



rivm

Rapport 601785001/2008

M. van Zijverden | A. Sips (eindredactie)

Samenvatting: Nanotechnologie in perspectief

Risico's voor mens en milieu

RIVM Rapport 601785001/2008

Nanotechnologie in perspectief: samenvatting

Risico's voor mens en milieu

Eindredactie:

M. van Zijverden (projectleider KIR-nano)

A.J.A.M. Sips

Contact:

Maaïke van Zijverden

Stoffen Expertise Centrum

KIR-nano@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de ministeries van VROM, VWS en SZW, in het kader van het Kennis- en Informatiepunt Risico's van Nanotechnologie

© RIVM 2008

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Voorwoord

Dit is de samenvatting van het rapport 'Nanotechnologie in perspectief' dat inzicht geeft in de risico's van nanotechnologie voor mens en milieu. Het complete rapport (601785002) is beschikbaar op de website van het RIVM (www.rivm.nl).

Rapport in het kort

Nanotechnologie in perspectief

Risico's voor mens en milieu

Het Kennis- en Informatiepunt Risico's van Nanotechnologie (KIR-nano) van het RIVM heeft de potentiële risico's van blootstelling van gefabriceerde, vrije, onafbreekbare en onoplosbare nanodeeltjes in kaart gebracht. In dit rapport worden de risico's voor de mens als werknemer, patiënt en consument behandeld, evenals risico's voor het milieu. Drie toepassingsgebieden zijn daarbij relevant: geneesmiddelen en medische technologie, voedselproductie en consumentenproducten.

De huidige stand van zaken van de wetenschap laat zien dat risico's niet uit te sluiten zijn. Er ontbreekt echter nog veel kennis om de risico's even goed in te kunnen schatten als voor 'chemische stoffen niet in nanovorm'. Toch zijn er al vele honderden producten waarin nanomaterialen zijn verwerkt op de markt. Dit vereist op korte termijn veel onderzoek naar de blootstelling en toxiciteit van deze materialen. Helaas is het aantal onderzoeksvragen dusdanig groot en fundamenteel van aard dat het nog jaren zal duren voordat alle informatie is vergaard.

KIR-nano adviseert daarom het onderzoek vooral te richten op die vragen die cruciale informatie voor de risicobeoordeling voor mens en milieu bieden. Afhankelijk van het perspectief van werknemer, consument, patiënt of milieu zijn oplossingsrichtingen gedefinieerd voor het beheersen van de risico's. Informatie die in de streng gereguleerde wereld van medische toepassingen wordt gegenereerd kan met name vanuit methodologisch oogpunt zeer waardevol zijn voor andere toepassingsgebieden, waar de dossiervereisten en dus veelal ook de informatievergaring (veel) beperkter voor zijn.

Kernbegrippen voor de komende jaren zijn samen te vatten onder KOKOS: *Kennis vergroten en uitwisselen om dubbeling van onderzoek te voorkomen, Oplossingsrichtingen en risicomangement, Keuzes maken in bijdragen vanuit Nederland aan dit onderzoeksveld, Onderzoek & Ontwikkeling, en Samenwerking bevorderen tussen wet- en regelgevende kaders, wetenschap en bedrijfsleven.*

Trefwoorden:

nanotechnologie, risico's, gezondheid, milieu, consumentenproducten, medische toepassingen, voeding, arbeidsveiligheid

Abstract

Nanotechnology in perspective

Risks for man and the environment

The Knowledge and Information Risks Nanotechnology (KIR nano), a Dutch national government-supported observation organization based at RIVM, has provided an overview of the potential risks to both man and the environment of exposure to nanoparticles. The focus is on free, non-degradable and insoluble nanoparticles present in medical applications, food, consumer products and the environment.

Scientific data compiled to date demonstrate that negative effects of exposure to nanoparticles cannot be excluded. However, much more information is required to be able to estimate the risks of nanoparticles equally well as those of other (not nano) chemicals. Nevertheless, hundreds of products containing nanomaterials are currently available commercially, a situation which clearly necessitates that the exposure and toxicity of these materials be investigated in the near future. Unfortunately, the research questions to be answered are so numerous that it will take years to compile the relevant data.

The advice of the KIR nano is to focus research primarily on those questions that provide information critical to the assessment of risks to man and the environment. Dependent on the perspective – worker, consumer, patient, or the environment – the points of departure can then be defined for controlling (or limiting) the risks. Information (e.g. on methodology) generated in the strongly regulated world of medical applications can be a very valuable asset in other (research) areas of application, where the requirements for dossiers and compiling of pertinent data are not as exacting.

Core concepts for the upcoming years include expanding our knowledge of nanoparticles and making this knowledge easily available to avoid any duplication of research, identifying and, where necessary, taking the appropriate risk management measures, choosing the areas of research in which the Netherlands wishes to contribute to this field, supporting Research & Development and promoting collaboration between (semi)government organs/agencies, science and industry.

Key words:

nanotechnology, risks, health, environment, consumer products, medical applications, food, worker safety

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Wat is nanotechnologie?	7
1.2	Wat heeft nanotechnologie de (Nederlandse) burger te bieden?	8
1.3	Wat betekent nanotechnologie voor de Nederlandse kenniseconomie?	8
1.4	Wat zijn de mogelijke risico's?	9
1.5	Kennis- en Informatiepunt Risico's nanotechnologie (KIR-nano)	10
1.6	Afbakening	10
2	Nanotechnologie: wat zijn de risico's?	12
2.1	Waarom zijn de risico's van nanomaterialen moeilijk vast te stellen?	13
2.2	Dosimetrie	13
2.3	Risico's voor de mens	14
2.4	Risico's voor het milieu	17
3	Nanotechnologie: signalering van witte plekken	19
3.1	Gebrek aan informatie over blootstelling	19
3.2	Gebrek aan informatie over mogelijke toxiciteit	20
3.3	Milieurisico's moeilijk in te schatten	20
4	Conclusies	21
4.1	Kennis vergroten en uitwisselen	21
4.2	Oplossingsrichtingen en risicomanagement	22
4.3	Keuzes maken	22
4.4	Onderzoek & Ontwikkeling	22
4.5	Samenwerken	23
	Referenties	24

1 Inleiding

Voor u ligt de uitgebreide samenvatting van het eerste signaleringsrapport ‘Risico’s van nanotechnologie in perspectief’ van het Kennis- en Informatiepunt Risico’s van Nanotechnologie (KIR-nano) (voor de volledige tekst, zie RIVM rapport 601785002). Het doel van dit eerste signaleringsrapport is om de stand van zaken en ontwikkelingen op het gebied van nanotechnologie op hoofdlijnen te schetsen en een eerste analyse te geven van de potentiële risico’s voor mens en milieu. Het rapport richt zich op de drie toepassingsgebieden van nanotechnologie: medische toepassingen, voedingsmiddelen en non-food consumentenproducten. Daarnaast wordt specifiek ingegaan op de potentiële risico’s van nanotechnologie voor het milieu en voor werknemers.

