markt voor het gebruik van nanomaterialen is de auto industrie. De verwachting is dat in 2015 in 70% van de auto toepassingen nanotechnologie wordt toegepast (Observatorynano, 2009). Figuur 2.2 geeft een overzicht van deze verschillende toepassingsmogelijkheden voor nanomaterialen in deze industrietak.



Figuur 2.2: Toepassingsmogelijkheden voor nanotechnologie in de auto industrie (Observatorynano, 2009).

De belangrijkste toepassingen worden hieronder toegelicht.

1. In de carrosserie. Nanometalen of nanocomposieten maken het mogelijk om minder grondstoffen te gebruiken of zelfs te vervangen, omdat met minder of ander materiaal dezelfde stevigheid wordt bereikt. Dit kan uiteindelijk zorgen voor lichtere auto's, met als gevolg minder gebruik van brandstoffen en minder uitstoot van CO₂ gassen. Daarnaast hebben deze materialen betere anticorrosieve en betere magnetische eigenschappen.
2. In motoronderdelen voor een efficiëntere transmissie door gebruik van nanoelektronica en batterijen met nanotechnologie.
3. In coatings en verven (zie § 2.1)

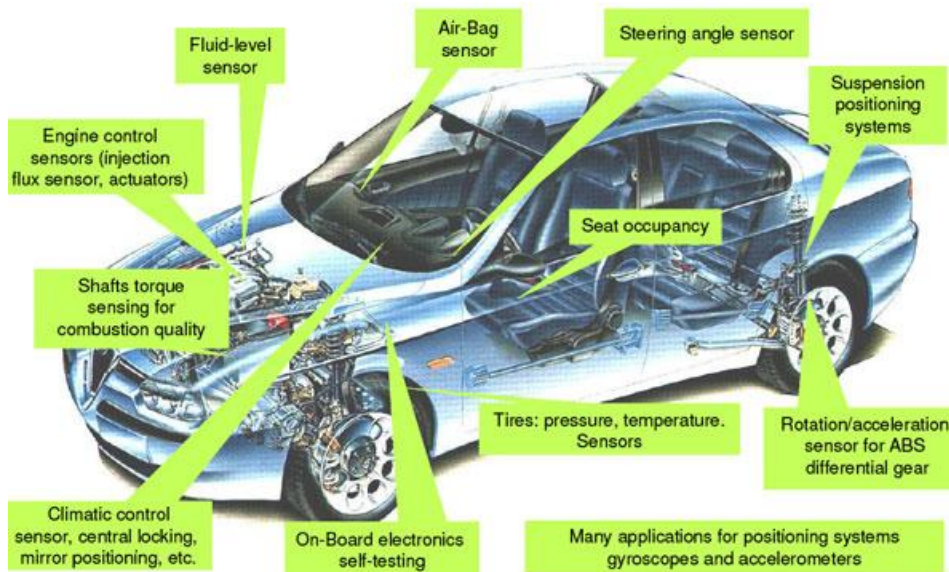
4. In transmissie- en remsystemen, waardoor er minder slijtage aan transmissiesystemen optreedt, en de levensduur van bijvoorbeeld koppelingsplaten wordt verlengd³¹.
5. Als toevoeging in banden. Nanosilica en black carbon worden al veelvuldig als vulmiddel toegevoegd aan rubber voor autobanden. De mogelijkheden van Carbon Nanotubes (CNT) als vulmiddel worden onderzocht. Hierdoor nemen de grip, de levensduur en de prestaties van de autobanden toe. Uit de recente marktverkenning van TNO (Pronk e.a., 2011) blijkt dat in Nederland al 100% van de producenten van automaterialen op de een of andere manier al gebruik maakt van nanomaterialen.
6. Toepassing van vuilwerende (Lotus-effect), anti-mist (Park e.a., 2012) en zelfreinigende (TiO₂) coatings in autoruiten, zie ook § 2.1. Verder maakt nanotechnologie het ook mogelijk om het minerale glas in autoruiten te vervangen door polycarbonaatglas. Dit zou het gewicht van auto's met maximaal 20 kg kunnen verminderen.
7. Als smeermiddel.
8. Als toevoeging aan brandstof. In het Verenigd Koninkrijk zijn een aantal jaar geleden de eerste experimenten gedaan met het toevoegen van nano-ceriumoxide als katalysator aan diesel. Verder wetenschappelijk onderzoek heeft aangetoond dat het toevoegen van nano-ceriumoxide als katalysator aan diesel de verbrandingsefficiëntie daadwerkelijk vergroot (Arul Mozhi e.a., 2009), en tevens de hoeveelheid roet met 15% kan verkleinen. Onder de naam EnviroX™ wordt nano-ceriumoxide ondertussen in een aantal landen verkocht³². In Nederland wordt deze toevoeging nog niet in de praktijk toegepast.
9. Als veelbelovende toekomstige toepassingscategorie wordt daarnaast de al eerder genoemde *spintronics* techniek genoemd. Deze zal vooral zijn toepassingen hebben in allerlei sensortechnieken. Een overzicht van de mogelijkheden voor deze techniek wordt gegeven in figuur 2.3.

Daarnaast is er nog een aantal aan de auto-industrie aanleverende industrieën die ook gebruik maken van nanotechnologie, namelijk voor snijgereedschappen, mallen en kleurstoffen.

Op dit moment zijn de toepassing in coatings en als toevoeging aan autobanden de belangrijkste toepassingen in de auto industrie. Het is de verwachting dat de toepassingen in de nabije toekomst verder zullen toenemen. Figuur 2.4 geeft een overzicht van de toekomstige toepassingen in de auto industrie.

³¹ www.putoline.com/download/productblad/PG.20.07-NL.pdf

³² <http://www.energenics.co.uk/about-energenics/about-us/>



Figuur 2.3: Mogelijkheden van spintronics toepassingen in auto industrie (Centro Ricerche Fiat, www.crf.it)

Applications of nanotechnologies in automobiles

■ Existing applications ■ Possible future applications

Application	Functionalities	Car body shell exterior	Car body	Interior	Chassis and tyres	Electrics and electronics	Engine and drive train
Effect							
Mechanical functionalities	Hardness, friction, tribological properties, breaking resistance	Nano varnish Polymer glazing	Nanosteel		Carbon black in tyres Nanosteel		Low-friction aggregate components
Geometric effects	Large surface-to-volume ratio, Poresize		Gecko effect	Nano filter Gecko effect		Super caps Fuel cell	
Electronic/magnetic functionalities	Size dependent electric and magnetic properties		Gluing on command		Switchable materials (rheology)	GMR sensors Solar cells	Piezo injectors
Optical functionalities	Colour, fluorescence, transparency	Ultra-thin layers Electrochromatic layers		Anti-glare coatings			
Chemical functionalities	Reactivity, selectivity, surface properties	Care and sealing systems	Forming of high strength steel Corrosion protection	Dirt protection Fragrance in the cabin			Catalysts Fuel additives

[Icon: © RESOLUT DESIGN]

Figuur 2.4: Toekomstige (lichtgeel) en huidige (donkergeel) toepassingen in de auto industrie (Hessisch ministerie van economie, transport en urbane en regionale ontwikkeling).

Conclusies

Dit toepassingsgebied bevat nauwelijks tot geen directe kansen voor RWS. Deze categorie zal voornamelijk indirecte gevolgen hebben in termen van toenemende emissies van nanomaterialen, waarbij vooral de emissies van uitlaatgassen, slijtage van banden en remmen zijn te verwachten. Deze risico's worden verder in hoofdstuk 3 behandeld.

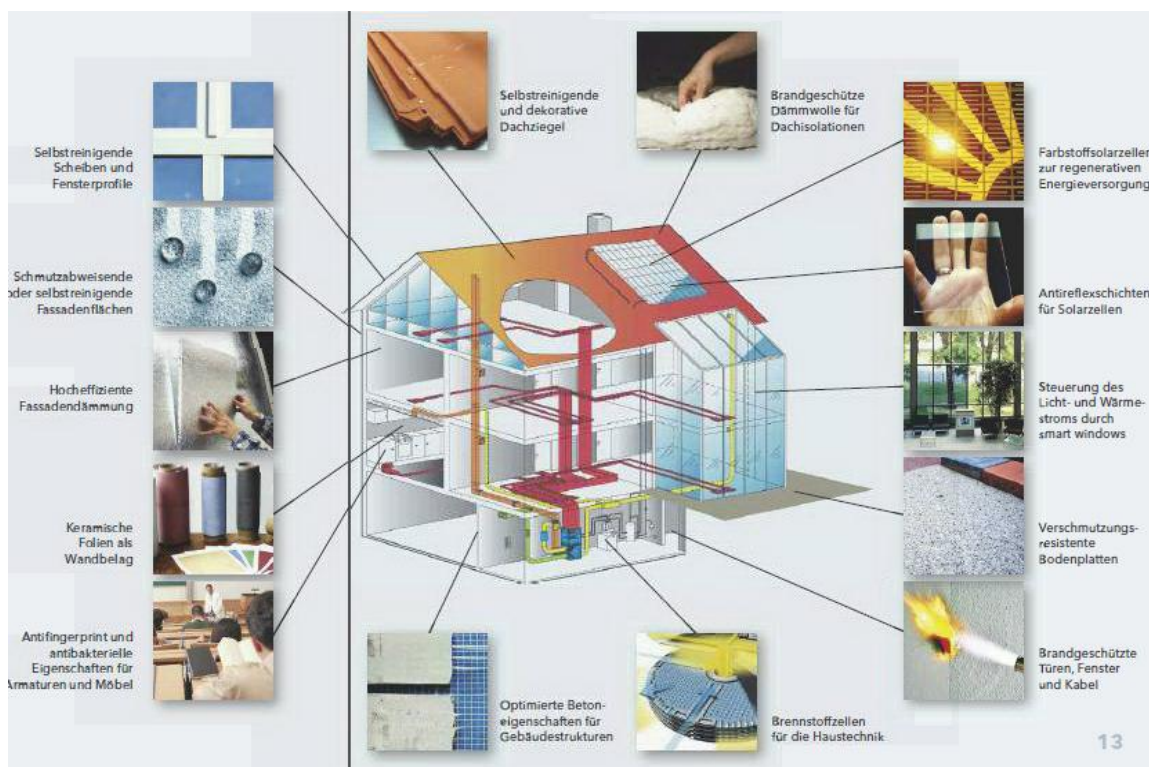
2.4 Bouwnijverheid

Tabel 2.2 geeft een overzicht van de verschillende toepassingen van nanomaterialen in de bouwnijverheid, gebaseerd op een overzicht van Broekhuizen e.a. (2011) en Lee e.a. (2009).

Tabel 2.2: Toepassingen van nanomaterialen in de bouwnijverheid (van Broekhuizen e.a., 2011; Lee e.a., 2009).

Constructiemateriaal	Type nanodeeltje	Toepassing	Type werking
Beton	TiO ₂	Oppervlaktebehandeling	zelfreinigend vermogen
	SiO ₂ (silica fume)	Gemengd in matrix	Opvulmiddel voor sterker maken beton
Staal	Koper nanomaterialen	Niet bekend	Tegengaan van corrosie
Isolatiemateriaal	SiO ₂	aerogel	Verbeterde isolatie-eigenschappen
Coatings	TiO ₂ , ZnO, SiO ₂	Toevoeging aan coating	
	TiO ₂ , ZnO, Ag	Toevoeging aan coating	Anti-bacterieel
	SiO ₂ , Al ₂ O ₃	Toevoeging aan coating	Vergroot krasbestendigheid
	Koolstof fluorine polymeren	Toevoeging aan coating	Schoonmaken oppervlaktes
	TiO ₂ , SiO ₂ , nanoklei	Toevoeging aan coating	Brandvertrager
	TiO ₂ , ZnO, CeO ₂	Toevoeging aan coating	UV-bescherming van hout
	nanoklei	Toevoeging aan coating	Ontkleuring van hout door tannine
Glas	Tungsten oxides	Oppervlakte coating	Infrarood reflectie
	Metal oxides	Oppervlakte coating	Vergroot vuurbestendigheid
	SiO ₂	Silicagel laag tussen 2 glaspanelen	Vergroot vuurbestendigheid
	Ag, SiO ₂ , koolstof fluorine polymeren	Oppervlaktecoating	Schoonmaken oppervlaktes
	TiO ₂	Oppervlaktecoating	Fotokatalytisch zelfreinigend vermogen
	Zonnecellen	TiO ₂ , C ₆₀ , CNT	
Beton	CNT, polypropyleen nanofiber	Menging in matrix	Sterkte, brandweerbaarheid
Infrastructuur	TiO ₂	Oppervlaktecoating	Zelfreinigend vermogen

Figuur 2.5 geeft een schematisch overzicht van de mogelijke toepassingen van nanomaterialen in huizen. Uit het overzicht blijkt dat het gebruik van nanomaterialen in de bouwnijverheid wordt gedomineerd door een beperkt aantal type nanomaterialen, voornamelijk SiO₂ en TiO₂. Ondanks het intensieve onderzoek en de veronderstelde hoge potentie van Carbon NanoTubes (CNT) en nanofibers voor de bouwnijverheid (zie o.a. Sanchez & Sobolev, 2010), worden deze materialen nog nauwelijks in de praktijk gebruikt (Pronk e.a., 2011).



Figuur 2.5: Schematisch overzicht van een typisch huis, met daarin aangegeven waar nanomaterialen gebruikt kunnen worden (bron: Hessisch ministerie van economie, transport en urbane en regionale ontwikkeling).

Uit een recente Europese marktverkenning (Van Broekhuizen & Van Broekhuizen, 2009) blijkt dat nanomaterialen in de bouwnijverheid het meest gebruikt worden als additief in coatings. Deze toepassing bestrijkt twee derde van de nano-markt in deze bedrijfstak. Zo zijn er coatings met een antibacteriële werking³³ en UV en IR absorberende coatings op de markt³⁴. Uit deze marktverkenning blijkt ook dat TiO₂ als coating al veel gebruikt wordt, maar dat het meestal TiO₂ deeltjes betreft die groter zijn dan 100 nm en dat het daadwerkelijk gebruik van TiO₂ nanomaterialen nog beperkt is tot het duurdere segment van beton.

Het gebruik van TiO₂ wordt vanwege zijn fotokatalytische eigenschappen, naast zelfreinigend vermogen voor beton, ook gepropageerd om zijn vermogen om de omgeving te zuiveren, met de nadruk op het wegvangen van luchtverontreinigingen als NO_x. Om deze reden wordt het ook al toegepast op verschillende gebouwen en straten. Het bekendste voorbeeld hiervan is de Jubilee kerk in Rome³⁵, zie figuur 2.6, maar ook bijvoorbeeld in straten in Malmö³⁶.

³³ www.bioni.de

³⁴ www.byk.com

³⁵ <http://abcnews.go.com/Technology/print?id=2687898>

³⁶ <http://www.ri.se/en/node/834>

De gemeente Den Haag gaat door middel van een proef in 2013 in een tunnel experimenteren met deze toepassing³⁷. Ook in Rotterdam worden initiatieven ontwikkeld op dit gebied onder de naam "Titaniumstrijd"³⁸. Daarnaast heeft deze coating een anti-graffiti werking³⁹. Binnen een Europees project is er verder onderzoek gedaan naar de werking van TiO_2 ⁴⁰.

Onder andere de Heidelbergcementgroep heeft een type beton ontwikkeld met nano- TiO_2 als toevoeging, genaamd Tiochem^{®41}.



Figuur 2.6: de Jubilee kerk in Rome, de witte wanden bevatten TiO_2

In 2009 heeft een Nederlandse praktijkproef laten zien dat het rendement van het titaniumoxide langs snelwegen te verwaarlozen is (van Ganswijk, 2009). Deze resultaten zijn daarna bevestigd door een Engelse praktijkstudie (Atkins, 2009). Op basis van deze studies heeft RWS besloten om verdere toepassingen van TiO_2 in Nederland niet door te zetten. Tevens werd geconcludeerd dat er verder onderzoek nodig was naar milieu- en gezondheidseffecten van TiO_2 (McCrae, 2009). Hierbij moet vermeld worden dat het in de meeste gevallen niet gaat om nano TiO_2 , maar om conventioneel TiO_2 .

³⁷ <http://www.denhaag.nl/home/bedrijven-en-instellingen/natuur-en-milieu/to/Verbeteren-luchtkwaliteit-Koningstunnel.htm>

³⁸ <http://www.titaniumstrijd.nl/>

³⁹ <http://www.chemtec.nl/cms/publish/content/showpage.asp?pageid=11>

⁴⁰ <http://www.picada-project.com/domino/SitePicada/Picada.nsf?OpenDataBase>

⁴¹ http://www.heidelbergcement.com/benelux/nl/enci/products_and_services/product_+catalogue/specialcements.htm

Volgens de eerder genoemde markverkenning (Pronk e.a., 2011) blijkt silica fume, ook wel microsilica genoemd, een belangrijke niche te zijn. Silica fume zorgt voor betere mechanische eigenschappen, verminderde waterdoorlaatbaarheid en verbeterde duurzaamheid (Van Broekhuizen en Van Broekhuizen, 2009). Op dit moment wordt silica fume in Nederland nog nauwelijks toegepast (Pronk e.a., 2011). Overigens wordt bij silica fume vaak onterecht de term “nanodeeltjes” gebruikt, omdat een substantieel gedeelte van siliciumdioxide in silica fume groter te zijn dan 100 nm. (persoonlijke mededeling medewerker RWS-DI).

In de betonwereld vinden grote ontwikkelingen op het gebied van Ultra Hoge Sterkte Beton (UHSB) plaats. UHSB wordt gerealiseerd door een zeer zorgvuldige selectie van de korrelgrootte, waaronder op nanoschaal, in combinatie met het gebruik van vezels om het beton te versterken. UHSB is een hightech composiet materiaal met perspectieven door zijn verhoogde sterkte, taaiheid en duurzaamheid. Eerste veelbelovende toepassingen, veelal in de civiele sector, zijn al uitgevoerd en tonen de mogelijkheden van het materiaal. UHSB is door de dichte pakking op veel punten (verminderde chemische invloeden, minder onderhoud, lager energieverbruik bij productie en montage, minder benodigde grondstoffen) duurzamer dan conventioneel beton. Experimenten en onderzoeken hebben laten zien dat de toepassing van UHSB kan leiden tot slanke, economisch voordelige en duurzame ontwerpen. Echter door de vereiste precieze samenstelling is het gebruik van gerecyclede materialen niet gewenst.

Het Green Technology Forum heeft in 2007 het rapport “Nanotechnology for Green Building” uitgebracht (Elvin, 2007). Hierin komen de bovenstaande aspecten van nanotechnologie in de bouw uitgebreid aan bod, maar tevens wordt er belicht wat – volgens de toenmalige inzichten – in de nabije toekomst mogelijk zal zijn. Een belangrijke verbetering die met nanotechnologie bereikt kan worden is het terugdringen van het energiegebruik. Het gaat dan om verlichting door middel van organische LEDs (OLEDs – zie ook sectie 2.2) maar ook om water- en luchtbehandeling.

Een andere toepassing die zich nog in de experimentele fase bevindt is die van zelf-reparerende coatings en beton en asfalt. Het gaat daarbij om materiaal waar kleine reservoirs op nanoschaal zijn ingebracht die openbreken onder spanning of druk. Als ze openbreken, bijvoorbeeld omdat er een breuk ontstaat, komt de inhoud vrij, bijvoorbeeld een lijm die de breuk (mits niet te groot) kan opvullen⁴². De technische universiteiten in Nederland doen hier onderzoek naar (E. Schlangen, TU Delft; Brouwers, 2008; Lazaro e.a. 2012). RWS zou hier op den duur als partner bij de uitvoering van praktijkproeven kunnen optreden, door middel van nationale programma's als Infraquest en IS2C (Integral Solutions for Sustainable Construction⁴³).

Ook internationaal worden op dit gebied onderzoeksactiviteiten ontplooid. Zo heeft de Amerikaanse Transportation Research Board (TRB) een zogenaamde “Task force on Nanotechnology in Concrete (AFN15T)”. Ook de American Concrete Institute (ACI) heeft een “subcommittee on nanotechnology of concrete”. Daarnaast heeft “The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM)” een technisch comité dat zich bezighoudt met nanomaterialen in bitumen. Al deze organisaties hebben als doel om het wetenschappelijk onderzoek op het gebied van beton en bitumen verder te brengen, met als uiteindelijk doel praktijktoepassingen te creëren.

⁴² <http://www.nanowerk.com/spotlight.spotid=2067.php>

⁴³ <http://stw.nl/nl/programmas/is2c>

Conclusies

Nanotechnologie heeft in potentie veel toepassingsmogelijkheden in de bouwnijverheid, en in termen van duurzaamheid en besparingen in kosten is in deze branche relatief veel winst te halen. De actuele toepassingen zijn op dit moment vooral toegespitst op coatings en in mindere mate beton en asfalt.

2.5 Energie en milieu

De toepassingen in dit gebied zijn onder te verdelen in drie verschillende toepassingen: verbeterde analysetechnieken, efficiënter omgaan met energie, verbeterde zuivering. Het betreft hier alleen directe toepassingen ten behoeve van energie en milieu. Er zijn ook indirecte positieve effecten door toepassing van nanotechnologie en nanomaterialen te verwachten, zoals besparing en hergebruik van materiaal en vermindering van uitstoot van broeikasgassen (Ellen e.a., 2005). Deze worden in dit rapport niet behandeld.