1.1 Wat is nanotechnologie?

Nanotechnologie is het geheel van nieuwe, opkomende technologieën waarbij stoffen of structuren op nanoschaal worden toegepast. Met nanoschaal wordt bedoeld: deeltjes die in een of meer *dimensies* kleiner zijn dan 100 nanometer. Ter vergelijking: dat is 80.000 maal kleiner dan de doorsnede van een menselijke haar. De diameter van een enkel atoom is in de orde van 0,1 nanometer.

Bij deze afmetingen krijgen chemische stoffen soms andere, nieuwe eigenschappen en bieden zij nieuwe toepassingsmogelijkheden. Zo kunnen nanomaterialen bijzondere mechanische, optische, elektrische en magnetische eigenschappen hebben, die dezelfde stoffen bij grotere afmetingen niet hebben. Diezelfde eigenschappen kunnen echter ook risico’s hebben voor mens en milieu.

Alhoewel er nog geen officieel geaccepteerde definities bestaan, wordt nanotechnologie door ISO (International Organization for Standardization) voorlopig als volgt gedefinieerd (ISO draft business plan, 2007):

- *Understanding and control of matter and processes at the nanoscale, typically, but not exclusively, below 100 nanometres in one or more dimensions where the onset of size-dependent phenomena usually enables novel applications.*
- *Utilizing the properties of nanoscale materials that differ from the properties of individual atoms, molecules, and bulk matter, to create improved materials, devices, and systems that exploit these new properties.*

Werkdefinities van overige aan nanotechnologie-gerelateerde begrippen zijn opgesteld door het Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) van de Europese Commissie, en die zijn ook in dit rapport gebruikt.

1.2 Wat heeft nanotechnologie de (Nederlandse) burger te bieden?

Nanotechnologie wordt gebruikt om eigenschappen van producten te veranderen. Zo kunnen producten sterker, elastischer, krasbestendiger of veel kleiner worden gemaakt. Toepassingen zijn terug te vinden in medicijnen en medische hulpmiddelen, voeding en consumentenproducten, milieu en energietechnologie. Deze toepassingen kunnen de kwaliteit van leven en van het milieu verhogen en kunnen daarnaast tot duurzamere producten leiden. Zo kunnen nanotechnologieën de kwaliteit en efficiëntie van de gezondheidszorg significant verbeteren, de efficiëntie en duurzaamheid van voedselproductie verhogen en tot substantiële energiebesparing leiden.

De mens kan momenteel al op veel gebieden in aanraking komen met nanotechnologische toepassingen. Er zijn bijvoorbeeld al honderden consumentenproducten met nanotechnologieën op de markt, die daadwerkelijk nanomateriaal bevatten. In deze producten worden met name nanovormen van zilver, titanium, cerium en koolstofbuisjes gebruikt. Voorbeelden zijn nanodeeltjes van titaniumoxide en zinkoxide als UV-reflectoren in zonnebrandcrèmes, nanokoolstofbuisjes als materiaalversterkers in autobanden en natuurlijke kleideeltjes in autobumpers. Nanocoatings worden gebruikt op brillenglazen, krasbestendige sensoren en zelfreinigende ruiten. Nanokristallen maken snij- en boorwerktuigen extra hard en slijtvast. Daarnaast zijn er middelen op de markt die oppervlakken water- en vuilafstotend maken. Verpakkingen voor voedingsmiddelen maar ook textiel krijgen een antimicrobiële werking door een laagje nanodeeltjes op te brengen. Nanotechnologieën worden ook toegepast om kleding kreukvrij en vuilafstotend te maken, of om middels nano-electronica functies aan medische toepassingen toe te voegen. Nanotechnologie maakt elektronica steeds kleiner, sneller en multifunctioneler. Hierdoor wordt het mogelijk om 'intelligentie' in steeds meer producten te stoppen. Uiteindelijk integreren nano-, bio-, en IT-technologie steeds meer.

Een veel groter deel van de mogelijke toepassingen van nanotechnologie verkeert momenteel nog in de onderzoeks- en ontwikkelingsfase en zal naar verwachting de komende jaren op de markt komen.

1.3 Wat betekent nanotechnologie voor de Nederlandse kenniseconomie?

Zowel in Nederland als in het buitenland zijn de verwachtingen omtrent de maatschappelijke en economische potentie van nanotechnologie hooggespannen. In de kabinetsvisie Nanotechnologieën 'Van Klein Naar Groot' (2006) werd al gesteld dat nanotechnologieën een 'belangrijke pijler' van onze kenniseconomie en kennisamenleving kunnen vormen. Verwacht wordt dat de wereldwijde verkoop van nanotechnologieën bevattende producten zal groeien van €25 miljard in 2004 naar €450 miljard in 2010.

Nederland kent een aantal academische onderzoeksgroepen en bedrijven met een internationaal vooraanstaande positie zowel op het gebied van de ontwikkeling van nanotechnologieën als op het gebied van de risico's. Deze combinatie van kennis kan een belangrijke bijdrage aan de economische groei bieden

Op dit moment kunnen al vier generaties nanotechnologieën worden onderscheiden:

Eerste generatie: nanostructuren met passieve, gefixeerde structuren en functies. Dit zijn chemische stoffen met deeltjes op nanoschaal die veelal worden toegepast als onderdeel of ingrediënt van reeds bestaande typen producten.

Tweede generatie: actieve nanostructuren die na een stimulus veranderende eigenschappen zoals afmeting, vorm of geleiding kunnen hebben. Bijvoorbeeld nanodeeltjes die geneesmiddelen gericht naar een tumor in het lichaam brengen en onder invloed van een stralingsbron het geneesmiddel in de tumor loslaten.

Derde generatie: systemen van nanosystemen: driedimensionale netwerken, bio- en chemische assemblagetechnieken en robotica op nanoschaal.

Vierde generatie: Moleculaire nanosystemen die per deeltje ontworpen kunnen worden, bijvoorbeeld voor geavanceerde genetische therapieën. Ook zelf-assemblerende structuren op nanoschaal vallen binnen deze vierde generatie.

Al vanaf de eerste generatie geldt dat nieuwe producten worden ontwikkeld die diverse toepassingsgebieden bij elkaar brengen. Door de nieuwe functionaliteiten dreigen deze producten tussen diverse regelgevende kaders in te vallen. Dergelijke observaties zijn al gedaan in het domein van geneesmiddelen en medische technologie, maar ze zijn ook zeker in andere domeinen denkbaar. In 'Van klein naar groots' heeft het kabinet een visie ontwikkeld voor de eerste en tweede generatie.

De derde en vierde generatie nanotechnologieën zijn verwant aan de synthetische biologie waar Nanotechnologie, Biotechnologie, Informatietechnologie en Cognitieve wetenschappen (NBIC) samenkomen. Op 28 januari 2008 is de Commissie Synthetische Biologie van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW), Gezondheidsraad en Raad voor Gezondheidsonderzoek geïnstalleerd. Deze commissie richt zich op de stand van zaken in Nederland, ontwikkelingen in het veld en mogelijkheden voor synthetische biologie. Het verdient aanbeveling dat zij ook in dit stadium al naar mogelijke risico's van deze nanotechnologieën kijkt.

1.4 Wat zijn de mogelijke risico's?

Tegelijkertijd komen vanuit de wetenschap signalen dat toepassing van deze technologieën mogelijk risico's met zich meebrengt voor arbeiders, consumenten en het milieu. Het gaat dan vooral om de toepassingen die daadwerkelijk nanomateriaal bevatten wat mogelijk ook vrij kan komen in enige levensfase van het bewuste product. Deze risico's laten zich evenwel moeilijker in kaart brengen dan die van chemische stoffen in 'niet-nanovorm' en zijn mede daarom nog veelal onbekend. In lijn met het rapport 'Betekenis van nanotechnologieën voor de gezondheid' van de Gezondheidsraad (april 2006) stelt de kabinetsvisie dat met deze risico's verstandig, voorzichtig en met voorzorg moet worden omgegaan. Het uitgangspunt van het Nederlandse beleid om de risico's te beheersen is daarom het vigerende stoffenbeleid en het risicobeleid zoals dat is geformuleerd in de VROM nota 'Nuchter omgaan met risico's' (2004).

1.5 Kennis- en Informatiepunt Risico's nanotechnologie (KIR-nano)

Zogezegd zijn er momenteel tal van nanotechnologische producten op de markt, hoewel de risico's voor mens en milieu veelal nog moeilijk kunnen worden ingeschat. In een dergelijke situatie is het van groot belang potentiële risico's te signaleren en zoveel mogelijk relevante informatie te vergaren. Hiertoe is in opdracht van de ministeries van VROM, VWS en SZW een Kennis- en Informatiepunt Risico's nanotechnologie (KIR-nano) bij het RIVM opgericht. KIR-nano rapporteert aan deze ministeries.

De taken van KIR-nano bestaan uit:

- wetenschappelijke ontwikkelingen **signaleren** op het gebied van nanotechnologie en daarmee verband houdende kennis over risico's voor mens en milieu. Daartoe moet KIR-nano deelnemen aan (inter)nationale netwerken (bijvoorbeeld middels EU-projecten als de Europese observatiepost en NanoImpactNet) en goed op de hoogte zijn van ontwikkelingen op het gebied van onderzoek, beleid, innovatie en toepassingen, et cetera.
- de overheid **adviseren** over het beoordelen van risico's voor mens en milieu, bijvoorbeeld in het kader van REACH (de Europese chemicaliënwetgeving).
- in wetenschappelijke gremia **participeren**, onder meer op het gebied van normalisatie en standaardisatie en risico-onderzoek (SCENIHR, ISO) en gecoördineerd participeren in fora die methodieken voor risicobeoordeling (= het schatten van het risico voor mens of milieu, inclusief de bijkomende onzekerheden, als gevolg van blootstelling aan een stof) van nanotechnologie ontwikkelen, zoals OESO (Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling);
- overheden en professionals **informer** over de risico's van nanotechnologie met onafhankelijke en betrouwbare informatie (zoals op www.rivm.nl/rvs), en bijdragen aan de dialoog met de industrie en de samenleving.

1.6 Afbakening

De signaleringen in dit rapport kunnen aanknopingspunten bieden voor beleid over hoe om te gaan met risico's van nanotechnologieën. Daarbij worden de volgende kanttekeningen gemaakt:

- Eerste onderzoek heeft aangetoond dat *met opzet gefabriceerde, vrije, onafbrekbare en onoplosbare nanodeeltjes* na opname niet of moeizaam uit het lichaam worden verwijderd. In dit rapport ligt de nadruk daarom op de potentiële risico's van dergelijke deeltjes. Deeltjes die onbedoeld vrijkomen (zoals fijn stof) en deeltjes die van nature voorkomen (vulkaanstof) worden buiten beschouwing gelaten. In dit rapport wordt voornamelijk over de risico's van nanodeeltjes (met drie dimensies kleiner dan 100 nm) gesproken, maar waar het niet alleen om nanodeeltjes gaat wordt ook de bredere term nanomateriaal (met minimaal een dimensie kleiner dan 100 nm) gebruikt.

- Dit rapport heeft niet tot doel om beleidsaanbevelingen te doen, maar wel om aanknopingspunten zichtbaar te maken voor beleid met betrekking tot de risico's van nanotechnologieën.
- Dit rapport gaat in op de (eco)toxicologische risico's van blootstelling aan *eerste generatie nanomaterialen* waarmee de bevolking en het milieu *op dit moment al* in aanraking zouden kunnen komen. Dat is het geval bij *medische toepassingen, voeding en consumentenproducten*.
- We onderscheiden de volgende doelgroepen: werkers (zowel onderzoekers, productiemedewerkers als professionele toepassers van nanomaterialen), patiënten, consumenten, de algemene bevolking en het milieu.
- Het rapport beschrijft een momentopname. Zowel toepassingen als risico-onderzoek ontwikkelen zich snel. Daarom zullen onderdelen van het rapport op termijn door de actualiteit worden ingehaald. Het geschetste beeld zal in volgende rapportages geactualiseerd worden.
- Dit rapport brengt mogelijke risico's van nanotechnologieën in kaart door twee factoren te combineren: de mate waarin mens en milieu aan nanomaterialen staan blootgesteld, en de toxiciteit van dergelijke nanomaterialen. De combinatie van deze twee factoren bepaalt het uiteindelijke risico.
Maatschappelijke aspecten als risicoperceptie en verschillen in acceptatie van risico's vallen buiten de directe scope van dit rapport.

2 Nanotechnologie: wat zijn de risico's?

Dit rapport richt zich vooral op de gesynthetiseerde, vrije, niet-oplosbare en niet-afbreekbare nanodeeltjes omdat in het algemeen wordt verwacht dat deze deeltjes de meeste kans op risico's voor gezondheid van mens en milieu geven. Er zijn namelijk aanwijzingen dat sommige van deze nanodeeltjes zich in het menselijk lichaam kunnen gedragen als fijn stof en asbest.