2.5.1 Verbeterde analysetechnieken

Prakash e.a. (2013) beschrijven hoe dunne polymeerfilms met ingebedde metaaldeeltjes gebruikt kunnen worden voor de detectie van allerlei biomoleculen. Door de eigenschappen van de film en de nanomaterialen op elkaar af te stemmen wordt een selectieve biosensor verkregen met een minimale omvang en energieverbruik. Een onderzoeksgroep aan het MIT onderzoekt de mogelijkheden voor een sensor voor gassen in de atmosfeer op basis van koolstof-nanotubes⁴⁴. De werking van deze sensor is gebaseerd op de elektrische geleidbaarheid van deze buisjes, welke verandert in aanwezigheid van gasmoleculen. Soortgelijk onderzoek wordt in het kader van NanoNextNL gedaan door twee Nederlandse onderzoeksgroepen (Redeker, 2012). Ook in een recente review worden de mogelijkheden van nanotechnologie beschreven voor de specifieke detectie van verschillende microverontreinigingen (Khin e.a., 2012).

Conclusies

Er zijn veel theoretische toepassingen om nanotechnologie als een verbeterde analysetechniek ten opzichte van de conventionele technieken in te zetten. Vooral het feit dat detectiemethoden specifiek voor bepaalde stoffen kunnen worden ingezet, is een groot voordeel ten opzichte van de huidige technieken. Uit bovenstaande literatuur blijkt echter dat praktische toepassingen niet in de nabije toekomst zijn te verwachten.

2.5.2 Energie

Het lijkt mogelijk om met speciale quantumeffecten het rendement van fotonische cellen te vergroten. De quantumeffecten, die optreden in silicium-nanomaterialen, zorgen ervoor dat een foton als het ware meerdere keren gebruikt kan worden, zodat alle energie wordt benut (Vrouwe, 2012). Praktische toepassingen voor RWS lijken op dit moment nog ver weg.

2.5.3 Remediatie en zuiveringstechnieken

IJzerhoudende nanomaterialen worden op dit moment sporadisch gebruikt voor in-situ remediatie van vervuilde bodems en grondwater. Bij de verwijdering van arseen uit drinkwater blijkt deze techniek 100 keer minder afval op te leveren (UNEP, 2007). In het binnenkort te starten EU-project NANOREM, waarin ook Deltares participeert, zullen zowel de voor- als nadelen (kansen en risico's) van het gebruik van nano-ijzer bij remediatie verder onderzocht worden⁴⁵.

⁴⁴ <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3107>

⁴⁵ http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=proj.document&PJ_RCN=13456485

Daarnaast kan nano-ijzer in de toekomst wellicht gebruikt worden voor het opruimen van olie. (Zhu e.a., 2010). In dit artikel werden ijzerdeeltjes ingesloten in een mantel van hydrofobe polymeren om oliedruppels te concentreren en via magneten te scheiden van het water. De onderzoekers zijn erg optimistisch over de toepassing op de schaal van meren en kusten, en ze zijn niet de enigen die met deze techniek aan het werk zijn.

Ook op het gebied van waterzuivering kan nano-ijzer een optie zijn waarbij wel wordt gesteld dat risico's van emissies van nano-ijzer zijn naar het aquatisch milieu toenemen (Xu e.a., 2012). Daarnaast zijn er allerlei innovatieve technieken beschikbaar. Het meest toegepast hiervan zijn de commercieel verkrijgbare nanopore membranen, die pathogenen en microverontreinigingen op een efficiëntere wijze uit het (drink-)water filteren (Xu e.a., 2012). Ook worden er coatings met nano-ijzeroxide ontwikkeld, die selectief verontreinigingen uit het water binden (UNEP, 2007). Nadeel van deze laatste toepassing is dat de microverontreinigingen ook weer van de coatings geëxtraheerd moeten worden. Ook de eerder genoemde toepassingen, waarin met behulp van Uv-licht het katalytisch vermogen van nanoTiO₂ wordt benut om luchtverontreiniging te verminderen (paragraaf 2.4), kunnen ingezet worden voor waterzuivering.

Conclusies

Veel van de ontwikkelingen in dit vakgebied bevinden zich nog in de kinderschoenen. Het is niet te verwachten dat op korte of lange termijn er commerciële toepassingen zijn te verwachten.

De toepassingsgebieden in paragraaf 2.6 (gezondheid en verzorging) en 2.7 (voedsel en voedselproductie) bevatten geen aanknopingspunten op het gebied van toepassingen voor de werkvelden voor RWS. Wel kunnen deze categorieën potentiële risico's opleveren voor de werkerterreinen van RWS (voornamelijk op het gebied van lucht en waterkwaliteit). Daarom worden deze categorieën hier kort behandeld. In hoofdstuk 3 wordt uitgebreid ingegaan op de potentiële risico's van deze categorieën.

2.6 Gezondheid en verzorging

Binnen deze categorie is een duidelijk onderscheid te maken tussen de categorie verzorging, waarbij het voornamelijk om zogenaamde "Personal Care Products" (PCP) zoals zonnebrand crèmes en cosmetica gaat, en de categorie gezondheid, waarbij het om toepassingen in medicijnen gaat. De toepassing van nanozilver in zowel kleding als wondmiddelen valt in beide categorieën.

2.6.1 Verzorging

Voor een aantal metalen en metaaloxides worden veelvuldig in deze categorie gebruikt. Het aantal nieuwe toepassingen op dit gebied is de afgelopen jaren ook exponentieel toegenomen; bijna de helft van de nieuwe toepassingen sinds 2007 zitten in de categorie PCP. Opmerkelijk hierbij is dat relatief veel toepassingen ook weer van de markt worden gehaald. Enerzijds kan dit komen door de negatieve aandacht die het begrip nano de afgelopen jaren gekregen heeft, anderzijds is de markt van de cosmetica een dynamische markt (Van Wijnhoven e.a., 2010).

- 1 TiO₂ werd al veel in zonnebrandcrème gebruikt vanwege zijn UV-filterende capaciteiten. Sinds een aantal jaar wordt hiervoor ook nanoTiO₂ gebruikt, omdat dit de zonnebrandcrème zelf minder zichtbaar maakt. De wereldwijde afzetmarkt voor nano-TiO₂ wordt geschat op 10.000 ton per jaar, waarvan de helft voor verzorgingsproducten

- is. Hiervan is weer 430 ton bestemd voor zonnebrandcrèmes Ook wordt TiO_2 toegevoegd aan kleding vanwege zijn UV-werende werking en als pigment (EC, 2010).
- 2 ZnO heeft evenals TiO_2 ook een UV-filterende werking en antibacteriële werking, zij het minder dan TiO_2 . De afzetmarkt voor nanoZnO is vele malen kleiner dan die voor TiO_2 .
 - 3 Goud heeft toepassingen in de medische industrie, voornamelijk in *in-vitro* diagnoses. De afzetmarkt voor nano-goud is zeer beperkt.
 - 4 Ongeveer 10% van de hoeveelheid zilver die voor anti-infectiedoeleinden wordt gebruikt bestaat uit nanozilver. Nanozilver wordt onder andere toegepast in professionele producten als ziekenhuistextiel en wondpleisters, maar ook in consumentenproducten als sportkleding, sokken en ondergoed.

2.6.2 Gezondheid

De term nanotechnologie binnen de gezondheidszorg kan heel breed opgevat worden, en er is dan ook geen eenduidige definitie te vinden. De initiatieven op dit gebied zijn legio, maar het overgrote deel van de toepassingen op dit gebied zitten nog in de onderzoeksfase. De toepassingen kunnen in drie verschillende categorieën ingedeeld worden (De Waard, 2010):

- Medische hulpmiddelen met afmetingen van nanometerschaal.
- Medicijnen of medicijn dragers die zelf de afmetingen op nanometerschaal hebben. Het voordeel hiervan is dat door hun gunstige inhoud/oppervlakte ratio met nanomedicijnen met lagere concentraties van een toegediend geneesmiddel hetzelfde effect kan worden bereikt. Tevens hebben de nanomedicijnen een verhoogde oplosbaarheid, waardoor ze effectiever (dus in lagere concentraties) hun werking kunnen uitoefenen. Desondanks zijn er slecht een beperkt aantal nanomedicijnen op de markt (De Waard, 2010).
- Medische hulpmiddelen die gebruik maken van, of ontwikkeld zijn met nanotechnologie. Hierbij moet gedacht worden aan allerlei verschillende lab-on-a-chip toepassingen. m.a.w. het verkleinen (en daardoor efficiënter maken) van bijvoorbeeld analysetechnieken voor de snelle detectie van tumoren⁴⁶. Ook het gebruik van zogenaamde quantumdots lijkt hierbij een veelbelovende toepassing te zijn, overigens ook als drugdeliverytechniek (Azzazy e.a., 2007).

2.7 Voedsel en voedselproductie

Ook binnen deze categorie spelen de toepassingsmogelijkheden zich vooral op het experimentele vlak. Binnen dit toepassingsgebied kunnen nanomaterialen vanuit verschillende invalshoeken een rol spelen (Kampers, 2010):

- Het verkrijgen van voldoende voedsel. Met de huidige wereldwijde populatiegroei wordt het in de toekomst onmogelijk om dezelfde hoeveelheden voedsel te blijven produceren. Dit probleem geldt vooral voor productie van vlees. Nanotechnologie kan een rol spelen bij het op een alternatieve manier vervaardigen van dierlijk voedsel.
- Gezonde voeding. Nanotechnologie kan er voor zorgen dat efficiënter allerlei voedingssupplementen aan het voedsel toegevoegd kunnen worden via allerlei zogenaamde encapsulatietechnieken.
- Voorkomen van voeding gerelateerde problemen, zoals obesitas en diabetes type II. Nanotechnologie kan er voor zorgen dat er minder energie en/of zouten aan onze voeding hoeft worden toegevoegd. Probleem bij dit soort producten is dat mensen er meer van gaan eten, omdat het gezonder is, waardoor vaak het tegenovergesteld effect wordt bereikt.

⁴⁶ <http://elitedaily.com/elite/2012/worlds-tumor-profiler-diagnoses-cancer-20-minutes>

- Voedselkwaliteit en veiligheid. Met sensoren die gebruik maken van nanotechnologie, zoals silicium nanodraadjes, kunnen direct in het voedsel bederf gerelateerde moleculen gemeten worden.
- Ook zouden aan verpakkingen antibacteriële middelen als nanozilver kunnen worden toegepast, om het proces van bederf tegen te gaan.
- Nanomaterialen zouden in de toekomst een grote rol kunnen spelen in de agrarische sector bij de toepassing van gewasbeschermingsmiddelen en bemesting. Mogelijke toepassingen zijn als actieve stof of als additief, waardoor het gecontroleerd vrijlaten van deze groepen van stoffen mogelijk wordt. Ondanks het feit dat het aantal patenten en artikels over toepassingen van nanomaterialen in de landbouw gestaag groeit, blijft het aantal daadwerkelijke commerciële toepassingen vrij beperkt (Gogos e.a., 2012).

De grote vraag bij al deze toepassingen in voedsel is in hoeverre de consument dit soort producten graag tot zich neemt (Kampers, 2010). Hierbij zijn veel parallellen te trekken met de maatschappelijke discussie rondom genetisch gemodificeerd voedsel.

2.8 Overzicht van toepassingen

In tabel 2.3 wordt een overzicht gegeven van de stand van zaken betreffende de mogelijke commerciële toepassingen van de verschillende categorieën, zowel nu als in de toekomst (korte en middellange termijn). Hierbij is gebruik gemaakt van de analyses uit de vorige paragrafen, de recente nanobrief van het kabinet⁴⁷, en de verdiepende interviews die zijn gehouden met verschillende stakeholders.

Het algemene beeld dat naar voren komt is dat wetenschappelijk gezien er tal van de toepassingsmogelijkheden voor nanotechnologie zijn, maar dat op dit moment nog relatief weinig toepassingen in de praktijk wordt gebracht. Voor veel toepassingen lijken de praktische mogelijkheden ook redelijk ver weg (>10 jaar). Uit de interviews met de experts blijkt dat het in §1.1 geschetste beeld van de buitengewoon sterke groei in ieder geval voor de Nederlandse situatie wat bijgesteld moet worden; de omvang van de praktijktoepassingen blijven achter bij de verwachtingen (persoonlijke mededeling medewerker TNO). Hierbij spelen ook de voortdurende onzekerheden over de potentiële risico's van nanomaterialen een rol (persoonlijke mededeling medewerker RIVM, zie ook hoofdstuk 3).

Overigens is het moeilijk vast te stellen in welke producten er nu werkelijk nanotechnologie of nanomaterialen worden gebruikt. Een aantal jaren geleden was het voor producenten aantrekkelijk om het gebruik van nanomaterialen weer te geven op producten, zelfs als daar niet daadwerkelijk sprake van was, nano was "hot". Mede gelet op de onzekerheden rondom de risico's van nanomaterialen en het maatschappelijk debat daarop volgend, kiezen veel producenten er tegenwoordig voor om geen melding meer te maken van het gebruik van nanomaterialen (Van Wijnhoven e.a., 2010).

Daarnaast blijkt uit zowel de deskstudie als de interviews met de experts dat het ontbreken van een overkoepelende brancheorganisatie in Nederland het genereren van overzichten met nanoprodukten bemoeilijkt. VNO-NCW heeft in het verleden acties ondernomen richting zijn branches om te inventariseren bij de leden in welke producten en productieprocessen nano wordt gebruikt: Hieruit bleek dat het ook voor hen moeilijk was om een compleet overzicht te krijgen (persoonlijke mededeling medewerker ministerie I&M). Dit maakt het voor een klant als RWS moeilijk om actief aan de slag te gaan om zicht te verdiepen in toepassingen van

⁴⁷ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-29338-110.html>

nanomaterialen. Overigens is er wel een dergelijke Europese brancheorganisatie, genaamd NIA (Nanotechnology Industries Association)⁴⁸.

In tabel 2.3 is met kleuren een onderscheid gemaakt in de verschillende taakgebieden van RWS: beheer waterkwaliteit (groen), het hoofdvaarwegennet (blauw) en het rijkswegennet (grijs), waarbij bij ieder toepassingsgebied enkele relevante voorbeelden worden genoemd. Let wel: het gaat hier om een algemeen beeld van een bepaalde categorie. Zo zijn er bijvoorbeeld wel al een aantal waterzuiveringstechnieken commercieel beschikbaar, maar deze worden nog niet op grote schaal toegepast.

Tabel 2.3: Indicatie van toekomstmogelijkheden van verschillende toepassingen, relevant voor RWS.

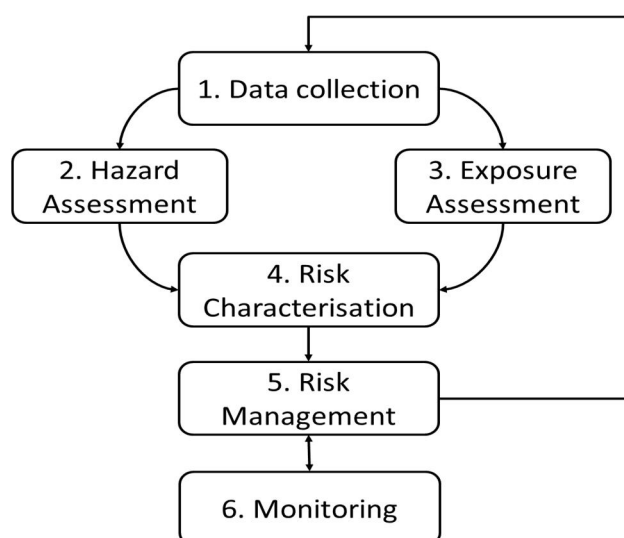
Toepassing	Al op de markt			Korte termijn (0-5 jr.)			Middellange termijn (5-10 jr.)		
Electronica; nanosensoren, transformatoren; <i>toepassingen van in-car sensoren d.m.v. spintronics</i>									
Electronica, informatietransport <i>sneller informatieoverdracht van verkeersinformatie (efficiënter verkeersmanagement), watertransportgegevens en waterkwaliteitsgegevens door snellere en efficiëntere dataverwerking</i>									
Auto industrie (behalve coatings en lakken): <i>toevoeging van Carbon nano Tubes aan banden, ceriumoxide als katalysator aan diesel.</i>									
Maritieme sector: coatings en lakken: <i>Verbeterde waterkwaliteit door gebruik van minder milieubelastende antifouling</i>									
Auto industrie: coatings en lakken; <i>gebruik van kras vaste coatings in carrosserie, versteviging van mechanische eigenschappen.</i>									
Bouwnijverheid: beton en asfalt: <i>gebruik van TiO₂ zelfreinigend beton in kunstwerken (bruggen, sluizen)</i>									
Bouwnijverheid: coatings en lakken: <i>gebruik van kras vaste lakken op objecten om duurzaamheid te verbeteren.</i>									
Analysetechnieken: <i>Gebruik van specifieke sensoren voor beter meten waterkwaliteit, gebruik van sensoren voor meten kwaliteit van asfalt en beton</i>									
Energie: LED's met hogere efficiëntie, <i>Toepassingen in DRIPs en verkeersverlichting</i>									
Energie: <i>efficiëntere energieopslag en opwekking, toepassingen in DRIP's en informatievoorziening, sluizen, gemalen</i>									
Zuiveringstechnieken, coatings en membranen: <i>efficiëntere waterzuivering</i>									

⁴⁸ <http://www.nanotechia.org/home>

3 Risico's van nanomaterialen

3.1 Het begrip risico

De risicobeoordeling van chemische stoffen bestaat uit een combinatie van aan de ene kant een inschatting van de blootstelling aan een bepaalde stof (exposure assessment), gecombineerd met een inschatting van het effect van die stof (hazard assessment). Deze twee inschattingen worden met elkaar vergeleken in de risico-analyse, zie figuur 3.1. Wanneer de conclusie van deze risico-analyse is dat een onaanvaardbaar risico optreedt, dient dat risico weggenomen te worden (risk management) en dient eveneens gemonitord te worden of de maatregelen die genomen zijn, het beoogde effect van risicovermindering hebben. Hierbij wordt het zelfde proces weer doorlopen, wat risicobeoordeling een iteratief proces maakt, zie figuur 3.1.

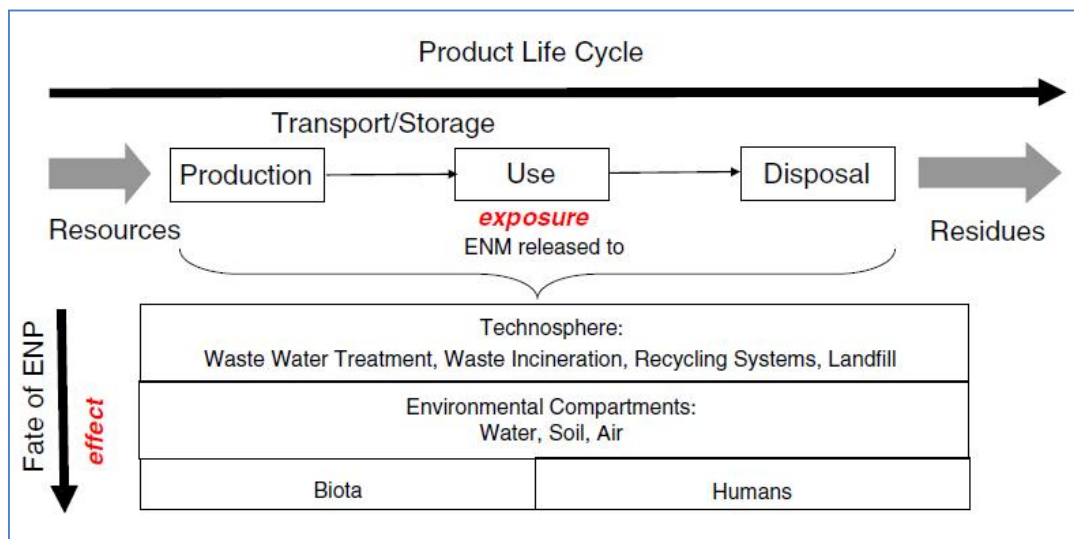


Figuur 3.1: Het continue proces van risicobeoordeling (naar Van Leeuwen & Vermeire, 2007)

De risico's van een stof zijn onder te verdelen in de volgende categorieën:

- Risico's voor het milieu (water, bodem, grondwater, lucht)
- Arbeid gerelateerde risico's.
- Risico's voor de consument.

De risico's van nanomaterialen verschillen per toepassing/product gedurende de levenscyclus van deze producten, zie figuur 3.2. Zo zullen de emissies naar het milieu van nanomaterialen, die in autobanden verwerkt worden, niet groot zijn gedurende de productiefase, maar vooral optreden tijdens het gebruik van deze banden door slijtage. Bij coatings zullen echter de grootste risico's optreden tijdens het verwerken van nanomaterialen in de coatings (spuiten), en minder bij de daaropvolgende fasen van de levenscyclus.



Figuur 3.2: De levenscyclus van een product bepaalt de blootstelling (exposure), het effect en daarmee ook het risico van een product. ENM = Engineered Nanomaterials, ENP = Engineered nanoparticles (uit Som e.a., 2011).