Mens en milieu zijn altijd al aan nanodeeltjes blootgesteld als gevolg van verbrandings- of vulkanische en erosieprocessen. Kennis over blootstelling aan dergelijke deeltjes en de effecten ervan op mens en milieu is relevant om risico's in te schatten van blootstelling aan nanomateriaal nadat het is ingeademd. Voorsnog lijkt kruisbestuiving voor andere blootstellingsroutes (zoals via de huid en het maag-darmkanaal) en nanomaterialen maar in geringe mate mogelijk te zijn.

In de algemene systematiek van de beoordeling van risico's geldt dat het risico van een stof wordt bepaald door het gevaar van de stof zelf maal de mate waarin de mens aan die stof staat blootgesteld. Dit levert de volgende formule op:

$$RISICO = BLOOTSTELLING \times TOXICITEIT$$

Een bepaalde dosis van een stof zal tot schadelijke effecten leiden (toxiciteit). Om die effecten vast te kunnen stellen, zal een organisme dus eerst daadwerkelijk aan een dergelijke dosis moeten worden blootgesteld.

Ook voor nanomaterialen geldt deze formule: het uiteindelijke risico wordt bepaald door de toxiciteit van een specifiek nanomateriaal voor mens, plant of dier én door de blootstelling aan de desbetreffende stof. Een specifiek nanomateriaal kan toxisch zijn, maar als de mate van blootstelling gering is, zal het uiteindelijke risico toch beperkt zijn.

De toxiciteit wordt door meerdere factoren bepaald, zoals de mogelijkheden die een nanodeeltje heeft om bepaalde barrières in mens, plant of dier te doorbreken en uiteindelijk in weefsels en organen terecht te komen. Daar kan het vervolgens schadelijke effecten veroorzaken.

De feitelijke blootstelling is eveneens van verschillende factoren afhankelijk, zoals de omgeving of structuur waarin het nanomateriaal voorkomt (bijvoorbeeld gebonden of als 'vrije' deeltjes), de contactmogelijkheden met het materiaal, et cetera.

Bovendien is het van belang steeds duidelijk voor ogen te houden voor welke doelgroep de risico's moeten worden ingeschat (maatwerk).

2.1 Waarom zijn de risico's van nanomaterialen moeilijk vast te stellen?

De vrije nanodeeltjes vergroten zogezegd de kans op blootstelling voor de mens. Wanneer nanodeeltjes gebonden zijn in bijvoorbeeld een harde coating is de kans vrij klein dat de mens eraan wordt blootgesteld. Echter, bij slijtage van dergelijke producten of afvalverwerking kunnen alsnog nanodeeltjes vrijkomen voor mens én milieu. Mens en milieu staan dan direct aan deze nanodeeltjes bloot. Wanneer de deeltjes bovendien niet-oplosbaar en niet-afbreekbaar zijn, kunnen de deeltjes zich in organismen of de mens ophopen en schadelijk zijn.

Het onderzoek is bijzonder omvangrijk en gecompliceerd. Hiervoor zijn onder meer de volgende redenen aan te geven:

- De risico's van een nanodeeltje kunnen niet zonder meer worden afgeleid uit het risicoprofiel van stoffen niet in nanovorm of van dat van andere nanodeeltjes. Behalve de chemische samenstelling zijn ook karakteristieken zoals vorm, oppervlak en grootte van belang.
- Er kunnen van één chemische stof zeer veel verschillende groottes en vormen van nanodeeltjes bestaan, elk met unieke eigenschappen en specifieke risico's. Vooralsnog moeten van iedere vorm van een nanomateriaal de risico's apart beoordeeld worden.
- Voor chemische stoffen niet in nanovorm kan vaak worden teruggevallen op een '*body of knowledge*'. Op grond van fysisch-chemische eigenschappen van stoffen kunnen het gedrag en de toxiciteit (min of meer) worden voorspeld voor stoffen met vergelijkbare eigenschappen. Deze '*body of knowledge*' is voor nanomaterialen (inclusief nanodeeltjes) nog niet aanwezig.
- Idealiter zou voor toxicologisch onderzoek voor ieder nanodeeltje (dus voor elke deeltjesgrootte, elke vorm, et cetera) de complete serie onderzoeken (inclusief dierproeven) doorlopen moeten worden. Dat komt omdat het nog niet duidelijk is welke criteria essentieel zijn om nanodeeltjes te karakteriseren en de dosis weer te geven. Dergelijk onderzoek vindt nu alleen plaats bij zeer specifieke toepassingen (bijvoorbeeld geneesmiddelen) en voor (inter)nationale onderzoeksprogramma's.
- Behalve de ethische en economische nadelen van dergelijk uitgebreid toxicologisch onderzoek is het in een bepaalde mate onzeker of de gebruikelijke testmethoden toepasbaar zijn voor nanodeeltjes.

Kortom, nanomaterialen geven een nieuwe dimensie aan (eco)toxicologisch onderzoek en de interpretatie ervan. Belangrijk is dat prioriteit wordt gegeven aan vaststelling van welke eigenschappen van nanomaterialen (eco)toxicologische effecten veroorzaken. Pas dan kan een geschikte dosismaat gedefinieerd worden die de relatie tussen dosis en (eco)toxicologische effecten juist beschrijft. In de volgende alinea's worden de risico's voor mens en milieu in kaart gebracht.

2.2 Dosimetrie

De gebruikelijke manier waarop de dosis van een chemische stof wordt beschreven, op gewichtsbasis (bijvoorbeeld gram actieve chemische stof per kg droge stof), is geen goede maat gebleken om effecten

van nanodeeltjes te beschrijven. Hiervoor moet namelijk rekening gehouden worden met diverse fysisch-chemische eigenschappen. Hieronder vallen onder andere: elementaire samenstelling, dichtheid, kristalstructuur, oplosbaarheid, lading, polariteit, geleiding, smeltpunt, hardheid, optische en magnetische eigenschappen, afmeting, morfologie, deeltjesgrootte en verdeling van deeltjesgrootte, oppervlakte en samenstelling van de oppervlaktelaag (bijvoorbeeld coating, lading).

Het is nog niet bekend welke van bovenstaande eigenschappen bepalend zijn voor het gedrag en de (eco)toxiciteit van nanodeeltjes. Zoals eerder vermeld is een goede dosismaat essentieel om (eco)toxicologisch onderzoek te interpreteren en om grenswaarden voor blootstelling af te leiden. Tot die tijd verdient het aanbeveling om in iedere studie zoveel mogelijk van bovenstaande karakteristieken over de toegediende dosis te verzamelen.

2.3 Risico's voor de mens

Blootstelling

Onder blootstelling verstaan we de hoeveelheid stof waaraan mens en milieu worden blootgesteld. Er zijn twee stappen in blootstelling te onderscheiden:

1. externe blootstelling: dit is de dosis (hoeveelheid nanomateriaal) waarmee personen per tijdseenheid in contact komen;
2. interne blootstelling: de dosis (hoeveelheid nanomateriaal) die daadwerkelijk door het lichaam wordt opgenomen en weefsels en organen kan bereiken.

Ook hier speelt de problematiek van relevante dosimetrie een belangrijke rol, versterkt door het ontbreken van geschikte meetapparatuur en/of meetmethoden.

Afhankelijk van de toepassing kan de mens via verschillende routes worden blootgesteld:

- via de luchtwegen (inhalatie);
- via de huid;
- via het maag-darmkanaal (oraal);
- door injectie of vanuit implantaten (parenterale blootstelling).

Op het gebied van fijn stof is veel onderzoek gedaan aan blootstelling via de luchtwegen. Met de opkomst van nanotechnologie is de aandacht voor blootstelling aan deeltjes via andere routes toegenomen.

Blootstelling kan voorkomen op de werkplek, door consumptie van voeding en drinkwater, door het gebruik van consumentenproducten zoals crèmes en door inname en toediening van op nanotechnologie gebaseerde medische toepassingen. Daarnaast is contact met nanomaterialen mogelijk vanuit het milieu door contact met bodem, oppervlaktewater of lucht.

Kinetiek

Kinetiek is het gedrag van stoffen in het lichaam. De belangrijkste begrippen in de kinetiek worden

vaak samengevat met de term ADME (Absorptie, Distributie, Metabolisme en Excretie). Met deze termen worden bedoeld de opname, verdeling, het metabolisme en de uitscheiding van een stof door de mens.

De noodzaak om inzicht te verwerven in het gedrag van nanomaterialen in het menselijk lichaam wordt breed erkend. Onderzoek laat zien dat:

- bepaalde deeltjes het lichaam via de luchtwegen kunnen bereiken. De eigenschappen die cruciaal zijn voor opname zijn nog niet bekend.
- opname via de intacte huid niet is bewezen is. Voor middelen zoals zonnebrandcrèmes is discussie gaande of de nanomaterialen die in deze producten worden gebruikt via een verbrande huid of via een ‘flexende huid’ (bewegende plekken zoals pols en knieholte) wel in het lichaam terecht kunnen komen.
- opname via het maag-darmkanaal nog veelal onbekend is. Ook hier is onbekend welke deeltjeskarakteristieken bepalend zijn voor opname over de darmwand.
- het voor beoordeling van de risico’s van nanodeeltjes cruciaal is om te weten of het daadwerkelijk de nanodeeltjes van een stof zijn die de eerste barrières van het lichaam (luchtwegen, huid, maag-darmkanaal) kunnen passeren. Als dat het geval is, moet volledig toxicologisch onderzoek worden gedaan. Indien het nanomateriaal voor opname vervalt tot de conventionele chemische stof, kan mogelijk gebruik worden gemaakt van bestaande toxicologische gegevens. Na passage van de eerste barrière kunnen nanomaterialen zich naar weefsels en organen verplaatsen en kunnen eventuele toxicologische effecten optreden.
- kleine nanodeeltjes naar meer organen lijken te worden verspreid dan grotere nanodeeltjes. Het is echter nog onbekend hoe deeltjeseigenschappen, waaronder grootte, precies samenhangen met de verspreiding in het lichaam.
- een aantal studies zich richt op de vraag of nanodeeltjes natuurlijke barrières als de placenta of die tussen bloed en hersenen kunnen passeren. Deze informatie is van wezenlijk belang om toxicologische effecten in te kunnen schatten. Er zijn aanwijzingen gevonden dat een aantal typen nanodeeltjes de hersenen kunnen bereiken, maar daadwerkelijke passage van de barrière moet nog worden geverifieerd. Onderzoek naar transplacentaal transport is nog beperkt maar begint wel steeds meer aandacht te krijgen.
- het metabolisme geen grote rol speelt in de kinetiek van vrije, onoplosbare nanomaterialen.
- het lichaam nanodeeltjes mede daardoor moeilijk kan uitscheiden, waardoor ze in het lichaam kunnen ophopen.

Toxicokinetisch onderzoek naar nanomaterialen vraagt om betrouwbare meetmethoden, die helaas nog niet voorhanden zijn. Het ontbreekt vooral aan methoden die de aanwezigheid van nanodeeltjes in weefsels en organen kunnen aantonen. Deze methoden zijn essentieel om aan te tonen dat blootstelling aan nanomaterialen ook tot opname van nanomaterialen in het lichaam leidt. Daarnaast is het nog niet mogelijk om resultaten van bijvoorbeeld de ene deeltjesgrootte naar een andere te extrapoleren. Dit impliceert dat voor ieder type deeltje opnieuw toxicokinetisch (in-vivo)onderzoek, inclusief uitgebreide karakterisering van de gedoseerde nanodeeltjes, moet worden uitgevoerd. Helaas blijkt uit de literatuur

dat doses vaak slecht omschreven zijn. Ook daardoor is het nauwelijks mogelijk om studieresultaten met elkaar te vergelijken.

Toxicologie

Toxicologisch onderzoek lijkt vooralsnog bruikbaar voor oplosbare nanodeeltjes. Voor onoplosbare en onafbreekbare nanomaterialen moet het vakgebied van de deeltjestoxicologie nog grotendeels opgebouwd worden. Het kan daarbij gebruikmaken van ervaringen uit (ultra)fijnstofonderzoek. Hoewel ultrafijn stof bestaat uit niet-bewust geproduceerde deeltjes (bijvoorbeeld als verbrandingsproduct van diesel), is de kennis vanuit deze hoek zeer bruikbaar voor onderzoek naar risico's van bewust geproduceerde nanodeeltjes.

Experimenten in proefdieren hebben aangetoond dat langdurige blootstelling aan (ultra)fijn stof tot verhoogde concentraties daarvan in de hersenen kan leiden. Ook hebben studies met vrijwilligers aangetoond dat ultrafijnstofdeeltjes kunnen bijdragen aan cardiovasculaire aandoeningen, zoals aderverkalking, trombose en bloedvatcontractie. Bovendien hebben ze invloed op hersenfuncties. Diverse proefdierstudies suggereren dat nanodeeltjes vergelijkbare effecten hebben als (ultra)fijn stof na blootstelling door inhalatie.