Wanneer de risico's van toepassingen van nanomaterialen worden beoordeeld, dient idealiter een integrale afweging van de totale levenscyclus van een toepassing of product plaats te vinden, in een zogenaamde Life Cycle Analysis (LCA). Hierbij dienen zowel de kosten (nanomaterialen zijn over het algemeen duurder) tegen de baten (duurzamer) integraal moeten worden afgewogen. Er zijn wel beperkte LCA studies gedaan naar de productiefase van nanomaterialen, maar hierbij werden alleen maar aspecten als energie en broeikas effecten meegenomen, en niet bijvoorbeeld toxiciteit (Meyer e.a., 2009).

RWS daagt de markt uit tot het aanbieden van duurzamere ontwerpen bij de inschrijving door het verlenen van gunningsvoordeel. De bouwindustrie kan nieuwe duurzamere materialen conform protocol laten opnemen in de Nationale Milieudatabase van SBK, waarna de instrumenteigenaren zoals DuboCalc (GWW-sector) en Greencalc/GPR-model (woning en utiliteitsbouw) deze verplicht opnemen in hun bibliotheek. Deze ontwikkeling kan bevorderend werken op het introduceren van nanomaterialen met perspectief op duurzaamheidswinst. Op dit moment gebeurt dit echter nog niet (persoonlijke mededeling medewerker RWS-DI).

Overigens is door verschillende experts aangegeven dat de afval- en recyclefase qua risico's nog de grote onbekende fase in de gehele levenscyclus van nanomaterialen is (persoonlijke mededeling medewerkers van TNO en Tata Steel).

In onderstaande paragrafen zal nader worden ingegaan op de meest recente stand van zaken met betrekking tot de risicobeoordeling van nanomaterialen. Hierbij zullen achtereenvolgens de volgende aspecten van de risicobeoordeling ter sprake komen:

1. Emissies van nanomaterialen
2. Gedrag van nanomaterialen
3. Blootstelling aan nanomaterialen
4. Toxiciteit van nanomaterialen
5. Uiteindelijke risicobeoordeling

3.2 Emissies van nanomaterialen

De eerste stap in de risicobeoordeling van stoffen is een beoordeling van de blootstelling. Hiertoe worden eerst de emissies naar het milieu toe geschat en/of gemeten. Hierbij ligt de focus in dit rapport op het water- en het luchtcompartiment, aangezien hier voor RWS de grootste potentiële risico's liggen. Er is voor gekozen de emissies per type nanomateriaal (metaal, metaaloxide, koolstof) te behandelen, zodat ze in een later stadium eenvoudiger met de toxiciteit (hazard) van de verschillende types te vergelijken zijn (zie figuur 3.1). In een later stadium worden de emissies per toepassingsgebied behandeld.

Een globaal overzicht van de geschatte concentraties in diverse milieucompartimenten van de belangrijkste types nanomaterialen is weergegeven in tabel 3.1. Omdat nauwelijks tot geen gemeten concentraties bekend zijn, worden potentiële emissies naar het milieu toe voornamelijk gemodelleerd, gebaseerd op de gebruiksfuncties van nanomaterialen, de mogelijke emissieroutes en de fysisch/chemische eigenschappen van nanomaterialen (zie onder andere Aschberger e.a., 2011; Praetorius e.a., 2013). Dit gaat gepaard met veel aannames en dus grote onzekerheden, waardoor het niet mogelijk is om nauwkeurige concentraties te geven, maar alleen ordegrottes.

Het is te verwachten dat nanomaterialen in een vloeibare matrix, zoals TiO₂, ZnO en Ag grotere emissies naar milieucompartimenten zullen vertonen, dan voor nanomaterialen die in een vaste matrix ingebed zijn, bijvoorbeeld voor de meeste silica toepassingen of Carbon Black. Alleen bij bijvoorbeeld slijtage van deze matrices, zoals bij autobanden, kan dit type deeltjes weer vrijkomen. Onderzoek van RWS laat zien dat emissies van enigszins vergelijkbare deeltjes als asbest, afkomstig van het wegverkeer, uitermate klein zijn (Ministerie van V&W, 2005). Echter, recent onderzoek aan bodems bij een vliegveld laat zien, dat daar wel fullerenen in kunnen worden aangetroffen (Carboni e.a., 2012). Deze zijn waarschijnlijk afkomstig van slijtage van vliegtuigbanden.

Tabel 3.1: Schattingen van ordegrottes van concentraties van belangrijkste groepen van nanomaterialen in verschillende milieucompartimenten (Aschberger e.a., 2011)

Milieucompartiment	fullerenen	MWCNT	Nano-TiO ₂	Nano-ZnO	Nano-Ag
rwzi effluent	µg/l	ng/l	µg/l	µg/l	ng/l - µg/l
oppervlaktewater	ng/l - µg/l	pg-ng/l	ng/l - µg/l	ng/l	ng/l
sediment	?	µg/kg	µg/kg-mg/kg	µg/kg	µg/kg-mg/kg
bodem	µg/kg	ng/kg	µg/kg-mg/kg	µg/kg	ng/kg-µg/kg

Voor een aantal van de toepassingsgebieden is het gedrag van nanomaterialen in de rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) van groot belang. Vooral bij een aantal consumentenproducten, als titaandioxide in zonnebrand en zilver in kleding speelt dit een belangrijke rol. Daarnaast kunnen nanomaterialen bij productielocaties uiteindelijk in het effluent belanden, hoewel deze route zo beperkt mogelijk zal worden gehouden, aangezien de productie van nanomaterialen relatief duur is. Voor zover bekend, zijn er op dit moment geen productielocaties, anders dan laboratoria, van nanomaterialen in Nederland. Er zijn wel zogenaamde "down-stream users" in Nederland. Dit zijn bedrijven die nanomaterialen in pure vorm verwerken in hun producten, bijvoorbeeld in de verf en voedingsindustrie.

Er is een aantal studies uitgevoerd betreffende het gedrag van nanomaterialen in rwzi's. Hieruit blijkt dat nanozilver voor meer dan 90% (Tiede e.a., 2010) en TiO₂ voor 70-85% (Kiser e.a., 2009) in het zuiveringsslib belandt. Hierbij moet worden opgemerkt dat dit pilot-experimenten zijn, en dat aanvullende studies nodig zijn om meer informatie over het gedrag van nanomaterialen in rwzi's te achterhalen. Tevens moet hierbij worden opgemerkt dat, ondanks dit relatief hoge verwijderingspercentage in de rwzi, de totale emissies van

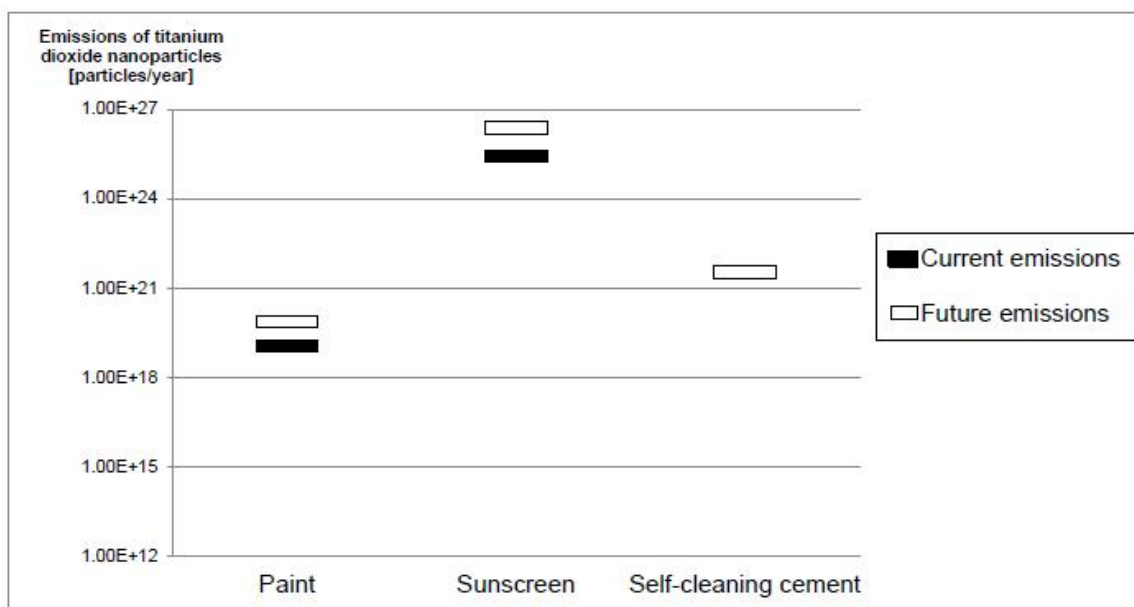
nanomaterialen nog aanzienlijk kan zijn, wanneer het grote productie en verbruiksvolumina betreft. Hierover later in dit hoofdstuk meer.

De concentraties van fullerenen lijken op basis van tabel 3.1 relatief groot. Deze gegevens zijn gebaseerd op metingen aan Spaanse rwzi-effluenten (Farré e.a., 2010). Wat de eventuele bron van deze fullerenen is, is onbekend. Omdat deze Spaanse studie omstreden is, worden de emissies van fullerenen verder buiten beschouwing gelaten.

In onderstaande paragrafen worden meer in detail de potentiële emissies van de belangrijkste groepen van nanomaterialen naar in het bijzonder het watercompartiment behandeld.

3.2.1 Titaandioxide.

In figuur 3.3 zijn voor de belangrijkste toepassingen (verf, zonnebrand en zelfreinigende coatings/beton) de potentiële globale bestaande en verwachte emissies van TiO_2 weergegeven, afkomstig uit Arvidsson (2012). Hieruit blijkt dat de emissies van zonnebrandcrèmes zowel nu als in de toekomst het grootst zijn. Dit komt overeen met onder andere een recente TNO/IVAM studie, waaruit blijkt dat op dit moment slechts 2% van de nano TiO_2 wordt gebruikt in coatings en 98% in cosmetica en zonnebrand (van Maanen-Vernooij e.a., 2012).



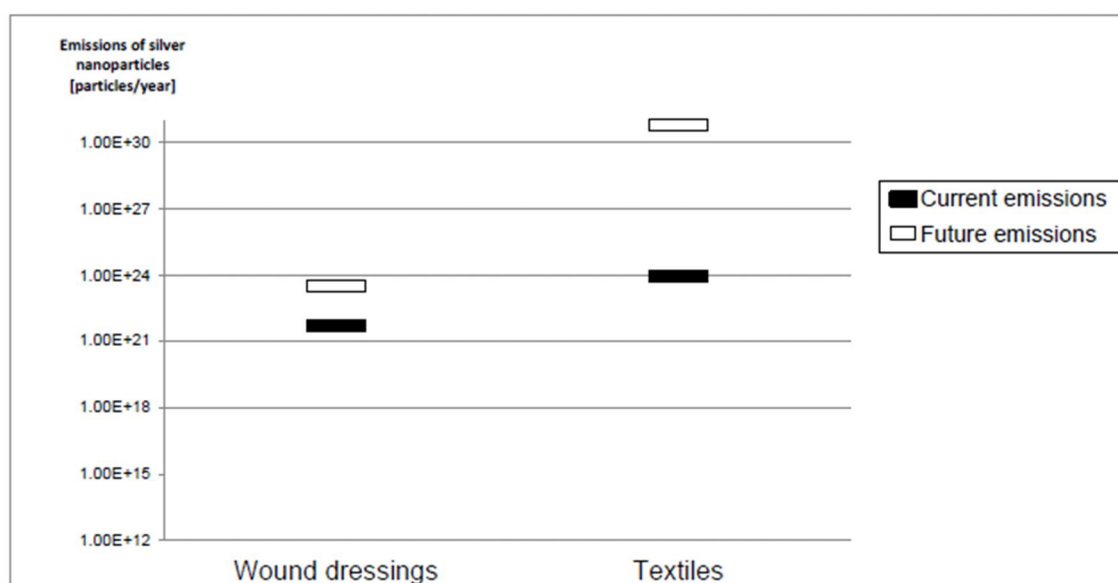
Figuur 3.3: Verwachte en bestaande wereldwijde emissiescenario's voor TiO_2 in de belangrijkste toepassingen (Arvidsson, 2012).

Verder blijkt uit de figuur dat de emissies vanuit zelfreinigend beton op dit moment te verwaarlozen zijn, maar dat in de toekomst emissies vanuit zelfreinigend beton voor een derde de totale emissies zullen beslaan. Dit strookt met voorspellingen die door anderen zijn gedaan, dat in 2015 15-30% van de gevels nanomaterialen bevat (Som e.a., 2011), en dat vervolgens de emissies vanuit deze constructies substantieel zijn (Kaegi e.a., 2008). Volgens de TNO/IVAM-studie is 9% van de nano TiO_2 emissies naar het oppervlaktewater op dit moment afkomstig van coatings en lakken (Van Maanen-Vernooij e.a., 2012). Wanneer de potentiële gemodelleerde emissies van nano- TiO_2 op stroomgebied (Maas en Rijn)

vergeleken worden met de huidige emissies van “normaal” TiO_2 , dan blijkt overigens dat de nano-emissies relatief weinig bijdragen aan de totale vracht aan TiO_2 (Markus e.a., 2013).

3.2.2 Nano-zilver

Voor nanozilver is een zelfde inschatting van huidige en toekomstige emissies gemaakt als voor TiO_2 , zie figuur 3.4. Hieruit blijkt dat emissies vanuit textiel nu en in de nabije toekomst de belangrijkste zijn. Uit een Nederlandse studie bleek dat het aandeel van nanozilver in textiel dat tijdens wasbeurten naar het milieu verdwijnt, uiteindelijk kan oplopen tot 100% na slechts 10 keer wassen (Peters, 2011a). Nu zijn de emissies van nano-zilver nog lager dan die voor TiO_2 , deze zullen in de toekomst groter worden, zo blijkt uit een vergelijking van beide figuren. Voor nano-zilver lijkt de relatieve bijdrage van emissies vanuit coatings naar water groter te zijn dan voor nano- TiO_2 , doordat het uit de matrix lijkt te lekken in de gebruiksfase van gecoate objecten. Deze conclusies zijn echter gebaseerd op één studie (Kaegi e.a., 2010). Overigens blijkt ook voor zilver dat de emissies van de nano-vorm nauwelijks onderscheidend in de totale vracht van zilver naar het milieu in het Rijn en Maasstroomgebied (Markus e.a., 2013).



Figuur 3.4: Verwachte en bestaande wereldwijde emissiescenario's voor nanozilver in de belangrijkste toepassingen (Arvidsson, 2012).

3.2.3 Nano Zinkoxide

De emissies van nano zinkoxide naar het aquatisch ecosysteem worden verondersteld groot te zijn, omdat het in allerlei vloeibare consumentenproducten als body lotion, babyzalf en zonnebrand crèmes wordt toegepast. Kwantitatieve gegevens over emissies hierover ontbreken echter. De reden waarom het toch in dit overzicht wordt genoemd, is omdat de toxiciteit van nano-zinkoxide groter is dan de andere categorieën van stoffen (Aschberger e.a., 2011).

3.2.4 Koolstof-nanomaterialen (CNT, fullerenen)

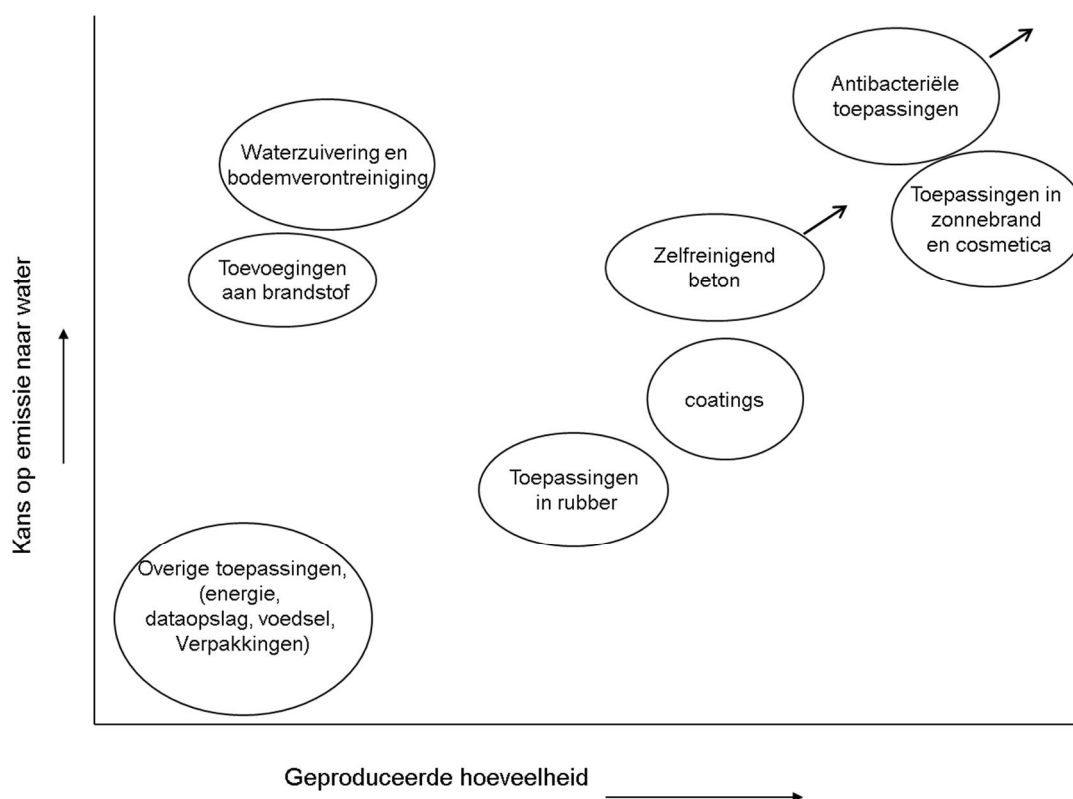
De emissies van deze groep van nanomaterialen wordt verondersteld laag te zijn. Ten eerste worden ze relatief weinig toegepast in vergelijking met andere categorieën. Ten tweede betreft het dan vaak toepassingen ingebed in een vaste matrix, waarbij de emissies van losse nanodeeltjes minimaal zijn (Ascberger e.a., 2011). Overigens worden roetdeeltjes (Carbon Black) in deze categorie buiten beschouwing gelaten. Modelberekeningen laten zien dat de concentratie van zogenaamde “engineered” nanodeeltjes in geen verhouding staat tot de concentratie aan natuurlijke nanodeeltjes (Koelmans e.a., 2008).

De emissies van de overige categorieën van nanomaterialen worden op dit moment niet als relevant beschouwd.

3.3 Emissies van toepassingscategorieën

In 2007 is in een gezamenlijk rapport van RIVM, Kiwa Water Research (KWR) en Rijkswaterstaat een globaal overzicht gegenereerd van de mogelijk emissies door toepassingen van nanomaterialen naar het aquatisch compartiment, gebaseerd op destijds beschikbare informatie (Struijs e.a., 2007). Dit overzicht is gebaseerd op de wereldwijde situatie. De Nederlandse situatie kan hiervan op punten verschillen, zo werden destijds bijvoorbeeld toevoegingen aan brandstof wereldwijd als een relevante toepassing beschouwd. In Nederland zijn deze toevoegingen aan brandstof nog steeds niet op de Nederlandse markt.

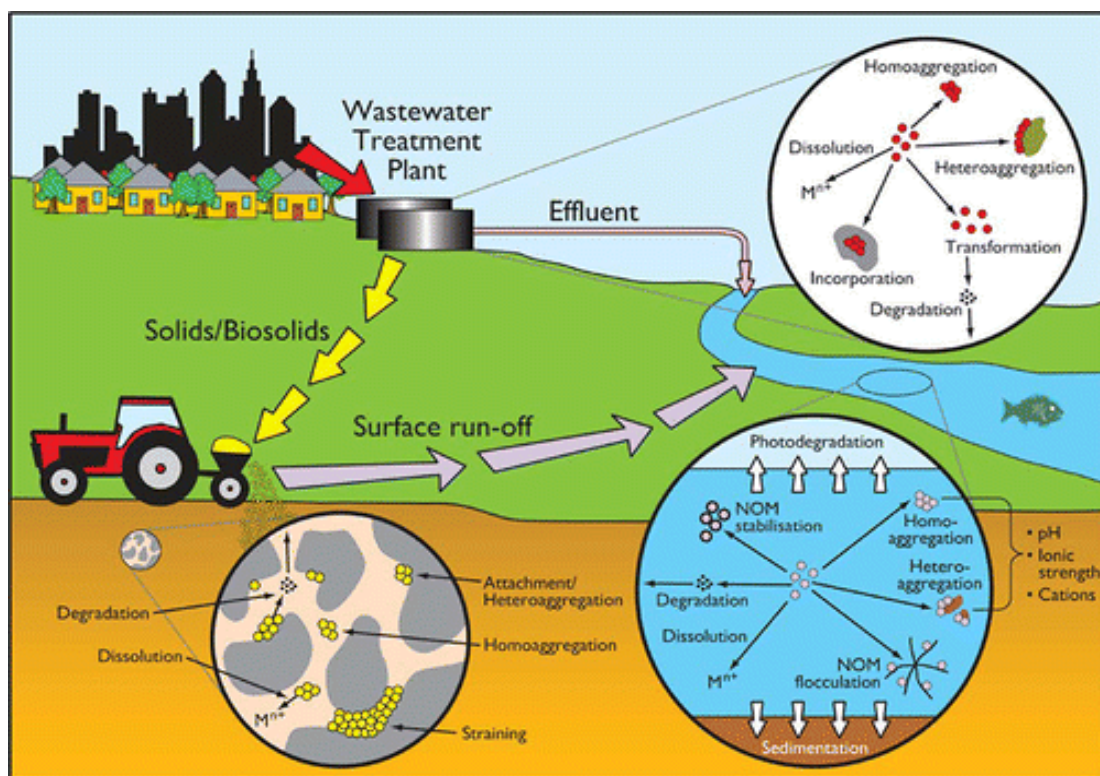
Gebaseerd op de huidige informatie over toepassingen en emissies van nanomaterialen is een vergelijkbaar nieuw overzicht gegenereerd voor de wereldwijde situatie in 2012 (figuur 3.5). Belangrijkste verschuivingen in vergelijking met 2007 zijn de fors toegenomen toepassingen van nanozilver in textiel (antibacteriële toepassingen) en de toepassingen in beton. Deze laatste toepassing was in 2007 nog niet in beeld, maar recente studies laten zien dat zowel het gebruik als de emissies zowel nu als in de nabije toekomst substantieel kunnen zijn (Kaegi e.a., 2008, van Manen-Vernooij e.a., 2012; Arvidsson, 2012). Producties en/of emissies van een aantal van de andere toepassingen (energie, verpakkingen, dataopslag, voedsel, toevoeging aan brandstof) zijn naar beneden bij gesteld, omdat uit vooral de interviews met de experts blijkt dat de huidige omvang van deze toepassingen achter blijft bij de hooggespannen verwachtingen van een aantal jaar geleden.