De kennis over de (acute) toxiciteit van geïnhaleerde nanodeeltjes neemt snel toe. Doordat goed gekarakteriseerde nanodeeltjes beperkt beschikbaar zijn, zijn nog maar weinig studies in organismen (in vivo) uitgevoerd. De meeste publicaties zijn dan ook gericht op effecten op geïsoleerde cellen, en de interpretatie hiervan naar effecten voor een heel organisme is moeilijk. In het mechanisme van toxische effecten lijkt de vorming van potentieel schadelijke moleculen (oxidatieve stress) en van ontstekingsfactoren een centrale rol te spelen. Deze effecten zijn bijvoorbeeld ontstekingen en tumorvorming in diverse organen. Zo toonden Poland et al. (2008) aan dat in knaagdieren die nanokoolstofbuisjes geïnjecteerd krijgen, ontstekingen ontstaan die kenmerkend zijn voor het voorstadium van mesothelioom ('asbestkanker'). Deze koolstofbuisjes zijn speciaal gefabriceerd om aan de bekende 'asbest-criteria' (lengte-doorsnede verhouding, stevigheid en onafbreekbaarheid) te voldoen.

Over de toxiciteit van nanodeeltjes bij langdurige blootstelling en de schadelijke effecten via andere blootstellingroutes is minder bekend.

Risico's

Het is nog onvoldoende bekend wat de toxiciteit van nanomaterialen is, en in welke mate mensen aan nanomaterialen blootstaan. Dat laatste komt doordat momenteel geen overzicht beschikbaar is van de producten waarin nanomaterialen verwerkt zijn en in welke vorm ze aanwezig zijn. Wanneer dat wel bekend zou zijn, kan een eerste schatting over de blootstelling worden gemaakt. Indien nanodeeltjes uit die producten vrijkomen, kan de mens in principe aan vrije nanodeeltjes worden blootgesteld.

Recente bevindingen met nanokoolstofbuisjes geven aan dat blootstelling aan nanokoolstofbuisjes tot risico's kunnen leiden. Het dient echter benadrukt te worden de studieresultaten als een indicatie van

mogelijke effecten voor dit type nanokoolstofbuisjes met specifieke karakteristieken te zien. Deze effecten gelden dus niet zondermeer voor andere typen koolstofbuisjes en deeltjes met andere fysisch-chemische eigenschappen.

2.4 Risico's voor het milieu

Door de aanwezigheid van nanotechnologie in tal van producten zal de uitstoot naar het milieu naar verwachting toenemen, wat effecten kan hebben op ecosystemen. Het complete rapport bij deze samenvatting analyseert de risico's van nanodeeltjes voor de compartimenten water, lucht, bodem en waterbodem.

Emissie, gedrag en blootstelling

De grootste emissie van nanomaterialen wordt verwacht tijdens het gebruik en de afvalverwerking van producten. Het is op dit moment echter niet bekend in hoeverre met opzet gefabriceerde nanomaterialen in natuurlijke ecosystemen aanwezig zijn.

Het is daarnaast nog niet goed mogelijk om nanodeeltjes die vrijgekomen zijn in het milieu, eenduidig te karakteriseren. Ook is nog weinig bekend over het gedrag van de deeltjes nadat ze in het milieu terecht zijn gekomen. Voor het compartiment lucht wordt geput uit de kennis van het gedrag van aerosolen (oplossingen van kleine deeltjes in een gas), voor het watercompartiment biedt de colloïdchemie aangrijpingspunten. In beide gevallen geldt echter dat nog onvoldoende aanknopingspunten beschikbaar zijn om het gedrag van nanodeeltjes goed te beschrijven. Dit laatste maakt het zoeken naar geschikte testsystemen ingewikkeld en bemoeilijkt het vertalen van resultaten uit testsystemen naar het daadwerkelijke milieu.

Ecotoxicologie en indirecte effecten op mens en milieu

De ecotoxicologie richt zich op verschillende planten- en diersoorten. Veel onderzoek is nodig voordat waargenomen effecten vertaald kunnen worden naar hogere organismen als zoogdieren. Er zijn aanwijzingen dat nanodeeltjes in het milieu ongewenste antimicrobiële effecten kunnen hebben. Welke risico's van nanodeeltjes relevant en mogelijk zorgwekkend zijn voor organismen in het ecosysteem is echter op dit moment niet te zeggen. Zowel directe als indirecte effecten zijn mogelijk. Indirecte effecten zijn bijvoorbeeld het vermogen van nanodeeltjes om stoffen aan zich te binden. Op deze manier kunnen nanodeeltjes milieuverontreinigende stoffen uit bijvoorbeeld water verwijderen. Maar op diezelfde manier kunnen nanodeeltjes wellicht voedingsstoffen verwijderen, of een hoge concentratie van verontreinigende stoffen in de waterbodem veroorzaken doordat nanodeeltjes die aan zich binden en vervolgens neerslaan. Ten slotte kunnen nanodeeltjes in het milieu de mens bereiken. Potentiële routes hiervoor zijn (consumptie van) drinkwater, landbouwgewassen en landbouwhuisdieren.

Risico's

Er bestaat nog geen algemeen geaccepteerde schattingsmethodiek of een valide theorie om de risico's van nanodeeltjes in het milieu vast te stellen. Op dit moment start onderzoek dat zich richt op het

vaststellen en kwantificeren van de determinanten die de risico's van nanodeeltjes beïnvloeden (zoals deeltjegrootteverdeling en specifiek oppervlak van de nanodeeltjes).

3 Nanotechnologie: signalering van witte plekken

Er bestaat nog een groot aantal hiaten in de kennis die nodig is om risico's van blootstelling aan nanomaterialen voor mens en milieu in te kunnen schatten op een niveau vergelijkbaar aan dat voor chemische stoffen in niet-nanovorm. Deze hiaten betreffen enerzijds populaties die met nanotechnologie in aanraking komen (werknemers, consumenten, patiënten, milieu) en toepassingsgebieden (agrofood, consumentenproducten, medische toepassingen en duurzame milieutoepassingen). Anderzijds gaat het over het gebrek aan kennis over geschikte onderzoeksmethoden. In het algemeen zijn de risico's van medische toepassingen het best in kaart te brengen. Door de aard en de gereguleerde toediening van de producten ligt de blootstelling vast. Wet- en regelgeving vereist dat mogelijk toxische effecten intensief worden geëvalueerd, al blijft het van belang in de gaten te houden of deze evaluatie volledig is. Andere kaders profiteren echter nauwelijks van de (methodologische) kennis die onderzoek naar medische toepassingen oplevert, terwijl wel dezelfde type deeltjes gebruikt worden (bijvoorbeeld nanozilver). Ook werken productontwikkelaars en risico-onderzoekers te weinig samen om producten vanaf de basis veilig te ontwikkelen. Hetzelfde geldt voor de evaluatie van kennis over veranderde materiaaleigenschappen op nanoschaal in het licht van mogelijke risico's.

3.1 Gebrek aan informatie over blootstelling

Wanneer specifieker wordt gekeken naar ontbrekende kennis, valt als eerste op dat de mate waarin nanomaterialen worden toegepast nog onvoldoende in kaart is gebracht. De meeste aandacht gaat uit naar mogelijke blootstelling van werknemers die professioneel met nanomaterialen werken. Het is echter onvoldoende bekend in welke mate consumenten en milieu aan nanomaterialen worden blootgesteld. Het ontbreken van voldoende gevalideerde en geaccepteerde methoden om nanomaterialen goed te kunnen meten en karakteriseren speelt hierbij een belangrijke rol. Daardoor kan bijvoorbeeld op de werkplek niet betrouwbaar worden bepaald waaraan de werknemers blootstaan. Ook kan er nauwelijks worden bepaald of nanomateriaal zich al in het milieu, in het menselijk lichaam, maar ook bijvoorbeeld in voedsel bevindt.

Voor arbeidssituaties is het al wel mogelijk om 'goede praktijken', zoals het dragen van beschermende kleding, voor werkomstandigheden te benoemen. Wel zijn er kennisleemten over de effectiviteit van die maatregelen. Voor het milieu en de consument zijn echter amper aanknopingspunten voor beschermende maatregelen voor het omgaan met nanomateriaal bevattende producten.

3.2 Gebrek aan informatie over mogelijke toxiciteit

Behalve een gebrek aan informatie over blootstelling is er een gebrek aan informatie over de mogelijke toxiciteit van nanomaterialen voor mens en milieu (risico = blootstelling x toxiciteit). Hierdoor is het niet mogelijk om tot een kwantitatieve risicobeoordeling te komen. Een dergelijke beoordeling is noodzakelijk om limietwaarden te onderbouwen en om risico's voor mens en milieu bij overschrijding van deze limietwaarden in te schatten. De informatie die ontbreekt is basaal van aard. Zo is er nog geen beeld van welke maat een dosis nanomaterialen het best beschrijft. Voor chemische stoffen niet in nanovorm wordt een dosis op basis van gewicht (bijvoorbeeld gram) gedefinieerd. Voor nanomaterialen lijkt dat evenwel geen goede maat om de relatie tussen dosis en effecten te beschrijven. Dit gebrek aan zogenoemde dosimetrie vormt daarom zowel voor normstelling als voor normoverschrijding een belangrijk hiaat.

Het gebrek aan gegevens over daadwerkelijke blootstelling aan en toxiciteit van nanomateriaal verhindert tevens een kwalitatieve of relatieve risicoschatting (zoals een ruwe indeling van nanomaterialen in verschillende gevaarsklassen).

3.3 Milieurisico's moeilijk in te schatten

Door de snelle opkomst van nanotechnologie is onderzoek naar de risico's ervan voor het milieu nog in een beginfase. Hierdoor is zelfs nog geen basale inschatting te maken van deze risico's. Aangezien nanodeeltjes in een steeds groter wordend aantal toepassingen worden gebruikt, is de verwachting dat de uitstoot naar het milieu toeneemt. Daarom is de noodzaak hoog om de gehele levenscyclus van producten (van productie- tot afvalfase) in kaart te brengen. Daartoe ontbreekt echter voldoende informatie op vele vlakken (productie, uitstoot, welke deeltjes zitten in welke producten, hoe wordt omgegaan met afval, et cetera). En als nanodeeltjes eenmaal in het milieu zijn terechtgekomen, is nog weinig bekend over hun gedrag. Dit maakt het moeilijk geschikte testsystemen op te zetten om mogelijke effecten op ecosystemen te meten.

Zoals ook de Europese Commissie heeft geconcludeerd, vormt de huidige wet- en regelgeving een goede basis om de veiligheid van blootstelling aan nanomaterialen voor mens en milieu te garanderen. De invulling ervan vertoont evenwel nog hiaten, bijvoorbeeld voor handhaving. Nanotechnologie wordt vaak onder convergerende technologieën geplaatst waar het samen met biotechnologie, informatietechnologie en cognitieve wetenschappen (NBIC) tot nieuwe toepassingen leidt. Deze convergentie leidt ertoe dat toepassingen tussen regelgevingen/regelgevende kaders in kunnen vallen. Zoals voor medische toepassingen is gesignaleerd, is het niet altijd duidelijk of een product als een geneesmiddel dan wel als een medisch hulpmiddel moet worden gezien.

4 Conclusies

Achter de term ‘risico’s van nanotechnologie voor mens en milieu’ gaat een omvangrijk onderzoeksterrein schuil. Het is belangrijk om in gedachten te houden dat dé risico’s van nanotechnologie niet bestaan. De risico’s zijn afhankelijk van het type nanomateriaal (vorm, grootte, et cetera), de wijze van toepassen en blootstellen, het toepassingsgebied, et cetera. Er moet dan ook steeds gesproken worden van (potentiële) risico’s van bepaalde typen nanomaterialen in specifieke situaties en toepassingen.

Onderzoek en discussies over de (potentiële) risico’s van nanotechnologieën voor mens en milieu gaan nu alleen nog over eerste generatie nanomaterialen, zo ook in dit rapport. Daarbij gaat de aandacht terecht uit naar gefabriceerde, vrije, onafbreekbare en onoplosbare nanodeeltjes. Er is nog veel onbekend over de risico’s van deze deeltjes. Om daar meer over te weten komen, ligt een goed vertrekpunt in de manier waarop chemische stoffen in niet-nanovorm worden beoordeeld.

Kernbegrippen voor de komende jaren moeten zijn:

- **Kennis** vergroten en uitwisselen
- **Oplossingsrichtingen** en risicomanagement
- **Keuzes** maken
- **Onderzoek & Ontwikkeling**
- **Samenwerken**

4.1 Kennis vergroten en uitwisselen

Momenteel gaat internationaal veel aandacht uit naar het opstellen van onderzoeksagenda’s. Het is daarnaast ook groot belang om infrastructuren aan te leggen en te onderhouden die kennisuitwisseling tussen stakeholders, toepassingsdomeinen en verschillende wetenschappelijke disciplines bevorderen.