Figuur 3.5: Geactualiseerde indicatie van mogelijk emissies van nanodeeltjes naar water bij verschillende toepassingen van nanotechnologie voor 2012. De pijlen geven aan waar in de nabije toekomst toenames zijn te verwachten.

3.4 Gedrag van nanodeeltjes in het milieu

Wanneer nanomaterialen uiteindelijk, eventueel via tussenkomst van een rwzi, in het oppervlaktewater terechtkomen, dan kunnen allerlei processen een rol spelen, die de lotgevallen van nanomaterialen, en uiteindelijk de blootstelling aan aquatische organismen beïnvloeden. Deze processen zijn enerzijds afhankelijk van het type nanodeeltje (metaal, metaaloxide, koolstof, met of zonder coating), anderzijds van de omgevingsfactoren (organisch materiaal, pH, stroming). Zeker gezien het groot reactief vermogen van nanomaterialen, zijn processen als homo- en heteroaggregatie waarschijnlijk erg bepalend voor het uiteindelijk lot van nanodeeltjes in het milieu (zie onder andere Klaine e.a. 2008). Een overzicht van de mogelijke processen die een rol spelen is weergegeven in figuur 3.6. Op dit moment wordt veel onderzoek gedaan aan dit soort processen, onder andere binnen NanoNextNL (zie o.a. Quik e.a., 2012). Er is nog veel onduidelijk op dit gebied, maar de laatste wetenschappelijke inzichten geven aan dat deze processen een belangrijke rol spelen in de kwantificering van de uiteindelijke blootstelling en daarmee ook de uiteindelijke risico's. In de meeste gevallen zal dit tot een vermindering van de toxiciteit leiden, omdat de reactieve nanomaterialen coaguleren of sedimenteren, en niet meer als nanomateriaal beschikbaar zijn. Zo is bekend dat nanozilver in zowel de rwzi als in het aquatisch milieu sterk aan zwavel bindt, en daardoor zijn eigenschappen als nanomateriaal verliest, waardoor de toxiciteit vermindert (Kaegi e.a., 2011; Levard e.a., 2012).



Figuur 3.6: Overzicht van de processen die de blootstelling van nanomaterialen aan organismen bepalen (Batley e.a., 2012).

3.5 Humane blootstelling

De mens wordt al gedurende zijn hele evolutie blootgesteld aan deeltjes die vallen onder de categorie nanomaterialen. Lange tijd betrof het voornamelijk natuurlijke nanomaterialen (bijvoorbeeld stoffen die vrijkomen bij bosbranden en vulkaanuitbarstingen). Echter sinds het begin van de industrialisering zijn dit soort deeltjes exponentieel toegenomen in de atmosfeer, voornamelijk veroorzaakt door allerlei verbrandingsprocessen (Oberdörster e.a., 2005, 2007). Dit noemen we zogenaamde proces-gegenereerde nanodeeltjes. Met de opkomst van nanotechnologie is het waarschijnlijk dat de humane blootstelling aan zogenaamde “engineered” of “man-made” nanodeeltjes zal toenemen (Oberdörster e.a., 2005). Humane blootstelling is onder te verdelen in werknemersblootstelling en consumentenblootstelling.

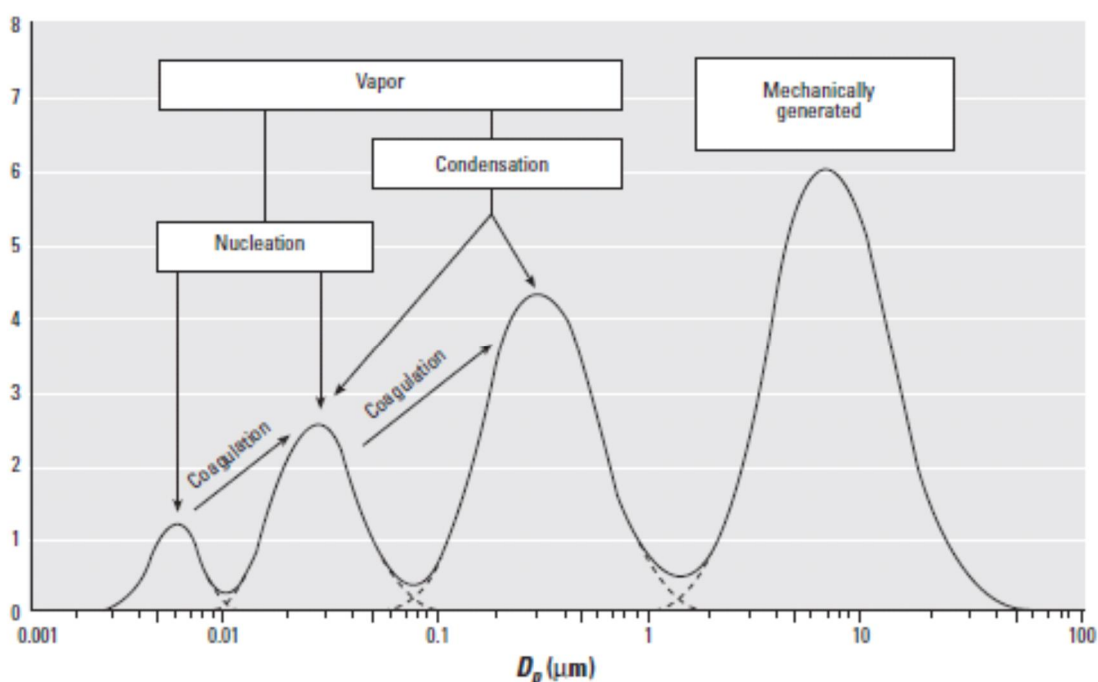
3.5.1 Werknemersblootstelling

Bij werknemersblootstelling moet vooral gedacht worden aan blootstelling via inhalatie bij productie en verwerking van nanomaterialen. Ook orale en dermale blootstelling is mogelijk, maar dit lijken op dit moment minder relevante routes (Aschberger e.a., 2011). Op dit moment is er weinig informatie beschikbaar over blootstelling van werknemers aan nanomaterialen, grotendeels te wijten aan het feit dat de huidige detectietechnieken nog niet goed genoeg zijn om de blootstelling te kwantificeren (Aschberger e.a., 2011). TNO heeft recent de blootstelling voor de Nederlandse werknemer voor de belangrijkste categorieën geschat (Pronk e.a., 2011). Hieruit blijkt dat de penetratie van nanotechnologie in de sectoren waar dit een rol zou kunnen spelen voor een aantal sectoren hoog is (productie van banden, betonreparatie, productie van coatings, schoenherstel) maar dat deze in de overige sectoren laag is. Hieruit bleek verder dat het op- of aanbrengen van ready-to use-producten door

middel van vernevelen en processen tijdens afvalverwerking het hoogste risico met zich meebrengen (Pronk e.a., 2011).

Ook een gedeelte van het RWS personeel wordt dagelijks blootgesteld aan nanomaterialen. Het zijn vooral de wegininspecteurs, die bij hun werk blootgesteld worden aan emissies van voornamelijk zogenaamde proces-gegenereerde nanomaterialen, afkomstig van het wegverkeer. Daarnaast worden zij ook blootgesteld aan fijn stof en ultrafijnstof. In figuur 3.7 wordt een schematisch overzicht gegeven van de verschillende categorieën aan deeltjes die zich in uitlaatgassen bevinden, afkomstig uit Oberdörster e.a., 2005. Uit de figuur wordt duidelijk dat deze deeltjes, eenmaal aanwezig in de atmosfeer, ook onderhevig zijn aan verschillende fysisch-chemische processen als coagulatie en condensatie en de mate van voorkomen van deze processen zal uiteindelijk de blootstelling voor de mens bepalen. Ook door RWS ingehuurd onderaannemers komen in contact met de deeltjes uit deze emissies.

Op dit moment wordt waarschijnlijk de grootste emissies naar de atmosfeer veroorzaakt door de uitlaatgassen en, in mindere mate, de slijtage van banden in het wegverkeer. De fractie luchtverontreiniging op nanoschaal veroorzaakt door het wegverkeer wordt ultrafijnstof (UFS) genoemd. Bij onderzoek naar UFS wordt meestal het aantal deeltjes per kubieke centimetermeter als de maatvoering gebruikt.



Figuur 3.7: Schematisch overzicht van verschillende categorieën van deeltjes, aanwezig in uitlaatgassen van verkeer. Deeltjes $<0.1 \mu\text{m}$ vallen onder de definitie van nanomaterialen (bron: Oberdörster e.a., 2005)

3.5.2 Consumentenblootstelling

Nanomaterialen kunnen in een grote variatie van consumentenproducten aangetroffen worden. De grootste blootstelling is te verwachten via personal care producten (zonnebrand, wondpleisters en dergelijke) en cosmetica, maar ook emissies vanuit toevoegingen aan brandstof, coatings en schoonmaakproducten worden relatief hoog geschat (Van Wijnhoven e.a., 2009). Bij veel van de toepassingen zijn de nanomaterialen ingebed in een vaste matrix,

en blootstelling zal erg beperkt zijn. Zoals eerder gezegd, emissies en dus ook blootstelling zal groter zijn bij vloeibare toepassingen, waarbij het risico via de huid en via inademing (bijvoorbeeld zonnebrandsprays) het grootst zijn.

Consumentenblootstelling kan ook via het milieu optreden, door productie, gebruik, slijtage en verbranding van producten met nanomaterialen. Hierover zijn geen kwantitatieve gegevens beschikbaar, alleen modelgegevens (Gottschalk e.a., 2009).

3.6 Toxiciteit van nanodeeltjes

De effecten van nanodeeltjes kunnen onderverdeeld worden in de effecten op de mens (humane toxiciteit) en effecten op het milieu (ecotoxiciteit). Omdat deze effecten zich volgens de vraagstelling van dit rapport in twee verschillende matrices (lucht versus water) kunnen manifesteren, kunnen de effecten ook totaal anders zijn.

3.6.1 Humane toxiciteit

Zoals al eerder gezegd is de belangrijkste blootstellingsroute aan nanodeeltjes voor de mens via inhalatie. Negatieve effecten zullen zich dan ook in de eerste plaats manifesteren in de longen. De gezondheidseffecten die zich openbaren na blootstelling aan nanodeeltjes hebben dan ook vele parallellen met de gezondheidseffecten veroorzaakt door blootstelling aan (ultra)fijn stof (Oberdörster e.a., 2005, 2007). Typische effecten die gevonden worden zijn oxidatieve stres, met als gevolg chronische ontsteking. Na langdurige blootstelling kan dit vervolgens leiden tot fibrose, genotoxiciteit en kanker. De effecten die in toxicologische studies met proefdieren gevonden zijn, hangen echter af van onder andere de grootte, de vorm, het type nanomateriaal dat bestudeerd wordt en de duur van de blootstelling (Borm e.a. 2006). Zo is bekend dat inhalatie van kristallijn siliciumdioxide stoflongen (fibrose) en vervolgens longkanker kan veroorzaken, terwijl inhalatie van amorf siliciumdioxide deze gezondheidseffecten niet vertoont (IARC, 1997). Daarnaast vertonen Carbon Nanotubes (CNT) effecten die te vergelijken zijn met de effecten veroorzaakt door asbest (Donaldson e.a., 2010).

Zoals al eerder vermeld heeft het RIVM voor een aantal klassen van nanomaterialen tijdelijke referentiewaarden voor blootstelling aan werknemers opgeteld. Hierin zijn 3 verschillende klassen gedefinieerd, gebaseerd op de toxiciteit van deze deeltjes (Dekkers en De Heer, 2010). Deze 3 categorieën zijn:

- 20.000 deeltjes/cm³ voor Ag, Fe, Au, Pb, La, TiO₂, CeO₂, ZnO, SiO₂, Al₂O₃, Fe_xO_y, SnO₂, CoO en nanoklei;
- 40.000 deeltjes/cm³ voor C60, carbon black, TiN, Sb₂O₅, polymeren, polystyreen, dendrimeren en koolstof nanobuisjes waarvoor asbestachtige effecten zijn uitgesloten;
- 0,01 vezels/cm³ voor koolstof nanobuisjes (CNT) waarvoor asbestachtige effecten niet zijn uitgesloten.

Deze waarden zijn uitsluitend bedoeld als pragmatische richtwaarden, en garanderen niet dat een blootstelling lager dan de nano-referentiewaarde veilig is.

De fractie luchtverontreiniging op nanoschaal veroorzaakt door het wegverkeer wordt ultrafijnstof (UFS) genoemd, hoewel met UFS ook wel deeltjes worden bedoeld van 5 tot 300 nm. Bij nanodeeltjes wordt vaak de range van 1 tot 100 nm gehanteerd. Op dit moment zijn er geen normen voor UFS. Ook wordt bij de normen voor onderzoek naar UFS meestal het aantal deeltjes per kubieke centimeter als de maatvoering gebruikt. Deze norm gaat uit van een specifiek werkingsmechanisme van nanodeeltjes. Dit kan voor toepassingen van nanomaterialen met een specifiek werkingsmechanisme zoals Carbon Nano Tubes (CNT) additioneel risico opleveren.

RWS heeft de laatste jaren onderzoek gedaan naar UFS. De blootstelling van weginspecteurs en aanverwant personeel blijkt behoorlijk te zijn, echter met een aantal eenvoudig te nemen maatregelen kan de blootstelling teruggedrongen tot een niveau die vergelijkbaar zijn met de door het RIVM afgeleide tijdelijke referentiewaarden (Dekkers en De Heer, 2010). Onder deze maatregelen vallen onder andere de bewustwording van de weginspecteurs door voorlichting, waarin het gesloten houden van de autoramen en het aanzetten van het recirculatiesysteem in de auto onderdelen zijn. Tevens zijn verbeterde interieurfilters ontwikkeld en worden in de nabije toekomst standaard ingebouwd. Afgelopen tijd zijn betrokken werknemers van RWS geïnformeerd over deze te nemen maatregelen. Ook andere betrokken partijen zoals Bouwend Nederland en de partners van Incidentie Management (bergers, ambulance, KLPD, ANWB) zijn bij dit hele proces betrokken (pers. mededeling medewerker Ministerie van I&M).

3.6.2 Ecotoxiciteit

Over de toxiciteit van nanodeeltjes op organismen via bijvoorbeeld de waterfase is nog weinig bekend. In de afgelopen jaren zijn al een aantal toxiciteitstudies uitgevoerd om de milieueffecten van de verschillende klassen van nanodeeltjes te kunnen bepalen (voor een overzicht zie bijvoorbeeld Klaine e.a., 2008; Kahru & Dubourgier, 2010). Echter, vanwege het ontbreken van protocollen voor uitvoering van dit type testen met nanomaterialen, zijn de uitgevoerde testen niet op één gestandaardiseerde manier uitgevoerd. Het is dan ook moeilijk om algemene conclusies te trekken uit de studies die zijn uitgevoerd, aangezien vaak ook niet duidelijk is welke type en welke concentratie nanodeeltjes uiteindelijk is toegepast in de test (Aschberger e.a., 2011).

In het algemeen kan gezegd worden dat de metaal en metaaloxide nanomaterialen toxischer zijn voor verschillende groepen organismen (vis, kreeftachtige en planten) dan de op koolstof gebaseerde materialen als C₆₀ en CNT's. Binnen de groep van de metalen zijn nanozilver en nanozink weer toxischer dan bijvoorbeeld nanotitaandioxide en nanonkoperoxide (Aschberger e.a., 2011). Tevens blijkt dat het bij de metaaloxides uiteindelijk de opgeloste fractie te zijn, die uiteindelijk de toxiciteit bepaalt, in tegenstelling tot de koolstof nanomaterialen, waarbij vorm en aggregatie belangrijke factoren blijken te zijn (Blinova e.a., 2010).

3.7 Risicobeoordeling

Voor de uiteindelijke risicobeoordeling worden de blootstellingconcentraties, gemeten dan wel gemodelleerd, vergeleken met de effectconcentraties, zoals die zijn vastgesteld in toxiciteitsstudies (Van Leeuwen en Vermeire, 2007). Ook hier is weer een onderscheid gemaakt tussen de humane en ecologische risico's.

3.7.1 Humane risicobeoordeling

Modelberekeningen laten voor alle blootstellingsscenario's voor werknemers zien dat een risico niet is uit te sluiten, de effectniveau's zijn hoger dan de (veelal gemodelleerde) blootstellingsniveau's. Echter, gezien de onzekerheden in de risicobeoordelingen in zowel de blootstellings- als de effectkant dient hier verder geen conclusie aan te worden verbonden (Aschberger e.a., 2011).

Voor consumenten laten de scenario's zien dat op dit moment geen risico's optreden. Meteen stijgend gebruik van nanomaterialen in consumentenproducten kan dit beeld veranderen. Verder hebben beleidsmakers grote behoefte aan monitoringsgegevens, aangezien de huidige risicobeoordelingen grotendeels gebaseerd zijn op modelberekeningen, waarin vele aannames zijn gedaan, die grote onzekerheden introduceren in de risicobeoordelingen (Aschberger e.a., 2011).

3.7.2 Ecologische risicobeoordeling

In de ecologische risicobeoordeling worden PNEC-waarden (Predicted No Effect Concentrations) vergeleken met de gemeten of gemodelleerde blootstellingsconcentraties (van Leeuwen en Vermeire, 2007). Deze PNEC waarden worden bepaald aan de hand van resultaten van ecotoxicologische experimenten. Officiële PNEC waarden zijn nog niet beschikbaar, daarom wordt voor de ecotoxicologische effecten hier verder verwezen naar Aschberger et al, (2011) waarin een overzicht wordt gegeven van de negatieve effecten van de verschillende groepen van types nanomaterialen ten opzichte van de belangrijkste groepen van aquatische organismen. Hieruit volgt voor de verschillende types nanomaterialen qua ecotoxicologisch risico (effect maal blootstelling) de volgende ranking:

Nano-ZnO >> nano-Ag > nano-TiO₂ > Carbon Nano Tubes = C₆₀

Ook bij de ecologische risicobeoordeling moet opgemerkt worden dat deze met grote onzekerheden is omgeven, zowel aan de blootstelling als aan de effectenkant.

Conclusies

Uit bovenstaand overzicht van bestaande data betreffende zowel de humane als ecologische risicobeoordeling blijkt dat beide met grote onzekerheden zijn omgeven. Hieruit volgt dat een kwantitatieve risicobeoordeling voor zowel mens als milieu op dit moment nog niet zinvol is. In het vervolg van dit hoofdstuk wordt besproken hoe met deze onzekerheden in het huidige (inter)nationale beleid wordt omgegaan.

3.8 Huidig beleid en regelgeving betreffende risicobeoordeling van nanomaterialen

Bij de risicobeoordeling van stoffen is nationaal een aantal partijen betrokken; het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid voor de werknemer gerelateerde aspecten, het ministerie van Volksgezondheid en Welzijn voor consument gerelateerde aspecten, het ministerie van EZ voor landbouw gerelateerde aspecten en het ministerie van Infrastructuur en Milieu voor milieu gerelateerde aspecten. De regulering en wetgeving op het gebied van risicobeoordeling van stoffen ligt niet (meer) in Nederland, maar wordt afgestemd op een Europese schaal. Het belangrijkste instrument hierbij is de REACH regulering (Registration Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) (EC, 2006). Sinds de inwerkingtreding van de REACH regulering in 2007 ligt de verantwoordelijkheid voor de risicobeoordeling bij de producenten van de betreffende stoffen. De Europese Commissie heeft hierbij voornamelijk een controlerende en coördinerende functie. Hiervoor is een Europees agentschap in Helsinki opgericht, de European Chemicals Agency (<http://echa.europa.eu/nl/>). Alle voor Nederland relevante wet- en regelgeving op het gebied van nanodeeltjes komt ook uit Europa. De Europese Commissie wordt hierbij wetenschappelijk geadviseerd door The Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) en The Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER). Deze adviseren gevraagd en ongevraagd over risico's met betrekking tot nanomaterialen en doen aanbevelingen voor aanpassingen van de regelgeving.

De REACH wetgeving is ook het te volgen kader voor ander Europese Richtlijnen zoals de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) en de Marine Strategy Framework Directive (MSFD). In 2011 heeft de Europese Commissie een definitie voor nanomaterialen aanbevolen, deze is al in paragraaf 1.2 genoemd.

Het Europees Parlement heeft de Europese Commissie verzocht te beoordelen of het noodzakelijk is de wetgeving op een aantal terreinen, waaronder lucht, water, afval, industriële emissies en de bescherming van werknemers, voor nanomaterialen te herzien. De Europese Commissie heeft hiertoe in 2011 een tweede evaluatie laten uitvoeren (Ganzleben e.a., 2011). Uit deze evaluatie zijn door de Europese Commissie de volgende conclusies getrokken (EC, 2012):

- Wat betreft risico's op de werkplek heeft de Europese Commissie hiertoe een subgroep nanomaterialen van de werkgroep chemische stoffen ingesteld, die bezig is een ontwerpadvies over risicobeoordeling en -beheersing voor nanomaterialen op de werkplek op te stellen. Uiterlijk 2014 wordt een definitieve beoordeling van de wetgeving betreffende gezondheid en veiligheid op het werk uitgevoerd.
- Wat betreft risico's via consumentenproducten is de Commissie van oordeel dat de nieuwe aanpak en de wetgeving betreffende consumentenproducten in het algemeen het mogelijk maakt om nano-specifieke kwesties in overweging te nemen.
- Wat betreft milieurisico's concludeert de Commissie dat de milieuwetgeving in principe van toepassing is op nanomaterialen. Desondanks zullen zich mogelijk problemen voordoen en is een en ander niet in de praktijk getoetst. De voornaamste factoren die aanleiding geven tot identificatie van verontreinigende stoffen zijn de gevarencategorie volgens de Classification, Labelling en Packaging (CLP) verordening en informatie over blootstelling. Er is nog steeds een aanzienlijk gebrek aan gegevens over de blootstelling aan nanomaterialen via het milieu. Er zijn nog geen specifieke bepalingen voor nanomaterialen vastgesteld in de milieuwetgeving van de EU die kunnen leiden tot maatregelen ter beheersing van dergelijke verontreinigende stoffen door middel van monitoring, afzonderlijke behandeling of milieukwaliteitsnormen. Dit geldt ook voor maatregelen op het gebied van de risicobeheersing, zoals nieuwe milieukwaliteitsnormen, herziening van emissiegrenswaarden, een afzonderlijke vermelding van nanomaterialen in de afvalstoffenlijst en herziening van de criteria voor aanvaarding van afvalstoffen op stortplaatsen. Aangezien risicokarakterisering mogelijk afhangt van de deeltjesgrootte of de functionalisering van oppervlakken, is de verwachting dat het lastiger zal zijn om op basis van de milieuwetgeving, waar nodig, de precieze reikwijdte, dosimetrie en drempelwaarden vast te stellen dan het geval is bij conventionele verontreinigende stoffen. REACH dient in dit verband relevante gegevens te genereren. Zelfs wanneer het mogelijk is de aanwezigheid van specifieke nanodeeltjes in milieumedia of afvalstoffen aan te tonen, zou het technisch gezien moeilijk zijn om ze te scheiden of elimineren. "End-of-pipe"-maatregelen zouden daarom niet effectief zijn bij het voorkomen van potentiële negatieve gevolgen voor het milieu of de gezondheid en zouden ook geen oplossing bieden voor nieuwe uitdagingen op het gebied van recycling of kosteneffectieve herstelmaatregelen.

De overall conclusie van de Europese Commissie is dat het momenteel mogelijk is om risicobeoordelingen voor nanomaterialen uit te voeren, ondanks het feit dat er sprake is van bepaalde beperkingen zoals genoemd door wetenschappelijke comités en agentschappen (EC, 2012). Het betreft hierbij vooral de noodzaak van een wetenschappelijke benadering per geval voor de beoordeling van de verschillen tussen de bulkvorm en diverse nanovormen van dezelfde chemische stof. De belangrijkste vraag blijft in welke mate gegevens over een bepaalde vorm van een stof kunnen worden gebruikt om de veiligheid van een andere vorm te kunnen aantonen, aangezien de kennis van bijvoorbeeld de toxische werkingsmechanismen nog in ontwikkeling is. Verder vindt de Commissie dat REACH het

best mogelijke kader biedt voor de risicobeheersing in verband met nanomaterialen wanneer deze voorkomen als stoffen of mengsels, maar is uit de tweede evaluatie (Ganzleben e.a., 2011) gebleken dat binnen dit kader specifiekere voorschriften voor nanomaterialen noodzakelijk zijn.

3.9 Onzekerheden in risicobeoordeling

Zoals al in eerder in dit hoofdstuk is aangehaald, zijn de risico's van nanomaterialen, zowel voor de mens (arbeider, consument) als voor het milieu, nog moeilijk in te schatten. Enerzijds is weinig bekend over het gedrag van en de blootstelling aan nanomaterialen, anderzijds zijn de effecten van blootstelling ook met veel onzekerheden omgeven (zie ook Praetorius e.a., 2013). Verder is de aanpak volgens REACH niet zonder meer geschikt voor nanomaterialen omdat het risico naast de chemische stofeigenschappen, samenhangt met de deeltjesgrootte. In de huidige beoordeling van chemische stoffen volgens REACH is de leidende parameter de concentratie van een stof in een compartiment (water, bodem, lucht, organisme), uitgedrukt in bijvoorbeeld mg/l of mg/kg of mg/m³. Er komen steeds meer aanwijzingen dat deze parameter voor nanomaterialen niet de juiste parameter is, maar dat een risicobeoordeling op basis van aantal deeltjes (deeltjes/cm³) of hoeveelheid functioneel oppervlakte (m²/m³) een juist beeld geeft (Kreyling e.a., 2010; Praetorius e.a., 2013).

Uit de deskstudie en de interviews met de experts komt naar voren dat men vindt dat de huidige regelgeving voor nanomaterialen onvoldoende is. Zo heeft bijvoorbeeld de OECD Working Party on Manufactured Nanomaterials (WPMN) recent geadviseerd dat de wijze waarop met het begrip bioaccumulatie in de conventionele risicobeoordeling van stoffen wordt omgegaan, niet van toepassing kan zijn op nanodeeltjes (persoonlijke mededeling medewerker RIVM). Gezien de vele onzekerheden die gepaard gaan met de risicobeoordeling van nanomaterialen, is volgens de experts een zinvolle kwantitatieve risicobeoordeling op dit moment niet uit te voeren. De experts verwachten ook niet dat op korte of zelfs lange termijn (>10 jaar) Europese regelgeving op het gebied van nanomaterialen is te verwachten (persoonlijke mededeling medewerkers van TNO en Deltares). Dit geldt zowel op het gebied van humane risico's (REACH,) als op het gebied van milieu (REACH, EU-KRW). Overigens komt uit de interviews met de experts naar voren dat in Europa het nodige ongenoegen bestaat over het tempo waarmee regelgeving tot stand komt. Het heeft erg lang geduurd om een geaccepteerde definitie voor nanomaterialen tot stand te brengen. En het verplichten stellen van de registratie van nanomaterialen is ook een erg traag proces. Nederland speelt hierin een rol als aanjager van versnelling, maar hecht sterk aan uniforme regulering op Europees niveau (Le Blansch en Westra, 2012). Desondanks heeft Nederland besloten om tijdelijke referentiewaarden af te leiden voor blootstelling op de werkplek (Dekkers en De Heer, 2010; Ascher, 2012). Frankrijk heeft besloten om zelf een registratieplicht in te voeren, en enkele andere landen overwegen dat, maar willen weer een andere regeling dan Frankrijk^{49,50}. De Franse regeling leidt overigens maar tot een verplichting voor een heel klein aantal nanoprodukten. Deze ontwikkelingen geven echter wel aan dat de er iets moet gebeuren om de voortgang te versnellen. Voor de industrie werkt het uitblijven van heldere regelgeving remmend op allerlei innovatieve technieken, bij burgers begint onrust te ontstaan, en ook de nationale politiek begint om duidelijkheid te vragen.

⁴⁹ http://www.mst.dk/English/Chemicals/chemicals_action_plan/chemicals_action_plan.htm

⁵⁰ http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=20120810&numTexte=18&pageDebut=13166&pageFin=13167#

3.10 Voorzorgsprincipe

Gezien de vele onzekerheden in de risicobeoordeling van nanomaterialen geven meerdere stakeholders (milieubewegingen⁵¹, drinkwaterbedrijven⁵²) dan ook aan dat het voorzorgsprincipe zou moeten gelden, zie kader op volgende pagina.

Ook binnen de EU gaan er wetenschappelijke stemmen op om bij de risicobeoordeling van nanomaterialen met het voorzorgsprincipe rekening te houden. Zo zegt de al eerder genoemde SCENIHR in een van haar opinies dat “bij afwezigheid van geschikte data over risico’s het voorzorgsprincipe nodig is voor nanomaterialen die de potentie tot bioaccumulatie in mens en milieu hebben.” (SCENIHR, 2006).

In Nederland heeft de Sociaal Economisch Raad (SER) in haar “Advies Veilig omgaan met nanomaterialen op de werkvloer” aangeraden om het voorzorgsprincipe op de werkvloer toe te passen, “aangezien het overleg in Europees verband over hoe nanomaterialen in het kader van REACH te beoordelen nog niet is afgerond en gezien de onbekende en onzekere risico’s die aan het werken met nanomaterialen kleven.” (SER, 2009). Daarnaast geeft het RIVM in haar rapport over tijdelijk nano-referentiewaarden aan dat die tijdelijke nano-referentiewaarden enkel zijn bedoeld als pragmatische richtwaarden en niet als veilige blootstellingslimieten voor de werkplek mogen worden beschouwd. In de praktijk moeten werkgevers altijd proberen de blootstelling aan nanomaterialen zo laag mogelijk te houden ook als dat betekent dat de blootstelling veel lager is dan de tijdelijke nanoreferentiewaarden (Dekkers en De Heer, 2010).

Het voorzorgsprincipe

Het voorzorgsprincipe is een moreel en politiek principe dat stelt dat als een ingreep, toepassing of beleidsmaatregel ernstige of onomkeerbare schade kan veroorzaken aan de samenleving of het milieu, de bewijslast ligt bij de voorstanders van de ingreep, toepassing of maatregel als er geen wetenschappelijke consensus bestaat over de toekomstige schade.

Het voorzorgsprincipe is één van de uitgangspunten van Europese milieuwetgeving, net als het principe 'de vervuiler betaalt' en bijvoorbeeld het subsidiariteitsbeginsel. Overigens zijn de toelatingsregels voor chemicaliën volgens REACH mede gestoeld op het voorzorgsprincipe onder het motto “no data, no market”. In de praktijk bestaat er vrijwel geen beleidsmaatregel, toepassing of ingreep waarbij je elke 'ernstige of onomkeerbare schade' kunt uitsluiten. Een heel strikte interpretatie werkt daardoor verlamdend op elke besluitvorming. Een ander belangrijk kritiekpunt van het voorzorgsprincipe is dat het innovatie belemmert, omdat bij nieuwe producten en processen er veel meer onzekerheden zijn dan bij bestaande.⁵³

3.11 Conclusies risicobeoordeling

Concluderend kan gesteld worden dat op dit moment de onzekerheden rondom de mogelijke risico’s voor mens en milieu erg groot zijn. Een kwantitatieve risicobeoordeling is daarom op dit moment niet mogelijk, en het is de verwachting dat deze ook nog enige tijd op zich laat

⁵¹ <http://nano.foe.org.au/node/186>






⁵² http://www.vewin.nl/standpunten/Pages/Nanotechnologie_%20en_waarborg_drinkwaterkwaliteit.aspx

⁵³ www.wikipedia.org/nl


wachten. Naast een betere inschatting van het gevaar (toxiciteit) van verschillende klassen van nanomaterialen, is er ook grote behoefte aan blootstellingsgegevens van alle betrokken partijen. Tot die tijd wordt aangeraden om tijdens de toepassing van nanomaterialen zoveel mogelijk het voorzorgsprincipe toe te passen, wat in de praktijk inhoudt, dat de blootstelling aan nanomaterialen zoveel mogelijk moet worden geminimaliseerd.


In tabel 3.2 staat een overzicht van de mogelijke risico's die voor RWS van belang zijn op de verschillende taakvelden van RWS (waterkwaliteit, rijkswegennet, hoofdvaarwegennet).

Tabel 3.2: Indicatie van mogelijke risico's van verschillende toepassingen, relevant voor RWS.

Toepassing	Al op de markt	Korte termijn (0-5 jr.)	Lange termijn (jr.)		
Bouwnijverheid: beton en asfalt: <i>gebruik van TiO₂ zelfreinigend beton in kunstwerken (bruggen, sluizen), met als gevolg toename van emissies naar water.</i>		  			
Auto industrie toevoeging van Carbon Nano Tubes aan banden, ceriumoxide als katalysator aan diesel, vooral van belang voor arbeidersblootstelling					
Verzorging en gezondheid; <i>Toename van emissies van nanomaterialen naar aquatisch systeem toe als gebruik van verzorgingsproducten met nanoTiO₂, ZnO en textiel met nanozilver.</i>					

 = beheer waterkwaliteit

 =hoofdvaarwegennet

 =rijkswegennet

4 Politiek-bestuurlijke en maatschappelijke ontwikkelingen

Het in paragraaf 3.2 besproken beleid en de regelgeving betreffende risicobeoordeling van nanomaterialen zijn stand tot gekomen op een speelveld waarop veel partijen een rol vervullen.

Aan de ene kant zijn er producenten van nanomaterialen en van producten die nanomaterialen bevatten. De ontwikkeling van materialen met nieuwe eigenschappen en toepassing van deze innovaties in nieuwe producten krijgt steun van de overheid. Er wordt een bijdrage aan de economische ontwikkeling van deze innovatie verwacht. De ontwikkeling van omzet en wereldwijde productie, de prognoses van de groei in de nabije toekomst, de groei van het aantal nanomateriaal bevattende producten, de unieke eigenschappen van de nieuwe producten, de stimulering door de overheid door middel van het Topsectorbeleid (NL) en door middel van aanwijzing als Sleuteltechnologie (EC, 2012) maken duidelijk dat deze ontwikkeling zich zal doorzetten, wellicht minder sterk dan in eerdere marktverkenningen werd voorspeld. Tegelijkertijd zijn er partijen die zich zorgen maken over de gevolgen die deze materialen zullen hebben voor gezondheid en milieu. Sommige overheden proberen deze ontwikkelingen in goede banen te leiden en de risico's te reguleren zonder de economische ontwikkeling te hinderen. De overheid is zowel gebruiker van nanoprodukten als verantwoordelijk voor de gevolgen van de eventuele negatieve effecten, als werkgever, en als beschermer van mens en milieu. We kunnen dit speelveld ruwweg in drieën delen, namelijk toepassing, regulering, risico's.

In de Klankbordgroep Risico's Nanomaterialen waarin al deze partijen vertegenwoordigd zijn, worden zowel de mogelijke risico's als kansen tegen elkaar afgewogen, en wordt door alle partijen benadrukt dat samen wordt opgetrokken richting de Europese Commissie om nanomaterialen goed te reguleren zonder innovatie te belemmeren.

4.1 Toepassing

Aan de toepassingskant heeft zich de afgelopen jaren een interessante ontwikkeling voorgedaan. Een aantal jaren geleden was nano een "buzz" woord dat op vele producten terecht of onterecht werd gebruikt om het vernieuwende karakter van de ontwikkeling te benadrukken. Dit beeld is gekanteld. Tegenwoordig wordt het woord nano aan de productiekant gemeden, omdat het wordt beschouwd als een risico in de beeldvorming bij het publiek. Een onderzoek naar de aanwezigheid van nanodeeltjes in cosmetica toonde aan dat < 50% van de verpakkingen de aanwezigheid van nanodeeltjes vermeldde (Peters, 2011b).

Meerdere geraadpleegde experts geven aan dat het heel moeilijk is informatie te krijgen bij producenten over de aanwezigheid van nanodeeltjes in hun producten, laat staan informatie over de eigenschappen van de nanodeeltjes. De producenten tonen zich daarmee bewust te zijn van een potentieel probleem met de publieke opinie, en/of van de potentiële risico's van hun producten. De geraadpleegde experts verwachten dat in de nabije toekomst heel veel nieuwe producten met nanodeeltjes op de markt gaan komen. De voor RWS mogelijk interessante toepassingen zijn besproken in hoofdstuk 2.

De industrie ziet het belang van veilige ontwikkeling en toepassing van nanotechnologie en draagt bij aan onderzoeksprogramma's op dit gebied, onder andere via participatie in onderzoeksprogramma's als NanoNextNL.

Gebruikers schaffen nanoprodukten over het algemeen niet aan onder de vlag nano. Bij de aanschaf van producten speelt functionaliteit de hoofdrol. Verven met nano-titaniumdioxide worden gebruikt omdat ze langer wit blijven, niet omdat er nanodeeltjes in zitten. Bij

gebruikers is vaak niet bekend of er nanodeeltjes in het product zitten. Zolang registratie van nanodeeltjes bevattende producten niet verplicht is blijft het buitengewoon moeilijk om inzicht te krijgen waar, welke materialen, in welke hoeveelheden worden toegepast. Gezien de verwachte grote toename van aantal en hoeveelheid nanoprodukten op de markt kan deze situatie leiden tot een diffuse verspreiding van nanoprodukten, zonder dat er goed zicht is op de bronnen van deze diffuse verspreiding.

4.2 Regulering

Op het speelveld van de nanotechnologie en -materialen speelt de tegenstelling tussen de economische belangen en de veiligheidsrisico's een hoofdrol. Kansen en risico's moeten tegen elkaar worden afgewogen. Deze afweging kan zelfs gelden voor één en dezelfde toepassing als een nanomateriaal een betere functionaliteit paart aan een onbekend risico. Een voorbeeld hiervan is een medicijn dat in de waterzuivering niet wordt afgebroken en in het oppervlaktewater terecht komt. De nanotoepassing die leidt tot een lagere dosering van dat medicijn verlaagt daarmee de belasting, maar daartegenover staat een nieuwe belasting met het nanomateriaal waarvan het risico onbekend is. Een ander voorbeeld dat vaak genoemd wordt is het gebruik van nanomaterialen in zonnebrandcrème: zonder het gebruik van nanomaterialen in zonnebrandcrème hadden we nooit zonnebrandcrème met zo'n hoge beschermingsfactor gehad (en dus bijv. in Australië meer kankergevallen als gevolg van zonnestraling), maar de nanomaterialen in zonnebrandcrème zou ook wel eens schadelijk kunnen zijn. De snelle technologische ontwikkeling en de druk vanuit de economie bieden onvoldoende tijd om de risico's naar behoren te onderzoeken, ook al omdat voor deze nieuwe materialen ook nieuwe methodes voor risicobeoordeling moeten worden ontwikkeld. De diverse partijen zijn zich daarvan terdege bewust en kiezen een pragmatisch standpunt, zoals duidelijk wordt uit het afleiden van referentiewaarden en het toepassen van het voorzorgsprincipe, zie hoofdstuk 3.

Voor een gefundeerde bepaling van risico's zou voor iedere stof de hele waardeketen (value chain) moeten worden bekeken, waarin de productie-, toepassing- en de afvalfase in beschouwing worden genomen. Experts geven aan dat de risico's in de afvalfase op dit moment sterk onderbelicht zijn in de hele waardeketen. Pas als duidelijk is welke risico's bestaan en hoe de werkingsmechanismen zijn, kan een risicobeoordeling op groepen stoffen met bijvoorbeeld hetzelfde werkingsmechanismen worden gedaan. Uiteindelijk zal de risicobeoordeling voor nanomaterialen en – producten moeten worden opgenomen in de beoordeling van chemische stoffen. Geraadpleegde experts verwachten dat het onderzoek hiervoor nog enkele decennia nodig zal hebben. Er loopt een groot aantal onderzoeken, zowel in Nederland als in Europa. Deze zullen de komende jaren een grote stroom aan onderzoeksresultaten opleveren. In Europa wordt voor de regulering van nanomaterialen vooral veel verwacht van het grote 3-jarige EU-project NANoREG dat op 1 maart 2013, onder coördinatie van het ministerie van I&M, van start is gegaan. In dit project werken ruim 60 partners, zowel lidstaten als grote industrie, samen. Het onderzoek is gericht op regulering, maar ook op 'safe design'. In Nederland wordt veel verwacht van het al eerder genoemde NanoNextnl programma.

Regulering moet gebaseerd zijn op een gefundeerde afweging van kansen en risico's. Daarnaast spelen uiteraard ook politieke afwegingen. In Nederland is een aantal uitspraken gedaan die aangeven hoe Nederland zich opstelt op het gebied van nanotechnologie. Deze zijn onder ander te vinden in:

- De brief aan de Tweede Kamer waarin minister Asscher van SZW aangeeft dat het advies over het gebruik van nanoreferentiewaarden wordt overgenomen en geïmplementeerd door de arbeidsinspectie (Ascher, 2012).

- de brief aan de Tweede Kamer waarin Staatsecretaris Atsma van het ministerie van IenM (25 mei 2011) aangeeft dat Nederland probeert het proces bij de Europese Commissie te versnellen.
- Fiche 2: Mededeling evaluatie regelgeving nanomaterialen (9 nov 2012) van de werkgroep Beoordeling Nieuwe Commissievoorstellen (BNC).

In aanvulling op wat in Hoofdstuk 3 is geschreven over regulering is uit deze informatie duidelijk dat het voorzorgsprincipe wordt onderschreven, dat praktische voorstellen aan de Europese Commissie worden gedaan om het proces richting regulering van nanomaterialen te versnellen, zoals de ontwikkeling van een systeem voor Risico Analyse, en de verbetering van REACH. Daarnaast wordt er aangedrongen op versnelling van de regelgeving om te voorkomen dat lidstaten nationaal beleid gaan voeren.

4.3 Risico's

Aan de risico kant zijn diverse partijen actief. Hieronder valt onder andere het initiatief van het ministerie van VROM, in combinatie van SCW en VWS om de communicatie tussen partijen te organiseren waaruit het Kennis en Informatiepunt Risico's Nanotechnologie (KIR-nano) is voortgekomen⁵⁴. Diverse ministeries zijn opdrachtgever van dit informatiepunt. KIR-nano signaleert 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. KIR-nano kijkt ook naar blootstelling van het milieu aan nanomaterialen van de productie- tot de afvalfase. Daarnaast is het gedrag van nanomaterialen in de verschillende milieucompartimenten en de effecten op organismen een belangrijk onderwerp.

Onder voorzitterschap van het ministerie van I&M functioneert de Interdepartementale Werkgroep Risico's Nanomaterialen (IWR-nano). In deze werkgroep participeren de ministeries van I&M, VWS (Food en non food – voedsel en gezondheid, preventie, medische technologie), SZW (werknemersblootstelling) en EZ (landbouw en economische zaken) en OCW als agendalid (i.v.m. risico-onderzoek). Elk ministerie heeft een vertegenwoordiger. In het begin van deze werkgroep was er ook een vertegenwoordiger van RWS.

Door de Rijksoverheid zijn allerlei nationale initiatieven (mede) geïnitieerd, om bewustwording over (risico's van) nanodeeltjes te stimuleren.

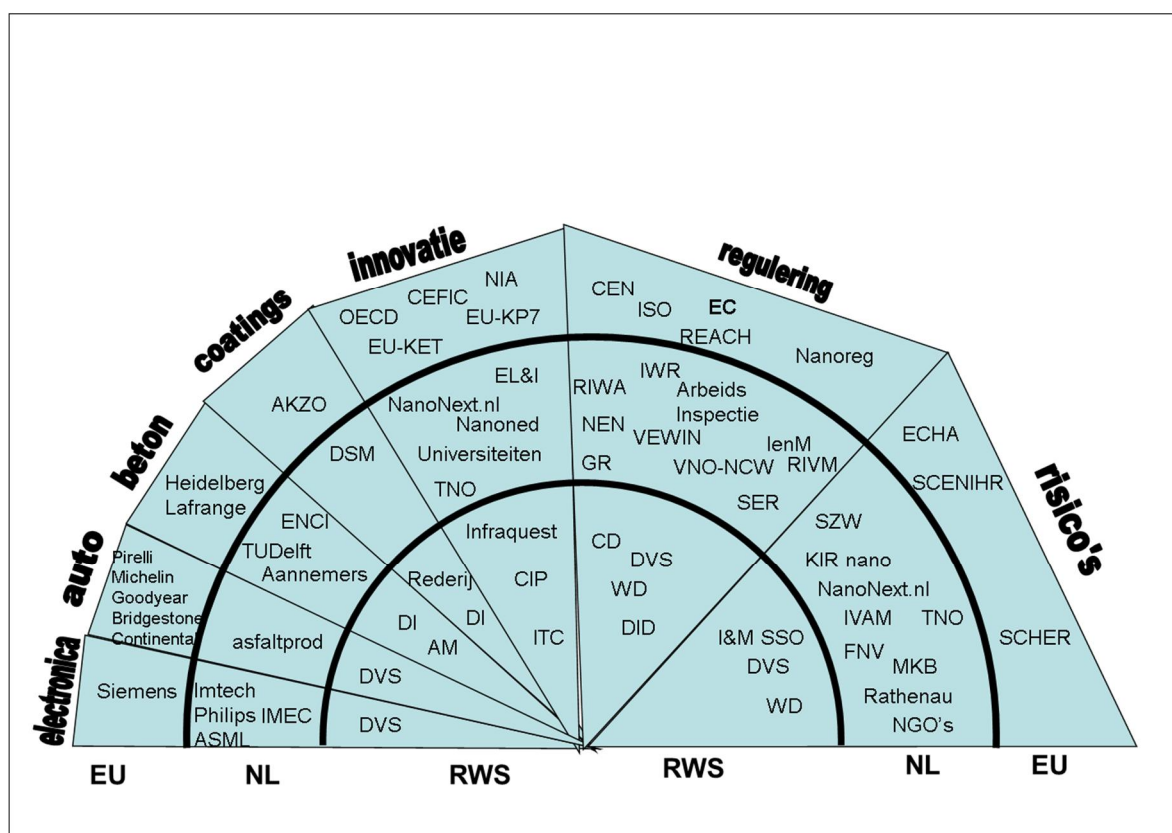
Vanuit de Sociaal Economische Raad (SER) is het eerder genoemde advies gegeven over veiligheid en gezondheidsmaatregelen op de werkplek. Ook de Gezondheidsraad heeft een aantal adviezen over werken met nanomaterialen gegeven, zie voor een overzicht <http://www.gezondheidsraad.nl/nl/search/results/nano>.

In 2011 is het Nanopodium geïndigd, een initiatief van de onafhankelijke Commissie Maatschappelijke Dialoog Nanotechnologie (CieMDN). Deze commissie was ingesteld om de maatschappelijke meningsvorming over nanotechnologie te stimuleren. 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 (www.Nanopodium.nl).

⁵⁴ http://www.rivm.nl/Onderwerpen/Onderwerpen/N/Nanotechnologie/Kennis_en_informatiepunt_risico_s_KIR_Nanotechnologie

4.4 Krachtenveldbeschrijving

In figuur 4.1 is een krachtenveldbeschrijving weergegeven. In deze figuur zijn de voor RWS relevante toepassingsgebieden van nanotechnologie weergegeven, namelijk elektronica, auto-industrie, coatings. Naast RWS als toepasser komt RWS ook als aanjager van innovaties en RWS als belanghebbende in de regulering van nanomaterialen in beeld. Partijen die een rol spelen zijn geplaatst in drie zones: RWS, Nederland en Europa. De partijen en onderlinge relaties worden per (toepassings-)gebied besproken. Veel van de toepassingen zijn echter nog alleen als idee of onderzoek aanwezig en realisatie kan nog vele jaren op zich laten wachten. Er is veel potentie, maar de onduidelijkheid is nog te groot voor een ontwikkeld systeem.



Figuur 4.1: Overzicht van belangrijke partijen rondom RWS. Afkortingen in de RWS Zone hebben de volgende betekenis: AM: RWS-DVS-Asset Management; CD: RWS-Corporate Diensten (Juridische adviseurs); CIP: RWS-Corporate Innovatie Programma; DI: RWS-Dienst Infrastructuur; DVS: RWS-Dienst Verkeer en Scheepvaart; ITC: RWS-Innovatie Test Centrum; Rederij: RWS-Rijksrederij Vlootbeheer; IenM SSO: RWS-Shared Services Organisatie (Arbo); WD: RWS-Waterdienst. Per 1 april 2013 is de RWS-organisatie gewijzigd; DVS, WD en delen van DI zijn opgegaan in de dienst Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL), de relevante onderdelen van DI zijn opgenomen in de Dienst Grote Projecten en Onderhoud (GPO) en CIP is overgegaan in de Dienst Centrale Informatievoorziening (CIV).

4.4.1 Elektronica

Op het gebied van Nanotechnologie wordt vooral gedacht aan verkeersgeleidingssystemen, sensortechnologie en snelle communicatiesystemen. Belangrijke partijen die betrokken zijn bij deze technologie zijn Siemens, ASM en ASML, en Philips. Onderzoeksinstituut IMEC in Eindhoven richt zich op de ontwikkeling van grote sensorsystemen en Imtech is een

belangrijke partij bij het installeren van echte praktijksystemen. De ontwikkeling van sensoren die communicatie van individuele voertuigen met de omgeving mogelijk maken is in volle gang. Integratie met verkeersgeleidingssystemen zal daarna volgen. RWS-DVS werkt in Trafficquest⁵⁵ met TU-Delft en TNO samen om realisatie van de mogelijkheden te verkennen.

4.4.2 *Auto-industrie*

Op het gebied van auto zijn er vele nano-gerelateerde ontwikkelingen aan auto's zelf zoals sensors, materialen en coatings, en de hierboven besproken ontwikkelingen van verkeersbegeleiding. De belangrijkste toepassing van nanomaterialen op het gebied van auto vindt plaats in de bandenbranche. Nanomaterialen worden al decennia toegevoegd in de vorm van Silica en Carbon Black. Andere Nano toevoegingen zitten al in prototype banden of zijn in onderzoek en zullen op korte en langere termijn op de markt komen (Observatorynano, 2011). De 5 belangrijkste producenten zijn Bridgestone, Continental, Goodyear, Michelin en Pirelli.

4.4.3 *Beton*

Naast de al in § 2.4 genoemde internationale wetenschappelijke initiatieven op het gebied van nanomaterialen in beton vinden er in de betonwereld grote ontwikkelingen op het gebied van Ultra Hoge Sterkte Beton (UHSB) plaats.

In het "Cement en Beton Centrum" heeft een aantal grote bedrijven zich verenigd voor de Nederlandse markt om het gebruik van beton te bevorderen, zowel in kwantiteit als in kwaliteit. Deze bedrijven zijn Italcementi Group, CEMEX Deutschland AG, Dyckerhoff AG, ENCI BV (Heidelberg CementGroup) en HOLCIM Nederland BV. Dit Centrum houdt zich bezig met marktonderzoek, communicatie, kennisoverdracht, technisch onderzoek en regelgeving. Men streeft hierbij naar functionele samenwerkingen binnen de betonsector. Ingenieursbureau CAE Nederland houdt een blog bij gewijd aan UHSB⁵⁶.

Tevens is er vrij recent een Wereldwijd netwerk voor het gebruik van nanotechnologie in wegmateriaal opgericht (Global Network of Nanotechnology and its applications to road materials and pavements). Het doel van dit netwerk is om gezamenlijk onderzoek op dit gebied te initiëren, om resultaten van dit onderzoek te promoten en om veelbelovende toepassingen naar de markt te brengen. De status van dit netwerk is zowel bij de schrijver van dit rapport als bij de klankbordgroep onduidelijk.

Romein Beton is een eerste toepasser van UHSB met de Gooisebrug, een voetgangersbrug met een lengte van 20 meter over de Leidsche Rijn in De Meern, gemeente Utrecht, in opdracht van de gemeente Utrecht⁴⁹. Enkele landen zoals Frankrijk, Japan en Australië hebben al relatief veel ervaring met het materiaal. De toepassing ervan is echter (nog) niet beschreven in de Eurocode 2, waardoor er in Nederland (nog) geen juridisch geaccepteerde richtlijnen zijn. Hierdoor wordt in Nederland nog maar zeer beperkt gebruik gemaakt van UHSB in de infrastructuur. Toepassing in Nederland van UHSB staat volgens de sector op doorbreken maar wacht op opdrachtgevers met durf. RWS Dienst Infrastructuur (DI) is de belangrijkste partij voor mogelijke toepassing van UHSB bij kunstwerken op het hoofdwegennet. RWS DI heeft richtlijnen voor kunstwerken opgesteld (ROK1.0). Hierin komt UHSB echter niet voor. De RWS DI website geeft ook geen indicaties dat de dienst betrokken is bij projecten voor toepassing. Daarnaast zijn er ontwikkelingen om asfalt te versterken en te voorzien van self healing eigenschappen. Dit zijn niet per se nano gerelateerde ontwikkelingen, maar onderzoeken worden wel gedaan naar structuren in asfalt op nanoschaal. Deze ontwikkelingen worden in het Infraquest programma uitgevoerd door TU-

⁵⁵ <http://www.traffic-quest.nl/>

⁵⁶ www.uhsb.nl

Delft, TNO en RWS-DVS; Ook de aannemers BAM en Heijmans spelen een rol. DVS werkt hierin nadrukkelijk samen met de markt. Omdat de marktpartijen allemaal dezelfde behandeling moeten krijgen, houdt DVS de markt open.

4.4.4 Coatings

Op het gebied van coatings en verven zijn al vele producten op de markt getuige de vele toepassers die hun producten aanbieden op het internet.

Observatorynano (2009) noemt als belangrijkste bedrijven:

- Bioni CS GMBH, een Duitse verfproducent van coatings voor de constructie industrie. Bioni's nanoverven werden ontwikkeld in samenwerking met Fraunhofer ICT.(www.bioni.de).
- Yaşar Paint and Chemicals is onderdeel van de Turkse Yaşar Group, en produceert verven en coatings voor o.a. constructie, auto, mariene toepassingen. Het bedrijf is een van de pioniers in nanoverven. (www.yasar.com.tr/English).
- Behr Paints is een van de belangrijkste leveranciers van verven voor constructies in de Noord-Amerikaanse markt (www.behr.com).
- Jotun is een Noorse leverancier van verven over de wereld. Ze produceren decoratieve verven, mariene coatings, beschermende coatings en poeder coatings. Vanaf herfst 2009 leveren ze ook nanoverven (www.jotun.com).
- Akzo Nobel is een Nederlands bedrijf dat verven, coatings en speciale chemicaliën levert aan verschillende industrieën (visit www.akzonobel.com).
- Ook DSM levert nanocoatings.

Als brancheorganisatie fungeert de Vereniging van Nederlandse Verf- en Drukinktfabrikanten (VVVF). Deze richt zich op een ketensamenwerking, waarin de onderdelen “uiterst lenig zijn in het doorgeven van innovaties van boven naar beneden en van marktbehoeftes of markteisen van beneden naar boven” (www.vvfv.nl). De VVVF stimuleert de samenwerking tussen grondstofleveranciers, verf- en drukinkt fabrikanten en kennisinstituten (zoals TNO, TU's, WUR of DPI) en creëert een open dialoog met belanghebbenden. Tevens wil de VVVF uitdagingen identificeren voor verder technologisch onderzoek (www.vvfv.nl).

Europees is er de Europese Associatie voor producenten en importeurs van verven en drukinkt, CEPE. CEPE is de Europese koepelorganisatie voor de verf- en drukinktindustrie, en vertegenwoordigt de belangen van ongeveer 1000 leden in de Europese Unie, Noorwegen en Zwitserland.(<http://www.cepe.org/>)

De VVVF is lid van CEPE, en neemt daarbinnen actief deel aan verschillende werkgroepen. Voor de industrie belangrijke nieuwe ontwikkelingen worden geïdentificeerd en opgevolgd, daarover worden standpunten geformuleerd en kennis en informatie wordt aan leden overgedragen.

De ketenaanpak wordt belangrijk in dit toepassingsgebied geacht om innovaties tot stand te brengen.

DSM Coating Resins – heeft in een PMZ project (Produkt gerichte Milieu Zorg) een Value Chain Network opgezet voor de waardeketen Coil, geverfde rollen staal of aluminium. De waardeketen bestond uit achtereenvolgens: monomeren, harsen, verf, coaten en eindproducten (zoals koelkastdeuren of gevelbekleding). De bedoeling was om gezamenlijk de milieuaspecten in de keten te onderzoeken en projecten uit te voeren voor verbetering van de eco-efficiency. Het netwerk heeft de onderlinge relaties verbeterd. Ook is al veel kennis uitgewisseld over de milieuaspecten in de keten. Daarmee is de basis gelegd voor nauwere

samenwerking in de toekomst op het gebied van kennisopbouw en concrete productverbetering.

Het project is er niet in geslaagd de werkwijze van het Value Chain Network om te zetten in een formele ketenaanpak en deze op te nemen in de bestaande kwaliteits- en milieuzorgsystemen ISO 9001 en ISO 14001. In een later stadium zal alsnog worden getracht dit te realiseren. Bij voorkeur wordt ook daarbij samengewerkt met de ketenpartners, omdat zij eveneens over deze gecertificeerde zorgsystemen beschikken.

Tata Steel (Corus) houdt als staalfabrikant de ontwikkelingen in de gaten maar past nog geen nanocoatings toe op hun producten.

Aan de kant van RWS zijn de Dienst Infrastructuur en de Rijksrederij belangrijk. Uit een interview met een medewerker van de Rijksrederij blijkt dat nanocoatings op dit moment nog geen rol spelen. Daarnaast is er een materiaaldeskundige voor coatings bij RWS-DI die contacten onderhoudt met zowel leveranciers als gebruikers. Deze geeft aan dat nanoverven (nog) alleen worden gebruikt in nichemarkten.

Op het internet zijn vele mogelijke toepassingen voor het gebruik van coatings op gebouwen te vinden, en deze toepassingen lijken enige vlucht te nemen, maar tot op heden vooral in de vorm van anti-graffiti maatregelen.

Het gebruik wordt enerzijds beperkt door de hoge prijs. Dat wordt ook bevestigd vanuit de constructie industrie. Deze investeert niet in verven vanwege de hoge kosten. Ook prijsverhogingen van grondstoffen (o.a. TiO_2) werken gebruik van nanoverven tegen. Anderzijds speelt gebrek aan duidelijkheid over richtlijnen en risico's ook een rol.

Nieuwe EU richtlijnen voor Volatile Organic Components (VOC) in verven zal het gebruik van nanoverven wellicht stimuleren. Als gevolg hiervan worden Nanoverven vooral gebruikt in de consumenten (Doe Het Zelf) en niche markten.

4.4.5 Innovatie

Hoewel alle partijen aan de toepassingskant met innovatie bezig zijn, bespreken we de partijen die speciaal op het realiseren van de nano-innovatie zijn gericht in een aparte paragraaf.

Om de potentie van nanotechnologie en nanomaterialen te realiseren, wordt veel onderzoek gesubsidieerd. Zo stimuleert de Europese Commissie nanotechnologie als Key Enabling Technology (KET). Ook zijn er vele projecten gestart in het 7e Kaderprogramma (KP7) op het gebied van nanotechnologie en nanomaterialen, zoals de eerder genoemde projecten NanoReg en NANOREM. Daarnaast spannen allerlei organisaties zoals de OECD en brancheorganisaties als CEPE (coatings, verven en inkt), CEFIC (Europese Chemische Industrie), NIA (vereniging Nanotechnologie Industrieën), etc. zich in om de nano innovatie te realiseren.

In Nederland wordt de nano innovatie gestimuleerd door de Rijksoverheid. Het grote samenwerkingsverband van bedrijven, universiteiten, kennisinstituten en universitaire medische centra, NanoNextNL, wordt mede gefinancierd door de Nederlandse Overheid. NanoNed, een consortium van 7 universiteiten, Philips en TNO, gericht op onderzoek en ontwikkeling van nanotechnologie, wordt gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken. Nanotechnologie is niet benoemd als één van de TopSectoren, maar speelt wel een belangrijke rol in een aantal van deze Topsectoren (o.a. High Tech Materialen en Systemen, Chemie, Energie en Life Sciences).

Op een aantal Nederlandse universiteiten lopen onderzoeksprogramma's gericht op nanotechnologie. Voor RWS zijn vooral relevant de TU Delft met onderzoek naar zelf helend beton en asfalt, TU-Eindhoven met onderzoek naar eigenschappen van nanomaterialen en

sensortechnologie evenals het Mesa Instituut van de TU Twente met vooral onderzoek aan materialen voor energieopwekking.

Bij RWS loopt een aantal op innovatie gerichte programma's. Het in par. 4.4.3. al genoemde Infraquest is een op innovatie gericht programma waarin RWS-DVS samenwerkt met TU Delft en TNO. RWS heeft een Corporate Innovatie Programma (CIP). In het CIP programma zijn geen nano gerelateerde innovaties gevonden.

4.4.6 Regulerings

De meeste voor Nederland relevante wet- en regelgeving op het gebied van nanodeeltjes komt uit Europa (zie ook hoofdstuk 3). De Europese Commissie is het 'ambtelijke orgaan' dat beleid voorbereidt dat in de EU-raad wordt vastgesteld. Politieke beïnvloeding verloopt via kabinet naar Raad (meestal Milieuraad en Concurrentieraad). Ambtelijke beïnvloeding zit in alle voortrajecten en daar doen alle betrokken ministeries aan mee. Belangrijk is het REACH registratie systeem dat door de ECHA (European Chemicals Agency) wordt beheerd. Het Europese Norm Instituut CEN (European Committee for Standardization) speelt ook een rol. Dat stelt Standaarden op voor de hele EU, nanotechnologie is een van de sectoren waar CEN zich mee bezig houdt.

Nederland

In Nederland zorgt een Interdepartementale Werkgroep Risico's Nanomaterialen (IWR-nano), voorgezeten door het Ministerie van I&M voor coördinatie. In deze werkgroep participeren de Ministeries van I en M, VWS (voor: Food en non food – voedsel en gezondheid, preventie, medische technologie), SZW (voor: werknemersblootstelling en ARBO) en EZ (voor: landbouw en economische zaken), en OCW (als agendalid). RWS is niet (meer) vertegenwoordigd in de IWR-nano.

De SER en de Gezondheidsraad zorgen voor adviezen. De reguleringen met betrekking tot arbeidsrisico's zijn vastgelegd in de ARBO wet en worden geëffectueerd door de Arbeidsinspectie. Technische voorschriften en normen voor veilige toepassing in constructies worden vastgelegd door de Internationale Organisatie voor Standardisatie ISO en het Nederlands Normalisatie-instituut NEN. ISO-normen zijn internationaal geldende normen op het gebied van veiligheid, milieuvriendelijkheid en kwaliteit. NEN is het nationale orgaan dat de Nederlandse uitgaven van deze ISO normen vertaalt en beheert.

Apart hiervan heeft RWS een verantwoordelijkheid voor de waterkwaliteit van de Rijkswateren.

Van RWS zijn verschillende onderdelen betrokken bij de regulering. De Corporate Dienst (CD) adviseert door middel van juridische adviezen over regelgeving, ook in REACH. Bij de Dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS) wordt de regelgeving getoetst op uitvoerbaarheid. De WaterDienst (WD) speelt een rol bij de uitvoering van de KRW, o.a. via de betrokkenheid van het Laboratorium van de WaterDienst in de meetprogramma's.

Uit interviews komt naar voren dat de Waterdienst zich afwachtend opstelt omdat de KRW geen meetverplichtingen voor nanodeeltjes oplegt. Als gevolg daarvan zijn er ook geen actieve voorbereidingen op een eventueel noodzakelijke aanpassing van de meetverplichting.

4.4.7 Risico's

De organisatiegraad aan de kant van de risico's is veel hoger dan aan de kant van de toepassingen. Hier speelt het RIVM een belangrijke rol in het organiseren van de communicatie tussen partijen middels het Kennis en Informatiepunt Risico's Nanotechnologie (KIR-nano). Diverse ministeries zijn hiervan opdrachtgever.

RIVM neemt ook deel in het Scientific Committee SCENIHR dat aan de EC adviseert.

Op ministerieel niveau is de Interdepartementale Werkgroep Risico's Nanomaterialen (IWR-nano) belangrijk. Daarnaast heeft het ministerie van SZW een aparte versie van de Stoffenmanager gelanceerd (<http://nano.Stoffenmanager.nl/>), waarmee de gezondheidsrisico's van blootstelling aan synthetische nanodeeltjes kwalitatief beoordeeld kunnen worden.

Naast ministeries is ook de vakbeweging actief. Vakcentrale FNV, FNV Bondgenoten, Abvakabo FNV en FNV Bouw hebben speciaal voor werknemers die met nanodeeltjes te maken hebben de site Nanowijzer www.Nanowijzer.nl gerealiseerd.

Het Midden en Klein Bedrijf (MKB) heeft met subsidie van de overheid een Vraagbaak Nano ingesteld waarmee beoogd wordt het Nederlandse bedrijfsleven te ondersteunen met praktische informatie en oplossingen over het veilig gebruik van nanomaterialen.

Het aan de Universiteit van Amsterdam gelieerde IVAM is zeer actief op het gebied van onderzoek en advisering betreffende de risico's van nanomaterialen voor gezondheid en milieu. IVAM adviseert hierover aan de SER. Ook TNO is een actieve partij op het gebied van onderzoek naar arbeidsgerelateerde blootstelling.

Daarnaast zijn er ook een aantal NGO's (Non-Governmental Organisations) die hun invloed proberen te doen gelden. Vooral de Stichting Natuur en Milieu is actief op dit gebied, en heeft een aparte website ingericht om de burger te informeren, www.nanocontrole.nl.

Binnen het grote NanoNextNI – programma, wat voor een substantieel gedeelte wordt gesubsidieerd door de Nederlandse Rijksoverheid, is één van de 10 thema's gewijd aan de human en milieurisico's van nanotechnologie. Daarnaast wordt van de projecten in de 9 andere sectoren verwacht dat zij bij de disseminatie van hun projecten ook aandacht schenken aan de mogelijke risico's van de door hen onderzochte en ontwikkelde nanotechnologieën.

RWS is bij de ontwikkelingen op Risico gebied vooral betrokken als werkgever en als opdrachtgever van infrastructurele projecten. Daarbij zijn de dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS) en de ARBO deskundigen van het ministerie van IenM (SSO) betrokken, om veilige werkomstandigheden voor bijvoorbeeld weginspecteurs te bewaken. Milieurisico-reguleringen kunnen leiden tot betrokkenheid bij de verspreiding van proces gegenereerde nanodeeltjes, bijvoorbeeld door het wegverkeer. De Waterdienst (WD) is betrokken bij het voorkomen van milieurisico's in de Rijkswateren en bij de afgifte van lozingsvergunningen.

Veel partijen zijn bezig om het potentieel van nanotechnologie en nanomaterialen te realiseren. Toch lijkt het tempo te haperen. De geïnterviewde deskundigen aan de risicokant verwachten de komende jaren een stroom van producten op de markt en daarnaast een stroom van onderzoeksresultaten. De websites van aanbieders wekken de suggestie dat de doorbraak bijna een feit is. Daartegenover staat de praktijkervaring dat er maar heel weinig echte toepassingen in de praktijk te vinden zijn (buiten de huidverzorgingsproducten, die slechts indirect voor RWS van belang zijn). Dat wordt ook bevestigd door contacten met experts aan de toepassingskant. De voortgang lijkt te worden gehinderd door een aantal zaken:

- De hoge prijs van de nanomaterialen;
- Onzekerheid over de werkzaamheid op langere termijn (duurzaamheid);
- Onzekerheid over de risico's op het gebied van ARBO, gezondheid en milieu;
- Onzekerheid over toekomstige regelgeving;
- Gebrek aan "launching customers".

Deze zaken hangen allen samen met een vroeg stadium van marktonwikkeling. De partijen aan de risicokant hebben zich georganiseerd. De partijen kennen elkaar goed en onderzoek en de ontwikkeling van regelgeving is in gang gezet. Voor de komende jaren worden veel

resultaten verwacht waardoor een aantal onzekerheden zullen worden verkleind. Het zal echter naar verwachting nog geruime tijd (decennia) duren voor een geaccepteerde onderbouwing van risico's en regulering is gerealiseerd. De partijen die bij de regulering betrokken zijn vormen een georganiseerd netwerk, maar worden gehinderd in het opzetten van een gedegen regulering door een nog groot gebrek aan kennis en (meet-)methoden. Bovendien spelen hier zowel de belangen van de partijen aan de toepassingen kant als de potentiële risico's, die tegen elkaar moeten worden afgewogen.

De partijen aan de toepassingskant lijken veel minder georganiseerd. Er zijn veel aanbiedende partijen, gestimuleerd door overheden en brancheorganisaties, maar de verbinding met de potentiële gebruikers is zwak. Op enkele toepassingsterreinen is een ketenbenadering in ontwikkeling die deze verbinding kan versterken en er ook toe kan leiden dat "launching customers" met projecten instappen. Ook normering en certificering kunnen hier positief werken.

4.5 Conclusies en aanbevelingen

Voor de risico's en veiligheidsaspecten van nanomaterialen bestaan allerlei platforms, maar ook technische en functionaliteitsaspecten zijn van belang bij de keuze tussen een conventioneel materiaal en een nanomateriaal. De kennis die een gebruiker nodig heeft om bij inkoop de toe te passen materialen te beoordelen, is niet makkelijk beschikbaar. Een georganiseerde inkooporganisatie of platform (naar analogie van KIR-nano – KIT-nano - Kenniscentrum Informatie Toepassingen - nano) zou een grote rol kunnen spelen bij een veilige realisatie van het potentieel van nanotechnologie. Naast kennis op het gebied van producten en toepassingen, zou een dergelijk centrum ook belangrijk kunnen zijn voor het beschikbaar maken van de benodigde informatie over productsamenstelling en stoffeigenschappen.

Als potentiële gebruiker / opdrachtgever neemt RWS, op een enkele uitzondering na, een afwachtende positie in als het gaat om de toepassing van nanomaterialen. In het Corporate Innovatie Programma (CIP) van RWS lijkt toepassing van nanomaterialen nauwelijks een rol te spelen, op het gebied van coatings worden de ontwikkelingen in de gaten gehouden, maar is geen actieve betrokkenheid bij een ketenbenadering. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat op het gebied van Asset Management de ontwikkelingen op nanogebied worden voorbereid. Er zijn binnen RWS veel partijen betrokken in toepassingsgebieden waarbij de ontwikkelingen op het gebied van nanotechnologie en nanomaterialen een rol spelen. Coördinatie van al deze betrokkenen zou moeten worden versterkt om de randvoorwaarden voor een adequaat omgaan met mogelijkheden en risico's te versterken.

RWS heeft een aantal rollen: werkgever, potentiële gebruiker / opdrachtgever, en uitvoerder van regelgeving. Als werkgever volgt RWS de ARBO regels en is actief betrokken bij de voorbereiding van benodigde aanpassingen van ARBO regels aan het werken met nanomaterialen. Ook als uitvoerder van de KRW houdt RWS de ontwikkelingen op nanogebied in de gaten. In de KRW zijn nog geen regelingen opgenomen m.b.t. nanomaterialen. Er is (nog) geen actieve betrokkenheid van RWS bij de voorbereiding van nieuwe regelingen. De signalen dat de aanwezigheid van nanodeeltjes in oppervlaktewater ecotoxicologische risico's met zich mee kunnen brengen maken metingen en de ontwikkeling van meetmethodes wenselijk. RWS speelt echter niet een actieve rol in het onderzoek aan risico's. Afstemming van RWS met de Interdepartementale Werkgroep Risico's (IWR) is daarom wenselijk.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

- Sinds een aantal jaren staat nanotechnologie als opkomende technologie behoorlijk in de belangstelling, en de verwachtingen op dit gebied zijn dan ook hooggespannen. Uit de wetenschappelijke literatuur blijkt ook dat er veel mogelijkheden zijn. Wanneer echter wordt gekeken naar de huidige commerciële toepassingen, dan zijn die op dit moment nog vrij beperkt, wat wordt onderstreept door een aantal van de geïnterviewde personen. Hoewel het beeld enigszins verschilt per type nanomateriaal en toepassingsgebied, kan in het algemeen gesteld worden dat de hoge verwachtingen van enkele jaren geleden naar beneden moeten worden bijgesteld.
- Uit de deskstudie en de aanvullende interviews blijkt dat het lastig is om een compleet overzicht van de toepassingen met nanomaterialen te krijgen. Aan de kant van producenten van nanomaterialen is een lage graad van samenwerking, waardoor een overzicht van nanomaterialen niet ergens centraal beschikbaar is. Dit maakt het voor klanten als RWS lastig om informatie over eventuele aanwezigheid van nanomaterialen in producten te verkrijgen. Aan de risicokant bestaat een betere organisatiegraad.
- Naast de hoge investeringskosten, die gepaard gaan met innovatieve toepassingen, lijken ook steeds meer de onzekerheden rondom de risico's van nanomaterialen en de daarmee gepaard gaande onzekerheden rondom regelgeving een rem te gaan zetten op het verder ontwikkelen van toepassingen met nanomaterialen.
- Een toepassingsgebied waar wel al praktische toepassingen zijn te vinden en waar ook kansen voor RWS zijn te verwachten op korte termijn (<5 jaar) zijn de toepassingen in coatings en in beton. Hierdoor is in de toekomst mogelijk besparing op grondstoffen (lichter en steviger beton), besparing op CO₂ uitstoot (lichtere auto's door besparing materiaal) of een langere levensduur mogelijk (zelfreinigende, anti-graffiti coatings of zelfhelend beton), wat besparingen oplevert in beheer en onderhoud.
- Voor de langere termijn (>10 jaar) zijn het vooral de toepassingen binnen de sensortechnologie en de auto-industrie die veelbelovend zijn, en die voor RWS in de toekomst grote kansen kunnen bieden in termen van efficiëntere en goedkopere dataverwerking en efficiënter verkeersmanagement
- De vele mogelijke toepassingen van nanotechnologie en nanomaterialen in de auto-industrie kunnen aan de andere kant ook een negatief effect hebben op de werkvelden van RWS. Het betreft hier humane blootstelling aan nanomaterialen door emissies van autoverkeer die een mogelijk aanvullend risico opleveren voor RWS personeel op de weg. Dit additioneel risico valt onder de problematiek van ultrafijnstof (UFS) in de nanorange, waarvoor op dit moment geen beleid bestaat. Het ministerie van I&M heeft een traject ingezet, onder andere via bewustwording, om blootstelling aan UFS te beperken.
- De risico's van nanomaterialen voor water concentreren zich voornamelijk rondom de toepassingen in consumentenproducten en toepassingen in beton. Op dit moment

spelen nanomaterialen nog geen rol binnen de Europese Kaderrichtlijn Water, maar gezien de mogelijke toekomstige toenemende emissies van nanomaterialen naar het watersysteem toe verdient het aanbeveling om dit traject van nabij te blijven volgen.

- De afval- en recycle fase is qua risico's de grote onbekende in de totale levenscyclus van nanomaterialen. Samen met andere partijen kan RWS kan hier ook meer aandacht aan besteden bij duurzaamheidsproeven van materialen.
- Zowel de Europese Unie als in haar kielzog de Nederlandse Rijksoverheid stellen dat, ondanks enige onzekerheden de Europese regelgeving op het gebied van risico van chemische stoffen "in principe" voldoet voor nanomaterialen. Experts en een aantal lidstaten geven echter aan dat de huidige kaders voor risicobeoordeling niet voldoen en dat geharmoniseerde Europese en daaruit volgende nationale wetgeving waarschijnlijk nog lang op zich zal laten wachten. In afwachting daarvan geeft een groot aantal stakeholders aan dat het voorzorgsprincipe zoveel mogelijk toegepast dient te worden.

5.2 Aanbevelingen

- Als grote afnemer van een aantal producten waarin nanotechnologie waarschijnlijk een steeds belangrijkere rol gaat spelen (o.a. beton, asfalt, coatings), kan RWS een belangrijke rol vervullen in het stimuleren van deze innovaties via verschillende innovatieprogramma's. De weg- en waterbouw sector zelf brengt deze innovaties zelf onvoldoende op gang.
- Onderzoek op het gebied van risico's van nanomaterialen (zowel milieu als humaan) vindt op nationaal niveau voornamelijk plaats binnen het NanoNextnl programma, waarin alle belangrijke spelers (universiteiten, kennisinstututen en bedrijven) participeren. Aangezien RWS niet is aangehaakt bij dit programma, wordt aanbevolen om via een van de partners binnen NanoNextnl deze participatie te bewerkstelligen.
- Gezien het belang dat RWS heeft bij de interdepartementale Werkgroep Risico's nanomaterialen (Europese risicobeoordeling, wetgeving, ontwikkelingen analysemethoden) wordt aanbevolen om de betrokkenheid van RWS bij deze werkgroep op de een of ander manier te borgen. Een mogelijkheid zou zijn om dit via de vertegenwoordiger van het ministerie van I&M in deze werkgroep te laten lopen.
- Het huidige belang van nanotechnologie en nanomaterialen voor RWS lijkt vrij beperkt. De verwachting is dat dit belang in de nabije (<5jaar) en de daaropvolgende toekomst alleen maar zal gaan groeien. Daarom is het voor RWS van belang om de ontwikkelingen op het gebied van nanotechnologie en nanomaterialen binnen de voor RWS belangrijke werkvelden te blijven volgen en dit ook op de een of andere manier binnen de organisatie te borgen. Het instellen van een coördinator "kansen en risico's van nanomaterialen" binnen RWS zou hierbij een goede optie zijn.

6 Referenties

- Abu Al-Rub, R.K., A. I. Ashour, B. M. Tyson (2012). On the aspect ratio effect of multi-walled carbon nanotube reinforcements on the mechanical properties of cementitious nanocomposites. *Construction and Building Materials*, vol. 35, pp. 647–655.
- Ajayan, P.M. and O. Z. Zhou (2001). Applications of Carbon Nanotubes. In M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, Ph. Avouris (Eds.): *Carbon Nanotubes, Topics Appl. Phys.* 80, pp. 391–425. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Arul Mozhi Selvan, V., R.B. Anand, M. Udayakumar (2009). Effects of cerium oxide nanoparticle addition in diesel and diesel-biodiesel-ethanol blends on the performance and emission characteristics of a CI engine, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 4, No. 7, pp. 1-6.
- Arvidsson, R. (2012). Contributions to emission, exposure and risk assessment of nanomaterials. PhD thesis, University of Gothenburg, Sweden.
- Aschberger, K., C. Micheletti, B. Soll-Kluttgen, F.M. Christensen (2011). Analysis of currently available data for characterising the risk of engineered nanomaterials to the environment and human health - lessons learned from four case studies. *Environment International*, vol. 37, pp. 1143-1156.
- Asscher, L.F. (2012). Brief van de minister aan de Tweede Kamer betreffende SER advies nanoreferentiewaarden G&VW/GW/2012/7864.
- Atkins, L.T.D. (2009). Assessment of the effect of a Noxer® barrier on air quality. Report produced for the Highways Agency.
- Atsma, J. (2011). Brief van de staatssecretaris aan de Tweede Kamer betreffende Inzet op EU beleid Risico's Nanomaterialen. Kenmerk RB/2011046484.
- Azzazy, H. M.E., M.M.H. Mansour, S.C. Kazmierczak (2007). From diagnostics to therapy: Prospects of quantum dots. *Clinical Biochemistry*, vol. 40, pp. 917–927.
- Batley, G.E., J. K. Kirby, M. J. McLaughlin (2012). Fate and Risks of Nanomaterials in Aquatic and Terrestrial Environments. *Acc Chemical Research*, July 2012.
- Blinova, I, A. Ivask, M. Heinlaan, M. Mortimer, A. Karhu (2010). Ecotoxicity of nanoparticles of CuO and ZnO in natural water. *Environ. Poll.*, vol. 158, pp. 41-47.
- Borm, P.J.A., D. Robbins, S. Haubold, T. Kuhlbusch, H. Fissan, K. Donaldson, R. Schins, V. Stone, W. Kreyling, J. Lademann, J. Krutmann, D. Warheit, E. Oberdorster (2006). The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC. *Particle and Fibre Toxicology* 2006, vol. 3 pp.11-46.
- Broekhuizen, Van F. en P. van Broekhuizen (2009). Nano-products in the European Construction Industry. State of the art 2009. IVAM rapport.
- Broekhuizen, P. Van and L. Reijnders (2011). Building blocks for a precautionary approach to the use of nanomaterials: positions taken by trade unions and environmental NGOs in the European Nanotechnologies debate. *Risk Analysis*, vol. 31, pp. 1646-1657.

- Broekhuizen, P. Van , F. Van Broekhuizen, R. Cornelissen, L. Reijnders (2011). Use of nanomaterials in the European Construction industry and some occupational health aspects thereof. *J Nanopart Res*, vol. 13, pp 447-462.
- Brouwers, H.J.H. (2008). The role of nanotechnology for the development of sustainable concrete, *Proceedings of ACI Session Nanotechnology of concrete: recent developments and future perspectives (SP-254)*, 7 November 2006, Denver, U.S., 69-92, Eds. K. Sobolev and S.P. Shah, American Concrete Institute, Michigan, U.S.
- Carboni, A.E. E., N. Van den Brink, J.R. Parsons, K. Kalbitz en P. de Voogt (2012). Development of a new method to extract and analyse fullerenes and fullerene derivatives from soil using HPLC-MS. In *NanonextNL RATA meeting 9/11/2012*, Bilthoven.
- Dekkers, S., C. De Heer (2010). Tijdelijke nano-referentiewaarden. Bruikbaarheid van het concept en van de gepubliceerde methoden. RIVM Rapport 601044001/2010.
- De-Rui, D., Z. He, Z. Sun, J. Liu (2012). A new nano-cryosurgical modality for tumor treatment using biodegradable MgO nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, vol.8, pp. 1233–124.
- De Waard, H. (2010). Nanotechnologie en farmacologie. In P. Oomen, T. Wobbes, T. Bemelmans (eds.) *Nanotechnologie, betekenis, beloftes en dilemma's*. Valkhof Pers.
- Donaldson, K. F. A Murphy, R. Duffin, C. A. Poland (2010). Asbestos, carbon nanotubes and the pleural mesothelium: a review of the hypothesis regarding the role of long fibre retention in the parietal pleura, inflammation and mesothelioma. *Particle and Fibre Toxicology* vol. 7:5.
- Ellen, G.J., C. Enzing, H. Luiten, M. Willems (2005). Nanotechnologie en de kansen voor het milieu. TNO rapport I&R 2005-17.
- Elvin, G. (2007). Nanotechnology for Green Building, Green Technology Forum.
http://esonn.fr/esonn2010/xlectures/mangematin/Nano_Green_Building55ex.pdf
- EC (2006). Verordening (EG) nr. 1907/2006 van het Europees Parlement en de Raad van 18 december 2006 inzake de registratie en beoordeling van en de autorisatie en beperkingen ten aanzien van chemische stoffen (REACH), tot oprichting van een Europees Agentschap voor chemische stoffen, houdende wijziging van Richtlijn 1999/45/EG en houdende intrekking van Verordening (EEG) nr. 793/93 van de Raad en Verordening (EG) nr. 1488/94 van de Commissie alsmede Richtlijn 76/769/EEG van de Raad en de Richtlijnen 91/155/EEG, 93/67/EEG, 93/105/EG en 2000/21/EG van de Commissie.
- Europese Commissie (2011). High-level Expert Group on Key Enabling Technologies
http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/kets/hlg_report_final_en.pdf
- Europese Commissie (2012). Commission Staff Working Paper. Types and uses of nanomaterials, including safety aspects. Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee on the Second Regulatory Review on Nanomaterials. COM (2012) 572 final.
- Farré, M., S. Perez, K. Gajda-Schranz, V. Osorio, L. Kantiani, A. Ginebreda (2010). First determination of C₆₀ and C₇₀ and N-methylfulleropyrrolidine C₆₀ on the suspended material

- of wastewater effluents by liquid chromatography hybrid quadrupole linear ion trap tandem mass spectrometry. *J Hydrol*, vol. 383, pp. 44-51.
- Foss Hansen, S., B. H. Larsen, S. I. Olsen and A. Baun (2007). Categorization framework to aid hazard identification of nanomaterials. *Nanotoxicology*, vol. 1(3): pp.243 - 250.
- Ganzleben, C., F. Pelsy, S. Foss Hansen, C. Corden, B. Grebot, M. Sobey (2011). Review of Environmental Legislation for the Regulatory Control of Nanomaterials Contract № 070307/2010/580540/SER/D. Final Report.
- Gogos, A., K. Knauer, T. D. Bucheli (2012). Nanomaterials in Plant Protection and Fertilization: Current State, Foreseen Applications, and Research Priorities *J. Agric. Food Chem.*, vol.60 (39), pp 9781–9792.
- Gottschalk, F., T. Sonderer, R.W. Scholz, B. Nowack (2009). Modelled environmental concentrations of engineered nanomaterials (TiO₂, ZnO, CNT, Fullerenes) for different regions. *Environ. Sci. Technol.*, vol. 43, pp. 9216-9222.
- International Agency for Research on Cancer (1997). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 68, Silica, some silicates, coal dust and paraaramid fibrils. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 1997.
- Kaegi, R., Ulrich, A., Sinnet, B., Vonbank, R., Wichser, A., Zuleeg, S., Simmler, H., Brunner, S., Vonmont, H., Burkhardt, M., Boller, M.(2008). Synthetic TiO₂ nanoparticle emission from exterior facades into the aquatic environment. *Environ. Poll.*, vol. 156, pp. 233-239.
- Kaegi, R., B. Sinnet, S. Zuleeg, H. Hagendorfer, E. Mueller, R. Vonbank, M. Boller, M. Burkhardt (2010). Release of silver nanoparticles from outdoor facades. *Environ. Poll.*, vol. 158, pp. 2900-2905.
- Kaegi, R., A. Voegelin, B. Sinnet, S. Zuleeg, H. Hagendorfer, M. Burkhardt, H. Siegrist (2011). Behavior of Metallic Silver Nanoparticles in a Pilot Wastewater Treatment Plant. *Environ. Sci. Technol.*, 2011, vol. 45, pp. 3902–3908
- Kahru, A., H-C Dubourgier (2010). From ecotoxicology to nanoecotoxicology. *Toxicology*, vol. 269, pp. 105-119.
- Kampers, F. (2010). Toepassingen van nanotechnologie in voeding. In P. Oomen, T. Wobbes, T. Bemelmans (eds) nanotechnologie, betekenis, beloftes en dilemma's. Valkhof Pers.
- Khin, A M. M., Sreekumaran Nair, V. Jagadeesh Babu, R. Murugana, S. Ramakrishna (2012). A review on nanomaterials for environmental remediation. *Energy Environ. Sci.*, vol. 5, pp. 8075-8109.
- Kiser, M.A., P. Westerhof, T. Benn, Y. Wang, J. Péreze-rivera, K. Hristovski (2009). Titanium Nanomaterial Removal and Release from Wastewater Treatment Plants. *Environ. Sci. Technol.* 2009, vol. 43, pp. 6757–6763.
- Klaine, S.J., P.J.J. Alvarez, G.E. Batley, T.F. Fernandes, R.D. Handy, D.L. Lyon, S Mahendra, M.J. McLaughlin, J.R. Lead (2008). Nanomaterials in the environment: behaviour, fate, bioavailability, and effects. *Environ. Toxicol. Chem.*, vol. 27, pp. 1825-1851.

- Koelmans, A.A., B. Nowack, M.R. Wiesner (2009). Comparison of manufactured and black carbon nanoparticle concentrations in aquatic sediments. *Environmental Pollution*, vol.157, pp. 1110 - 1116.
- Konsta-Gdoutos, M.S., Z. S. Metaxa, S. P. Shah (2010). Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials. *Cement and Concrete Research*, vol. 40, pp. 1052–1059.
- Kreyling, W.G, M. Semmler-Behnke, Q. Chaudhry (2010). A complementary definition of nanomaterial. *Nano Today*, vol. 5, pp. 165-168.
- Lazaro, A., H.J.H. Brouwers, G. Quercia Bianchi, J.W. Geus (2012). The properties of amorphous nano-silica synthesized by the dissolution of olivine, *Chemical Engineering Journal* 211-212, pp. 112-121.
- Levard C., Hotze E.M., Lowry G.V., Brown G.E. Jr (2012). Environmental transformations of silver nanoparticles: impact on stability and toxicity. *Environ Sci Technol*. Vol. 46, pp. 6900-6914.
- Lee, J, Mahendra, S, Alvares, P.J.J (2009). Potential environmental and human health impacts of nanomaterials used in the construction industry. In: Bittmar, Z et al., (eds) *Nanotechnology in Construction 3*, proceedings of the NICOM3, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Le Blansch, K., J. Westra (2012). *Procesevaluatie risicobeleid Nanotechnologie. Lessen voor beleid ten aanzien van onzekere risico's*. Bureau KLB.
- Lorenz, C., N. Von Goetz, M. Scheringer, M. Wormuth, K. Hungerbühler (2011). Potential exposure of German consumers to engineered nanoparticles in cosmetics and personal care products. *Nanotoxicology*, vol. 5, pp. 12-29.
- Lux Research (2009). *The Recession's Ripple Effect on Nanotech*. rapport
- Markus, A.A., R.W.P.M. Laane, J.R. Parsons, E.W.M. Roex (2013). Estimating contribution of nanoparticles (Zn, Ti, Ag) to two Dutch rivers. *Science of the Total Environment*, vol. 4456-467, pp. 154-160.
- McCrae, I (2009). Review Scientific Board. International review of the Air Quality Innovation Programme (IPL). DVS rapport IPL-8.
- Meyer, D.E., M.A. Curran, M.A. Gonzalez (2009). An examination of existing data for the industrial manufacture and use of nanocomponents and their role in the life cycle impact of nanoproducts. *Environ. Sci. technol.*, vol 43, pp. 1256-1263.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2005). *Asbest in wegbermen van rijkswegen, oriënterend onderzoek, eindrapport oktober 2005*.
- Mueller, N., and B. Nowack (2008). Exposure modelling of engineered nanoparticles in the environment. *Environ. Sci. Technol*, vol. 42, pp. 4447-4453.
- Nanotech-solutions (2012). Multifunctionele Nano Coatings <http://nanotech-solutions.nl>

- Oberdörster, G., E. Oberdörster, J. Oberdörster (2005). Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ. Health. Perspect.*, vol 113, pp. 823–839.
- Oberdörster, G., V. Stone, K. Donaldson (2007). Toxicology of nanoparticles: a historical perspective. *Nanotoxicology*, vol. 1, pp. 2-25.
- Observatorynano (2009).
http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/ObservatoryNANO_Economic_assessment_auto_aeronautics_final_report.pdf
- Observatorynano (2009). Paint <http://www.observatorynano.eu/project/document/2528/>
- Observatorynano (2011). Briefing No.23 Transport - Nanotechnology in auto tyres
- Ogilvie-Hendren, C., X. Mesnard, J. Droge, M. R. Wiesner (2011). Estimating Production Data for Five Engineered Nanomaterials As a Basis for Exposure Assessment. *Environ. Sci. Technol.*, vol 45, pp. 2562-2569.
- Park ,K-C, H.J. Choi , C-H. Chang , R.E. Cohen, G.H. McKinley, G. Barbastathis (2012). Nanotextured Silica Surfaces with Robust Superhydrophobicity and Omnidirectional Broadband Supertransmissivity, *ACS Nano*, vol. 6., pp. 3789–3799.
- Peters, R.J.B. (2011a). Zilver nanomaterialen in textiel. Rikilt rapport 2011.016.
- Peters, R.J.B. (2011b). Nanodeeltjes is cosmetic. RIKILT-rapport 2011.009
- Praetorius, A. R. Arvidsson , S. Molander, M. Scheringer (2013). Facing complexity through informed simplifications: a research agenda for aquatic exposure assessment of nanoparticles. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, vol. 15, pp. 161-168.
- Prakash, S., Chakrabarty, T., Singh, A.K., Shahi, V.K. (2013). Polymer thin films embedded with metal nanoparticles for electrochemical biosensors applications, *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 41, pp. 43-53.
- Pronk, M (2009). IPL-project TiO₂ coatings: Een internationale verkenning naar effecten van Titaniumdioxide (TiO₂) op de NO_xconcentratie. Rijkswaterstaat rapport.
- Pronk, A., D. Brouwer, M. op de Weegh-Nieboer, C. Bekker, S. Dekkers, E. Tielemans (2011). Vervaardiging en gebruik van nano-eindproducten in Nederland. TNO rapport V9300.
- Quik, JTK, MC Stuart, M Wouterse, W Peijnenburg, AJ Hendriks, D van de Meent (2012). Natural colloids are the dominant factor in the sedimentation of nanoparticles. *Environ. Toxicol. Chem.* vol. 35, pp. 1019-1022.
- Redeker, D. (2012). Putting their noses to the same grindstone. *Nanotextnl*, vol. 1, Oct. 2012.
- Sanchez, F., K. Sobolev (2010). Nanotechnology in concrete – A review. *Construct Build Mater*, vol. 24, pp. 2060-2071.
- SCENIHR (2006). modified Opinion (after public consultation) on the appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies.

Sociaal Economische Raad (2009). Advies Veilig omgaan met nanomaterialen op de werkplek. SER advies 09/01.

Som, C., P. Wick, H. Krug, B. Nowack (2011). Environmental and health effects of nanomaterials in nanotextiles and facade coatings. *Environment International*, vol. 37, pp. 1131-1142.

Struijs, J., D. van de Meent, W. Peijnenburg, E. Heugens, W. de Jong, W Hagens, J. Hofman, E. Roex (2007). Nanodeeltjes in water. RIZA rapport nummer 2007.028.

Tiede, K., A.B.A. Boxall, X. Wang, D. Gore, D. Tiede, M. Baxter, H. David, S. P. Teare, J. Lewis (2010). Application of hydrodynamic chromatography-ICP-MS to investigate the fate of silver nanoparticles in activated sludge. *J. Anal. At. Spectrom.*, vol. 25, pp. 1149–1154.

UNEP (2007). Emerging challenges. Nanotechnology and the environment.
http://www.unep.org/yearbook/2007/PDF/7_Emerging_Challenges72dpi.pdf

U.S. EPA (2004). Air Quality Criteria for Particulate Matter. Vol. 3. 600/P-95-001cF. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.

Van Ganswijk, J.W.W (2009). Invloed TiO₂ coatings op de luchtkwaliteit. Eindrapport onderzoek naar de werking van TiO₂ coatings op geluidsschermen ter vermindering van NO₂ concentraties in de lucht langs snelwegen. RWS-DVS rapport IPL-4a.

Van Maanen-Vernooij, B., M. Le Feber, F. van Broekhuizen, P. van Broekhuizen (2012). Pilot “kennis delen Nano in de verfketen. TNO-rapport V9445-1.

Van Wijnhoven, S.W.P, S. Dekkers, M. Kooi, W.P. Jongeneel, W.H. de Jong (2010). Nanomaterials in consumerproducts. Update of products on the European Market in 2010. RIVM rapport 340370003/2010.

Van Leeuwen, C and T. Vermeire (2007). Risk Assessment of Chemicals: An Introduction. Hardback, Jul 2007, second edition, ISBN-13: 9781402061011, Springer-Verlag.

Vrouwe, A. (2012). Splitting light for a higher yield, *Nanotextnl*, volume 1, October 2012.

Werkgroep Beoordeling Nieuwe Commissievoorstellen (BNC) (2012). BNC fiche CON (2012) 572 Mededeling Evaluatie Regelgeving Nanomaterialen. Kamerstuk Tweede Kamer 22112.

Woodrow Wilson Institute (2012). The Project on Emerging Technologies,
<http://www.nanotechproject.org>

Xu, P., G.M. Zeng, D L. Huang, C.L. Feng, S. Hu, M.H. Zhao, C. Lai, Z. Wei, C. Huang, G. X. Xie, Z. Feng Liu (2012). Use of iron oxide nanomaterials in wastewater treatment: A review. *Science of the Total Environment*, vol. 424, pp.1–10.

Zhu, Q.Q, F. F Tao, Q.Q Pan (2010) Fast and selective removal of oils from water surface via highly hydrophobic core-shell Fe₂O₃ nanoparticles under magnetic field. *Applied materials and interfaces*, vol. 2, pp. 3141-3146.

A Samenstelling klankbordgroep

Sander Wander	arbeidshygenist, SSIO, Ministerie van I&M
Rob Berbee	milieuchemicus, Afdeling emissiebeheer, RWS waterdienst
Gerard Stroomberg	milieuchemicus, Laboratorium, RWS Waterdienst
Bert Bellert	adviseur afdeling waterkwaliteit, RWS Waterdienst
Joos Gulikers	adviseur beton, RWS Dienst Infrastructuur
John Duijsens	adviseur duurzaamheid, RWS Dienst Infrastructuur
Riekele de Boer	adviseur luchtkwaliteit, RWS Dienst verkeer en Scheepvaart
Carolien Nieuwland	adviseur coatings, RWS Dienst Infrastructuur
Sandra Erkens	adviseur asfalt, RWS Dienst infrastructuur
Evert Schut	adviseur duurzaamheid materialen, RWS Waterdienst
Claudia van Hoorn	juriste, RWS Corporate Dienst
Gerwin Schweitzer	adviseur duurzaamheid, Dienst Infrastructuur

B Overzicht geraadpleegde personen

Erik Schlangen	TU Delft, onderzoeker selfhealing technieken
Urs Stauer	TU Delft, onderzoeker sensortechnieken
Chris Verhoeven	TU Delft, onderzoeker sensortechnieken
Hans van der Weijde	Tata Steel, Manager onderzoek metaalcoatings
Erik Tielemans	TNO Zeist, arbeidshygenist coördinator Nanocentre
Adrienne Sips	RIVM, humaan toxicoloog/arbeidshygenist, expert risico's van nanomaterialen en wetgeving
Fleur van Broekhuizen	IVAM, Onderzoeker toepassingen en risico's van nanomaterialen met focus op bouwmaterialen
Pieter van Broekhuizen	IVAM Onderzoeker toepassingen en risico's van nanomaterialen met focus op bouwmaterialen.
Monique Bosman	Ministerie van IenM Milieu en Internationaal, coördinator risico's nanotechnologie.
Karin Jongkind	Ministerie van EZ, bedrijfsleven en Innovatie, projectleider nanotechnologie
Alexander Schmets	TU Delft, onderzoek selfhealing materials
Dirk Kuijt	RWS Rijksrederij, coatings t.b.v. antifouling
Richard Brouwer	ENCI, toepassingen nanotechnologie in beton
Theo de Veer	ENCI, toepassingen nanotechnologie in beton
Jeroen van Houwelingen	Nanonextnl, programmaleider
Frans op de Beek	RWS topadviseur verkeermanagement
Paul Kroon	RWS DVS, kennis functioneren Europese organisaties
Pieter van Vliet	RWS, coördinerend/specialistisch adviseur veiligheid

C Standaard vragenlijst experts

Interviewvragen risico's:

1. Welke rol speelt u binnen het speelveld "risico's van nanotechnologie"?
2. Welk gedeelte van uw tijd besteedt u aan het onderwerp?
3. Bij welke projecten op dit gebied bent U betrokken?
 - a. Waar ziet u raakvlakken met RWS? Welke zijn dit dan?
 - b. Ziet u toegevoegde waarde voor RWS om hier aan deel te nemen / te participeren / kan RWS hier een rol spelen?
4. Betreft uw expertise vooral een gedeelte van het toepassingsgebied, deeltjes, compartimenten
5. Wat zijn uw belangrijkste informatiebronnen?
6. Wat zijn voor U de belangrijkste spelers in het veld?
7. Hoe schat U de risico's van nanodeeltjes in? Groot/klein
8. Zo ja groot, Waar verwacht U de grootste risico's en waar baseert U dat op?
 - a. wat zijn dat dan voor risico's?
 - b. voor wie of wat is het een risico? Milieu? Arbo/ persoon / bedrijfsvoering?
 - c. Welke risico's ziet u voor RWS ihkv. Watersysteem / vaarwegen / hoofdwegen?
9. Wat zijn de belangrijkste lacunes/uitdagingen op dit gebied?
 - a. Waaruit bestaan die uitdagingen dan?
 - b. Waarom is het een uitdaging? (technisch / praktisch / ontbreken van beleid en/of wetgeving / kosten?)
10. Wat vindt U van de rol van Nederland op dit gebied? Voldoende/onvoldoende?
11. Indien onvoldoende, waar zou Nederland op moeten inzetten?
12. Wat vindt u van de huidige wetgeving op dit gebied. Zowel nationaal als internationaal?
 - a. Welke wetten zijn er?
 - b. Wat voor wetten zouden er moeten zijn?
13. Wat verwacht U van de toekomstige ontwikkelingen van nanotechnologie?
14. Wie zouden wij absoluut nog verder moeten interviewen op uw vakgebied en waarom dit gebied?
15. Wie zouden we in het breder perspectief van nanotechnologie verder moeten interviewen?

Interviewvragen toepassingen:

- 1 Welke rol speelt u binnen het speelveld“ toepassingen/kansen van nanotechnologie”?
- 2 Wat houdt die rol in?
- 3 Waarvoor verantwoordelijk?
- 4 In welk stadium bevindt u bedrijf / onderzoek m.b.t. de toepassing van nanotechnologie? Lab fase / testfase / dagelijkse toepassing?
- 5 Hoelang nog tot ‘dagelijkse’ toepassing?
- 6 Welke gedeelte van uw tijd besteedt u aan het onderwerp?
- 7 Bij welke projecten op dit gebied bent U betrokken?
- 8 Waar ziet u raakvlakken met RWS? Welke zijn dit dan?
- 9 Ziet u toegevoegde waarde voor RWS om hier aan deel te nemen / te participeren / kan RWS hier een rol spelen?
- 10 Welk toepassingsgebied betreft het?
- 11 In welke netwerken speelt U een rol? (wat is de relatie met RWS netwerken?)
- 12 Wat zijn voor U de belangrijkste spelers in het veld?
- 13 Voor welke toepassingen schat u de kansen op praktische toepassing het grootst in?
- 14 Welke concrete producten zijn relevant voor RWS?
- 15 Of voor aannemers van RWS
- 16 Of: Hoe schat U de kansen van uw toepassing van nanodeeltjes in? Groot/klein
- 17 Binnen welke termijn denkt u en voor welke producten als eerste?
 - Zo ja groot: Waar baseert U dit op?
 - Met welke bedrijven zouden wij moeten gaan praten?
 - Zo ja klein: wat zijn de belangrijkste belemmeringen?
 - Waaruit bestaan die uitdagingen dan?
 - Waarom is het een uitdaging? (technisch / praktisch / ontbreken van beleid en/of wetgeving / kosten?)
- 18 Wat is voor de meerwaarde van nanotechnologie, of uw specifieke toepassing? Kosten besparing? / duurzaamheid? / levensduur? / etc. doorvragen
- 19 Wat is uw inschatting van de invloed op de Life Cycli Costco wanneer uw producten worden toegepast, vergeleken met de huidige situatie? Wordt het veel duurder,....., veel goedkoper?

- 20 Hoe lang blijft de toepassing werkzaam, loopt de werking terug met de tijd, zit er ook onderhoud aan vast?
- 21 Wat vindt U van de rol van Nederland op dit gebied? Voldoende/onvoldoende? Als onvoldoende, waar zou Nederland op moeten inzetten ?
- 22 Wat vindt u van de huidige wetgeving op dit gebied. Zowel nationaal als internationaal? Welke zijn dit dat? Waar wordt er aan gewerkt? Wat zouden wij moeten volgen?
- 23 Wat verwacht U van de toekomstige ontwikkelingen van nanotechnologie? Binnen welk termijn? Wat op korte termijn / wat op langer termijn?
- 24 Hoe kijkt u aan tegen de risico's van nanotechnologie, zowel voor mens als milieu? Ithv. Nieuwe materialen, sensing, waterkwaliteit. Veiligheid, Arbo? Etc.?
- 25 Wat vindt u van het publieke debat over nano technologie?
- 26 Wie zouden wij absoluut nog verder moeten interviewen op uw vakgebied en waarom? dit gebied?
- 27 Wie zouden we in het breder perspectief van nanotechnologie verder moeten interviewen?