Algemene concepten over bijvoorbeeld de relatie tussen deeltjeskarakteristieken en opname in het lichaam zijn voorlopig nog moeilijk af te leiden. Dat komt omdat naar verwachting in de komende jaren per toepassingsgebied relatief weinig onderzoeksgegevens worden gegenereerd. Het is daarom noodzakelijk om kennis en ervaringen uit verschillende toepassingsgebieden te integreren om tenminste op middellange termijn (vijf à tien jaar) tot dergelijke concepten te komen. Kennis over medische toepassingen is relatief diepgravend en biedt daardoor met name vanuit methodologisch oogpunt goede aanknopingspunten voor andere toepassingsgebieden.

De ontwikkeling van veilige toepassingen kan worden bevorderd door tijdens de ontwikkelfase aandacht te hebben voor risicobeoordeling en risicomanagement. Daartoe moeten onderzoekers die nanotechnologieproducten ontwikkelen leren van onderzoekers die de toxicologie van vrije onoplosbare deeltjes bestuderen. En vice versa.

Er ontbreekt niet alleen kennis en informatie, ook schort het aan de uitwisseling ervan. Wereldwijd bestaat consensus dat bovenstaande problematiek interdisciplinaire samenwerking en afstemming vereist om dubbeling van onderzoek te voorkomen. Nederland onderschrijft deze conclusie in de kabinetsvisie over nanotechnologie. Op dit moment is onderzoek naar risico's binnen Nederland nog onvoldoende georganiseerd, mede omdat door de overheid hiervoor geen overkoepelende acties zijn uitgezet.

4.2 Oplossingsrichtingen en risicomanagement

Analyse over doelgroepen en toepassingen heen laat een aantal oplossingsrichtingen zien die risico voor mens en milieu kunnen minimaliseren. *Werknemers en professionele toepassers* van nanodeeltjes kunnen lering trekken uit 'goede praktijken'. Enige urgentie in de ontwikkeling van dergelijke praktijken is daarom van belang. Voor *patiënten* moeten de (bestaande) strenge toelatingseisen van medicijnen continu op hun actualiteit geëvalueerd worden. Er zijn minder aanknopingspunten beschikbaar om *consumenten* zo min mogelijk aan nanomaterialen in voedingsmiddelen en consumentenproducten bloot te stellen. Aanscherping van wetgeving dan wel informatieverstrekking aan de consument lijken hiervoor de beste opties. In Bijlage 6 in RIVM-rapport 601785002 worden achtergronden gegeven bij deze aanknopingspunten.

Voor het *milieu* is het meest voor de hand liggende aanknopingspunt het beperken van emissies. Nanodeeltjes worden in sterk toenemende hoeveelheden toegepast, in een steeds groter wordend aantal toepassingen. Te verwachten valt dat parallel aan deze ontwikkelingen ook de emissies naar het milieu zullen toenemen en daarmee logischerwijs ook de effecten op ecosystemen. Onderzoek naar gedrag in en eventuele effecten op het milieu verdienen daarom aandacht.

4.3 Keuzes maken

Het ontbreekt nog aan veel basiskennis om tot goede kwantitatieve risico-inschattingen te komen. De onderzoeksvragen zijn talrijk en methodologisch van aard. Een goede nationale en internationale afstemming van onderzoek kan helpen om deze kennishiaten in te vullen. Het is wenselijk als een visie ontwikkeld wordt op basis waarvan Nederland kan bijdragen aan risico-onderzoek. Nationale en internationale overheden zullen hierin prioriteiten moeten stellen.

4.4 Onderzoek & Ontwikkeling

Zowel innovatief onderzoek als toegepast onderzoek voor productontwikkeling zullen nodig zijn om tot optimale testmethoden te komen.

Onderzoek naar risico's zou in eerste instantie gericht moeten zijn op onderzoek dat een significante bijdrage levert aan een betrouwbare risicobeoordeling. Vanuit dat perspectief is het belangrijk om als

eerste aan te tonen dat nanomateriaal daadwerkelijk in die vorm in het lichaam wordt opgenomen. Als dat het geval is, moet volledig toxicologisch onderzoek worden gedaan. Indien het nanomateriaal voor opname vervalt tot de conventionele chemische stof, kan mogelijk gebruik worden gemaakt van bestaande toxicologische gegevens.

Het verdient aanbeveling om het risico-onderzoek op het gebied van nanotechnologie in de toekomst proactiever vorm te geven, vooral met het oog op de risico's van volgende generaties nanotechnologieën. Dit behelst een omslag van reactief naar anticiperend risico-onderzoek.

4.5 Samenwerken

Bij de inschatting van risico's van nanotechnologie zijn op hoofdlijnen drie actorengroepen te onderscheiden, namelijk wet- en regelgevende kaders, wetenschap en bedrijfsleven. Deze drie groepen dienen van elkaars vraagstellingen op de hoogte te zijn. Zo kunnen zij een prioritering aanbrengen in activiteiten om kennishiaten zo snel en efficiënt mogelijk in te vullen en risico's zo snel mogelijk te verminderen via risicomangement.

Ook het verbinden van onderzoek naar nanotoepassingen en de risico's daarvan in verschillende domeinen biedt perspectief: de unieke eigenschappen van nanodeeltjes die voor toepassingen interessant zijn, kunnen ook relevant zijn om risico's in kaart te brengen. Wat in het ene domein als een kans wordt gezien (bijvoorbeeld geneesmiddelen over de bloed-hersenbarrière brengen) wordt in een ander domein juist als een risico gezien (bijvoorbeeld nanodeeltjes in de hersenen). Alleen samenwerking tussen deze domeinen zal tot maatschappelijke voortgang leiden.

Gezien de voordelen die nanotechnologieën aan de samenleving kunnen bieden, doen de diverse belanghebbenden er goed aan hetzelfde uitgangspunt te onderschrijven: *implementatie van nanotechnologieën in de samenleving verdient een kans, op voorwaarde dat de veiligheid voor mens en milieu is gewaarborgd.*

Referenties

Gezondheidsraad 2006: betekenis van nanotechnologie voor de gezondheid. Den Haag, Gezondheidsraad, publicatie nr. 2006/06E.

ISO/TC229, International Organization for Standardization (ISO) Technical Committee (TC) 229, 2007. Nanotechnologies 2007: Draft business plan of TC229, ISO/TC 229 N 230.

Kabinet 2006: Kabinetsvisie nanotechnologieën: van klein naar groots, november 2006.

Poland CA, Duffin R, Kinloch I, Maynard A, Wallace WAH, Seaton A, Stone V, Brown S, MacNee W, Donaldson K. 2008. Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity display asbestos-like pathogenic behaviour in a pilot study. *Nat Nanotechnol.*, 3, 423-428.

VROM. 2004. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Verkeer. Nota “nuchter omgaan met risico’s”, maart 2004.

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl