

Gezondheidsraad

Nanomaterialen in afval

Signalement



Aan de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu

Onderwerp : Aanbieding advies *Nanomaterialen in afval*
Uw kenmerk : -
Ons kenmerk : U 6592/EvV/iv/789-K
Bijlagen : 1
Datum : 26 juli 2011

Geachte staatssecretaris,

Hierbij bied ik u het signalement *Nanomaterialen in afval* aan. Het is opgesteld door de Commissie Signalering Gezondheid en milieu, die als taak heeft om regering en parlement te attenderen op belangrijke issues op het gebied van gezondheid en milieu, en kansen en bedreigingen in kaart te brengen. Het is in conceptvorm beoordeeld door de Beraadsgroep Gezondheid en omgeving.

Het signalement vestigt de aandacht op de toenemende hoeveelheid nanomaterialen in afval, in verband met mogelijke risico's voor de volksgezondheid. Dit is geen onbekend vraagstuk. Het wordt reeds genoemd in het Gezondheidsraadadvies *Betekenis van nanotechnologieën* voor de gezondheid uit 2006. Het krijgt ook al aandacht in het beleid van het kabinet rond nanotechnologie. De commissie is echter van mening dat het vraagstuk van de nanomaterialen in afval om extra beleidsinspanningen vraagt. In dit signalement zet ze uiteen waarom en geeft ze aan in welke richting mogelijke oplossingen liggen.

Een afschrift heb ik ter kennisname gestuurd aan de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, de minister van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie en de staatssecretaris van Sociale Zaken en Werkgelegenheid.

Met vriendelijke groet,

prof. dr. H. Obertop,
vicevoorzitter

Bezoekadres
Parnassusplein 5
2511 VX Den Haag
Telefoon (070) 340 73 27
E-mail: pw.van.vliet@gr.nl

Postadres
Postbus 16052
2500 BB Den Haag
Telefax (070) 340 75 23
www.gr.nl

Nanomaterialen in afval

Signalement

aan:

de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu

Nr. 2011/14, Den Haag, 26 juli 2011

De Gezondheidsraad, ingesteld in 1902, is een adviesorgaan met als taak de regering en het parlement ‘voor te lichten over de stand der wetenschap ten aanzien van vraagstukken op het gebied van de volksgezondheid en het gezondheids(zorg)onderzoek’ (art. 22 Gezondheidswet).

De Gezondheidsraad ontvangt de meeste adviesvragen van de bewindslieden van Volksgezondheid, Welzijn & Sport; Infrastructuur & Milieu; Sociale Zaken & Werkgelegenheid; Economische Zaken, Landbouw & Innovatie en Onderwijs, Cultuur & Wetenschap. De raad kan ook op eigen initiatief adviezen uitbrengen, en ontwikkelingen of trends signaleren die van belang zijn voor het overheidsbeleid.

De adviezen van de Gezondheidsraad zijn openbaar en worden als regel opgesteld door multidisciplinaire commissies van – op persoonlijke titel benoemde – Nederlandse en soms buitenlandse deskundigen.



De Gezondheidsraad is lid van het European Science Advisory Network for Health (EuSANH), een Europees netwerk van wetenschappelijke adviesorganen.



INAHTA

De Gezondheidsraad is lid van het International Network of Agencies for Health Technology Assessment (INAHTA), een internationaal samenwerkingsverband van organisaties die zich bezig houden met *health technology assessment*.

U kunt het advies downloaden van www.gr.nl.

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:
Gezondheidsraad. Nanomaterialen in afval. Den Haag: Gezondheidsraad, 2011; publicatienr. 2011/14.

Preferred citation:
Health Council of the Netherlands. Nanomaterials in waste. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2011; publication no. 2011/14.

auteursrecht voorbehouden

all rights reserved

ISBN: 978-90-5549-847-5

Inhoud

Samenvatting 9

Executive summary 13

1 Inleiding 17

1.1 Onderwerp 17

1.2 Achtergrond 17

1.3 Vraagstelling 20

1.4 Commissie en werkwijze 20

1.5 Opbouw signalement 21

2 Toepassing en levensloop van nanomaterialen 23

2.1 Definitie, samenstelling en verschijningsvorm 23

2.2 Producten waarin nanomaterialen worden toegepast 24

2.3 Fabricage en toepassing van nanomaterialen in Nederland 25

2.4 Levensloop van producten met nanomaterialen 25

2.5 Verwachte ontwikkelingen 27

2.6 Conclusie 29

3 Ontstaan en verwerking van afval met nanomaterialen 31

3.1 Afvalbeheer 31

3.2 Producten met gebonden nanomaterialen 32

3.3	Producten met ongebonden nanomaterialen	36
3.4	Conclusie	39
<hr/>		
4	Consequenties voor het veilig omgaan met producten met nanomaterialen	41
4.1	Voorzorg	41
4.2	Tweesporenaanpak	42
4.3	Bewustwording en communicatie	43
4.4	Aandachtspunten voor nanoafvalbeleid	44
4.5	Concrete aanpak	45
4.6	Conclusie	47
<hr/>		
	Literatuur	49
<hr/>		
	Bijlage	55
A	De commissie	57

Samenvatting

Nanotechnologieën en nanomaterialen hebben in onze maatschappij een hoge vlucht genomen. In bijvoorbeeld de consumentensfeer zijn allerlei producten met nanomaterialen op de markt, waaronder elektronica en producten voor persoonlijke verzorging. In 2006 heeft de Gezondheidsraad het advies ‘Betekenis van nanotechnologieën voor de volksgezondheid’ uitgebracht, waarin de raad pleitte voor een beleid gebaseerd op het principe van voorzorg. Het kabinet heeft dit overgenomen in zijn Kabinetsvisie Nanotechnologie uit 2006. Voortbouwend op het eerdere advies vraagt de Gezondheidsraad in dit signalement aandacht voor nanomaterialen in het afval. Het is opgesteld door de Commissie Signalering Gezondheid en milieu, die tot taak heeft te attenderen op belangrijke verbanden tussen milieu-invloeden en de volksgezondheid.

Lusten en lasten van nanomaterialen

Nanomaterialen (met afmetingen van miljoenste millimeters) bezitten bijzondere chemische en fysische eigenschappen: sommige geleiden bijvoorbeeld stroom extra goed en andere maken coatings vuil- of waterafstotend. Hiermee hebben nanomaterialen bijgedragen aan een scala aan productvernieuwingen, in de consumentensfeer, de industrie en de medische sector. Voorbeelden zijn zonlichtbestendige verven, lichte en sterke kunststoffen voor de auto- en vliegtuigindustrie en bacteriedodende coatings. Nanomaterialen zitten verder in cosmetica, onderhouds- en reinigingsmiddelen, voedselverpakkingen en textiel.

Over de risico's van blootstelling aan nanomaterialen voor de gezondheid is echter relatief weinig bekend. Sinds het verschijnen van het Gezondheidsraadadvies uit 2006 is dit niet substantieel verbeterd, onder meer doordat de ontwikkelingen zo snel gaan dat inzicht in de eventuele nadelige effecten daarmee geen gelijke tred houdt. Eén van de oorzaken hiervan is dat routinematig bruikbare methoden om hun concentratie te meten in allerlei media ontbreken. Er zijn echter wel aanwijzingen dat sommige nanomaterialen schadelijk zijn voor de gezondheid. Daar onzekerheid bestaat over de risico's, is het raadzaam om onbedoelde blootstelling van mensen te minimaliseren, onder meer door zo veel mogelijk te voorkómen dat nanomaterialen in het milieu belanden. Afvalbeheer is dan een belangrijk aandachtspunt: ons afval bevat reeds nanomaterialen en dit zal gezien de trends in ontwikkeling, productie en toepassing alleen maar toenemen.

Reikwijdte van het signalement

Dit signalement legt het accent op onoplosbare en onafbreekbare nanomaterialen. Het neemt drie onderdelen van het afvalbeheer onder de loep: recycling en verbranding van vast afval en zuivering van rioolwater.

Het signalement gaat vooral over consumentenproducten, maar de conclusies en aanbevelingen hebben betrekking op alle nanomaterialen die naar verwachting in de (nabije) toekomst toegepast zullen gaan worden en mogelijk nanodeeltjes zouden kunnen afgeven, evenals op alle denkbare toepassingsgebieden.

Recycling

In het Nederlandse afvalbeheer bestaat veel aandacht voor gescheiden inzameling en hergebruik, van producten en materialen. Welke invloed de huidige vormen van recycling van materialen hebben op de in het afval aanwezige nanomaterialen is niet bekend. Hoeveel er in zit weten we ook niet.

Afvalverbranding

Het overblijvende vaste huishoudelijke afval, dat wordt verwerkt in afvalverbrandingsinstallaties, bevat een onbekende hoeveelheid nanomaterialen. Bij verbranding van afval komen altijd al deeltjes vrij met afmetingen in het nanobereik (aangeduid als ultrafijn stof). Vaststelling van de aanwezigheid en bepaling van de concentratie van verschillende soorten nanomaterialen moet specifiek geschieden, op basis van een combinatie van eigenschappen, waaronder

aantal deeltjes en deeltjesoppervlak en -samenstelling. Dat is echter nog niet goed mogelijk. Omdat er geen eenvoudige, betrouwbare methoden zijn om verschillende soorten nanodeeltjes in de lucht te meten en van elkaar en van ultrafijn stof te onderscheiden, is onbekend hoe effectief de verbrandingsinstallaties zijn in de verwijdering van nanomaterialen uit het restafval. Wel zijn er aanwijzingen uit wetenschappelijk onderzoek dat de uitstoot van deze installaties naast van oudsher ultrafijn stof ook nanodeeltjes bevat.

Waterzuivering

Nanomaterialen (bijvoorbeeld uit cosmetica en coatings) kunnen terechtkomen in het rioolwater. Ook hier geldt dat er geen bruikbare, specifieke technieken zijn voor routinematige analyse. Op hoofdlijnen zijn de meetproblemen bij rioolwater hetzelfde als bij lucht. Als gevolg van het ontbreken van meetmethoden is niet duidelijk in hoeverre de rioolwaterzuivering erin slaagt deze uit het water te halen, met als risico dat ze in het milieu terechtkomen. Niettemin zijn er indicaties uit wetenschappelijk onderzoek dat ze niet volledig worden verwijderd.

Daarnaast zijn er aanwijzingen dat nanodeeltjes de werking van de zuiveringsinstallaties nadelig kunnen beïnvloeden. Zo bevatten diverse consumentenproducten nanodeeltjes met een bacteriedodende werking. Deze bezitten het vermogen om de bacteriële zuivering aan te tasten.

Conclusies en aanbevelingen

De commissie concludeert dat er weinig zicht is op wat er met de nanomaterialen geschiedt wanneer de producten waarin ze zitten worden afgedankt, in welke hoeveelheden ze in het afval aanwezig zijn en in hoeverre ze daaruit kunnen vrijkomen in het milieu. Het is niet duidelijk in hoeverre het afvalbeheer is afgestemd op effectieve verwerking van nanomaterialen, terwijl er vanuit de wetenschap signalen zijn dat deze materialen tot problemen zouden kunnen leiden.

Volgens de commissie is er alle reden om het afvalbeheer tegen het licht te houden en uit overwegingen van voorzorg meer aandacht te geven aan de aanwezigheid van nanomaterialen. Het is raadzaam om daar nu mee te beginnen, voordat de hoeveelheid nanomaterialen in huishoudelijk afval en rioolwater sterk toeneemt. Dit past goed binnen het afvalbeheerbeleid.

Een dergelijk proactief beleid houdt onder meer in dat al bij de productontwikkeling aandacht uitgaat naar de fase waarin het product wordt afgedankt, om het

ontstaan van afval zo veel mogelijk te beperken. Voortschrijdend inzicht over schadelijke eigenschappen van bepaalde nanodeeltjes zou gebruikt moeten worden bij innovaties, zodat nieuwe generaties nanomaterialen de ongewenste eigenschappen niet of in mindere mate bezitten. De overheid zou het bedrijfsleven kunnen aanmoedigen tot slim ontwerpen en produceren.

Producenten, importeurs en toepassers van nanomaterialen kunnen invulling geven aan hun verantwoordelijkheid om veilige producten te vervaardigen en dat op veilige wijze te doen door bij het ontwerpen van nanomaterialen en producten met nanomaterialen kennis en ervaring uit te wisselen met experts uit de afvalsector. De afvalbranche kan bovendien een actieve rol spelen door de afvalverwerking waar nodig aan te passen en te bezien in hoeverre nieuwe technologieën voor afvalverwerking een bijdrage kunnen leveren aan veilige verwerking van afval met nanomaterialen.

De commissie beveelt aan zowel de ontwikkelingen rond toekomstige generaties nanomaterialen als de modernisering van het afvalbeheer te monitoren en het beleid er steeds op aan te passen. Scenario-analyse is een bruikbare manier om te verkennen welke nanomaterialen in welke hoeveelheden in welke afvalstromen terechtkomen.

De commissie beveelt aan met prioriteit te investeren in de ontwikkeling van methoden om specifieke soorten nanomaterialen in media als lucht en water te meten. Het gebrek aan adequate meetmethoden is namelijk een belangrijke reden waarom risico-onderzoek en -beheersing achterlopen bij ontwerp, productie en toepassing van nanomaterialen.

Verder acht de commissie onderzoek wenselijk naar de bijdrage die nieuwe afvalverwerkingstechnologieën kunnen leveren aan de aanpak van het vraagstuk.

Executive summary

Health Council of the Netherlands. Nanomaterials in waste. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2011; publication no. 2011/14.

Nanotechnologies and nanomaterials are having a large and growing impact on society. For example, all kinds of nanomaterial-containing consumer products are being launched onto the market, including electronics and personal care products. In 2006, the Health Council of the Netherlands published an advisory report entitled “Health significance of nanotechnologies”, in which it called for a policy based on the precautionary principle. The Dutch government adopted this report’s recommendations in its 2006 Government Vision on Nanotechnology. Building on that previous advisory report, the Health Council is using this horizon-scanning report to raise awareness of the issue of nanomaterials in waste. It was drafted by the Health and Environment Surveillance Committee, which is tasked with alerting the authorities to important links between environmental factors and human health.

Costs and benefits of nanomaterials

Nanomaterials (which are just several millionths of a millimetre in size) have special chemical and physical properties: for example, some are highly efficient electrical conductors, while others are used to create water-repellent or dirt repellent coatings. These properties have spurred the use of nanomaterials in a range of product innovations in the consumer-, industrial-, and medical sectors. Some examples are sunlight-resistant paints; strong, lightweight plastics for the auto-

motive and aircraft industries; and antibacterial coatings. Nanomaterials are also found in cosmetics, preservatives, cleaning agents, food packaging, and textiles.

However, relatively little is known about the risks to health associated with exposure to nanomaterials. Since the publication of the 2006 Health Council advisory report, there has been no substantial improvement in this situation. This is partly because the rapid rate of developments is outpacing our ability to identify any adverse effects that might be involved. One reason for this is the lack of routinely applicable methods for measuring the concentration of nanomaterials in various media. However, there is evidence to suggest that some nanomaterials are indeed harmful to health. Given the uncertainty surrounding the risks involved, it would be advisable to keep inadvertent human exposure to a minimum. This could include measures to ensure that, as far as possible, nanomaterials are prevented from entering the environment. Accordingly, waste management is an important consideration in this regard. Our waste already contains nanomaterials and, given the trends in development, production and use, the amounts involved will inevitably continue to grow.

Scope of the horizon-scanning report

This horizon-scanning report focuses on insoluble and non-degradable nanomaterials. It specifically addresses three components of waste management: recycling and incineration of solid waste, and wastewater purification.

The horizon scanning report deals mainly with consumer products. However, its conclusions and recommendations apply to all nanomaterials that are potentially capable of releasing nanoparticles, and that are expected to be used in the near or longer term future. They also apply to all conceivable areas of application.

Recycling

The Dutch waste management sector places great emphasis on the separated collection and recycling of products and materials. It is not known what effect current materials recycling processes have on nanomaterials present in waste. Nor do we know the exact quantities involved.

Waste incineration

The remaining solid household waste, which is processed at waste incineration plants, contains an unknown amount of nanomaterials. The incineration of waste

is always accompanied by the release of particles in the nanometre size range (referred to as ultrafine particles). Procedures to confirm the presence of various types of nanomaterials, and to measure their concentration, must target specific materials. This should be based on a combination of properties, including the numbers, surface area, and composition of the particles in question. However, that is not yet a viable option. There are no simple, reliable methods for measuring different types of nanoparticles in the air, nor for distinguishing them from one another and from ultrafine particles. Furthermore, it is not known how effective incineration plants are at removing nanomaterials from waste. However, there is evidence from scientific research that, aside from the ultrafine particles that are traditionally present, emissions from such plants also contain nanoparticles.

Water purification

Nanomaterials (from cosmetics and coatings, for example) can end up in waste water. Here too, no usable, specific techniques have been developed for routine analysis. The measurement problems associated with waste water are broadly the same as for air. Given the lack of appropriate measurement methods, it is not known how effective the waste water treatment process is at removing nanomaterials from water. As a result, there is a risk that they will enter the environment. Indeed, there is some evidence from scientific research to suggest that these materials are not completely removed.

There are also indications that nanoparticles can adversely affect the operation of wastewater treatment plants. Some consumer products, for example, contain nanoparticles with a bactericidal effect. These can impact the bacterial purification processes used at such plants.

Conclusions and recommendations

The Committee concludes that, when products are disposed of, little is known about the fate of any nanomaterials that they may contain. Similarly, it is not known how much of this material is present in waste, nor how much may be released into the environment. A growing body of scientific evidence indicates that nanomaterials may cause problems. Yet there are questions about the extent to which waste management is geared to the effective handling of such materials.

According to the Committee, there is every reason to scrutinise waste management and, in accordance with the precautionary principle, to focus on the presence of nanomaterials. It is advisable to start right away, before there is a

steep climb in the amounts of nanomaterials in household waste and waste water. This is fully in keeping with waste management policy.

One of the implications of a proactive policy of this kind is that early on, at the product development stage, there should be a focus on the phase in which the product is discarded. The goal is to keep the amount of waste generated to a minimum. Our growing understanding of the harmful properties of certain nanoparticles must be integrated into the process of innovation. In this way, new generations of nanomaterials would have fewer adverse properties, or none at all. The government should encourage industry to adopt smart design and production techniques.

The producers, importers and users of nanomaterials have a responsibility to provide safe products, and should make every effort to do so safely. This could be achieved by exchanging know-how (and discussing their experiences) with experts from the waste sector when designing nanomaterials and products containing them. The waste sector can also get actively involved by modifying waste treatment processes where necessary and by considering how new waste treatment technologies might effectively contribute to the safe handling of nanomaterial-containing waste.

The Committee recommends that trends associated with future generations of nanomaterials and with the modernisation of waste management should be carefully monitored. Also, policy should be continually updated to reflect developments in these areas. Scenario analysis is a useful tool for identifying and quantifying nanomaterials in waste, and for pinpointing the waste streams involved.

The Committee recommends that funding be provided, as a matter of priority, to develop methods of measuring specific types of nanomaterials in media such as air and water. This was prompted by the fact that a lack of adequate measurement methods is one of the main reasons why risk management and risk research are lagging behind in the design, manufacture, and use of nanomaterials.

The Committee also feels that research is needed into the ways in which new waste treatment technologies can help tackle this issue.

Inleiding

1.1 Onderwerp

In dit signalement neemt een commissie van de Gezondheidsraad het lot van een relatief nieuwe groep producten, producten met nanomaterialen, in de afvalfase onder de loep. Tot deze producten behoren (consumenten)elektronica, verpakkingsmaterialen, producten voor persoonlijke verzorging en medische diagnostica.¹⁻⁴ In dit signalement wordt de vraag beantwoord of we voldoende zicht hebben op wat er in de afvalfase met de nanomaterialen in de producten gebeurt en wat dat betekent voor de volksgezondheid.

1.2 Achtergrond

1.2.1 *Nanomaterialen en hun toepassingen*

Nanowetenschap en nanotechnologieën vormen een breed vakgebied dat de laatste jaren in een stroomversnelling is geraakt. Het voorvoegsel ‘nano’ – is afgeleid van de eenheid nanometer (nm), een miljardste meter. Materialen krijgen naarmate ze kleiner worden een groter oppervlak bij dezelfde inhoud. Bij afmetingen in het nanobereik krijgen ze andere eigenschappen.

Voorbeelden van producten met nanomaterialen en toepassingen van nanotechnologie zijn verven die zonlichtbestendig zijn of zelfherstellend na beschadiging, vensterglas met een vuilwerende coating en lichte en sterke kunststoffen

(composieten) voor de auto-industrie en vliegtuigbouw, bacteriedodende coatings en onderdelen van geavanceerde technische apparatuur en allerlei industriële processen (zie verder hoofdstuk 2).

1.2.2 Onbekende gezondheidsrisico's

Hun bijzondere technische eigenschappen maken nanomaterialen zo aantrekkelijk dat er steeds meer producten op de markt komen waarin ze worden toegepast en dat van deze producten ook steeds meer wordt gefabriceerd. Naast kansen levert dit mogelijk ook risico's op, voor de volksgezondheid bijvoorbeeld. Enkele jaren geleden heeft de Gezondheidsraad bepleit om uit het oogpunt van de volksgezondheid voorzorg toe te passen en de kansen en de risico's zorgvuldig tegen elkaar af te wegen.⁵ Wat de gezondheidsrisico's van het gebruik van nanomaterialen betreft, heeft de raad geconstateerd dat er nog veel kennislacunes bestaan, maar dat er wel indicaties voor dergelijke risico's zijn. Er zijn bijvoorbeeld directe aanwijzingen dat nanomaterialen via inademing gezondheidsschade kunnen veroorzaken. Zo heeft proefdieronderzoek met stoffen als titaniumdioxide en *carbon black* (roet, een vorm van koolstof) in deeltjesvorm aangetoond dat deze deeltjes bij blootstelling via de luchtwegen ontstekingen en tumoren in de longen kunnen veroorzaken. Daarbij is gebleken dat nanodeeltjes een groter effect hebben dan een zelfde massa grotere deeltjes van dezelfde stof.^{6,7}

Er bestaan ook belangrijke indirecte aanwijzingen dat het inademen van nanomaterialen schadelijk voor de gezondheid zou kunnen zijn. Deze zijn afkomstig uit onderzoek van andere kleine deeltjes, namelijk fijn stof* en vezels.

Inademen van fijn stof kan leiden tot aandoeningen van de luchtwegen en het hart en de bloedvaten.^{8,9} Vooral de ultrafijne fractie (deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 0,1 micrometer), de fractie dus met dimensies van nanomaterialen, wordt voor deze effecten verantwoordelijk gehouden.^{10,11}

Bij de vezels gaat het met name om allerlei soorten vezels die als isolatiemateriaal worden, of zijn toegepast. Daaronder zijn glasgarens, glaswol, steenwol, slakkenwol, superfijne glasvezels, keramische vezels, *p*-aramidevezels en asbest. Sommige soorten bezitten kankerverwekkende eigenschappen, andere niet.¹²⁻¹⁵ Ook al hebben de vezels iets grotere afmetingen dan nanomaterialen (micrometers), deze bevindingen maken het tezamen met die van nanomaterialen en

* Fijn stof is een verzamelnaam voor deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 micrometer die van nature ontstaan, bijvoorbeeld door bodemerosie en vulkaanuitbarstingen, of onbedoeld door de mens worden gevormd, bijvoorbeeld bij processen als verbranding van fossiele brandstoffen en het malen van stoffen in de industrie.

ultrafijn stof plausibel dat nanomaterialen, in elk geval bij inademing, schadelijke eigenschappen kunnen vertonen. Ze maken echter tegelijk duidelijk dat nanomaterialen wat dit betreft niet zonder meer over één kam mogen worden geschoren.

Naast de Gezondheidsraad hebben ook andere binnenlandse en buitenlandse instanties op het bestaan van gezondheidsrisico's gewezen (zie bijvoorbeeld ¹⁶⁻²³). Intussen is het aantal aanwijzingen toegenomen (zie bijvoorbeeld ^{24,25} voor overzichtsartikelen). Er zijn meer resultaten van onderzoek met cellen, bacteriën en proefdieren waaruit blijkt dat sommige nanomaterialen in staat zijn om het erfelijk materiaal te beschadigen, de vorming van schadelijke stoffen als reactieve zuurstofverbindingen te bevorderen, of ontstekingsverschijnselen in de longen te veroorzaken. Bovendien lijken nanomaterialen schade te kunnen veroorzaken aan ecosystemen.²⁶ Via deze route zijn indirecte effecten op de volksgezondheid denkbaar.

Beleidsmatig is de laatste jaren in Nederland op het terrein van de nanotechnologieën veel ondernomen om besluiten over introductie ervan op zorgvuldige wijze te nemen. In 2006 heeft de regering de Kabinetsvisie Nanotechnologie aan de Tweede Kamer aangeboden.²⁷ Daarin is het advies van de Gezondheidsraad overgenomen en is beleid geformuleerd dat voorzorg als uitgangspunt heeft. Dit beleid is vervolgens uitgewerkt in het Actieplan Nanotechnologie, waarvan inmiddels de eerste voortgangsrapportage is verschenen.²⁸⁻³¹ Het Actieplan bevat onder meer een actie gericht op een dialoog over de ethische en maatschappelijke aspecten van nanotechnologie. De resultaten daarvan zijn recent gerapporteerd aan de Tweede Kamer.^{32,33} Het Actieplan bevat ook acties gericht op verdere analyse en beteugeling van risico's, zoals nader onderzoek naar de gezondheidsschadelijke eigenschappen van nanomaterialen. Het tempo van de ontwikkeling en marktintroductie van nieuwe producten ligt echter zo hoog dat dit onderzoek daarmee geen gelijke tred houdt.³⁴ Bij het huidige niveau van technologische ontwikkeling in onze maatschappij blijkt het principieel onmogelijk om risico-onderzoek gelijk op te laten lopen met toepassingsonderzoek.³⁵ Praktisch gezien speelt onder meer een rol dat de chemisch-analytische methoden waarmee de aanwezigheid van conventionele stoffen in mens, dier en milieu wordt onderzocht niet bruikbaar zijn voor nanomaterialen en dat het ontwikkelen van geschikte methoden tijdrovend is.³⁶

1.2.3 Afval

In het Actieplan krijgen de productie en de professionele toepassing van nanomaterialen veel aandacht van overheid en bedrijfsleven. Zo is intussen onder-

zocht hoe de Nederlandse industrie met nanomaterialen omgaat.^{37,38} Veel minder in beeld is de fase waarin de producten worden afgedankt. Ook elders wordt voor de afvalfase vrijwel uitsluitend in algemene bewoordingen aandacht gevraagd (zie bijvoorbeeld^{21,34}).

Door de groei van het aantal producten met nanomaterialen zal echter – met enige vertraging – ook de hoeveelheid nanomaterialen in afval toenemen.³⁹ Waar het gaat om nanomaterialen die niet oplosbaar en niet biologisch afbreekbaar zijn, zouden deze bij afvalverwerking in het milieu kunnen vrijkomen, met als gevolg onbedoelde blootstelling van mens en natuur. Wanneer deze materialen schadelijke eigenschappen bezitten, zou dat een probleem kunnen zijn. Daarom is het, zolang we niet weten in hoeverre de afzonderlijke nanomaterialen die worden toegepast schadelijke eigenschappen bezitten, raadzaam bewust aandacht te besteden aan de afvalfase van de producten waarin ze zitten en het vrijkomen van de nanomaterialen in het milieu. Een complicerende factor hierbij is dat we maar tot op zekere hoogte weten welke producten nanomaterialen bevatten.

In dit signalement vestigt de Gezondheidsraad de aandacht op het vraagstuk van afval van producten met nanomaterialen. De inzet is het voorkómen van mogelijke volksgezondheidsproblemen in de toekomst. Het accent ligt op consumentenproducten met nanomaterialen die niet oplosbaar en niet biologisch afbreekbaar zijn. Met dit signalement borduurt de raad voort op de aanbeveling uit zijn eerdere advies over nanotechnologie om risico's in een vroeg stadium te identificeren.

1.3 Vraagstelling

In dit signalement worden de volgende twee vragen beantwoord:

- In hoeverre zijn de afvalverwerkingspraktijk en de daarbinnen gebruikte afvalverwerkingstechnologie toegesneden op producten met nanomaterialen?
- Wat betekent dit voor het veilig omgaan met producten met nanomaterialen?

1.4 Commissie en werkwijze

Dit signalement is opgesteld door de Commissie Signalering Gezondheid en milieu. De taak en samenstelling van de commissie staan in bijlage A.

In het kader van de totstandkoming van dit signalement heeft de commissie werkbezoeken gebracht aan de Afvalverbranding Rijnmond (Van Gansewinkel Groep, Rotterdam), de DCMR (Milieudienst Rijnmond, Schiedam) en de rioolwaterzuiveringsinstallatie De Groote Lucht te Vlaardingen. Daarnaast heeft de commissie enkele personen met specifieke expertise geraadpleegd. Hun namen

staan in bijlage A. De gesprekken en werkbezoeken dienden om achtergrondinformatie te vergaren, de praktijk van de afvalverwerking te leren kennen en de bevindingen op basis van de literatuur te toetsen.

Het signalement is in conceptvorm beoordeeld door de leden van de Beraadsgroep Gezondheid en omgeving, één van de vaste colleges van deskundigen van de Gezondheidsraad.

1.5 Opbouw signalement

In hoofdstuk 2 wordt beschreven wat nanomaterialen precies zijn en hoe ze worden toegepast. Vervolgens beantwoordt de commissie in hoofdstuk 3 de vraag in hoeverre de afvalbranche is toegesneden op de verwerking van nanomaterialen. In hoofdstuk 4 schetst ze de contouren van een op voorzorg gebaseerd afvalbeleid.

Toepassing en levensloop van nanomaterialen

2.1 Definitie, samenstelling en verschijningsvorm

In een eerder advies van de Gezondheidsraad zijn materialen als nanomaterialen getypeerd als ze in ten minste één dimensie kleiner zijn dan 100 nm.⁵ Een internationaal geaccepteerde definitie bestaat nog niet, al wordt hier wel aan gewerkt (zie bijvoorbeeld ⁴⁰). Voor dit signalement is het voldoende dat het gaat om materialen die bestaan uit deeltjes met afmetingen in het nanobereik.

Er zijn ook materialen die structuren met nanoafmetingen bevatten die geen deeltjes zijn. Voorbeelden zijn computerchips met nanogroeven en filters met nanoporiën, die bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden bij de drinkwaterzuivering (verwijdering van biologische en chemische verontreinigingen). Hier is wel sprake van nanotechnologie, maar niet van materiaal waaruit nanodeeltjes onbedoeld vrij zouden kunnen komen in het milieu. Voor sommigen zijn nanomaterialen niet alleen speciaal gefabriceerde materialen, maar ook natuurlijke materialen met nanoafmetingen (kleideeltjes bijvoorbeeld) die bewust aan producten worden toegevoegd om hun eigenschappen te veranderen. Dit signalement gaat hier verder niet op in.

Nanomaterialen bestaan uit organische of anorganische componenten, zoals koolstof, metalen en metaaloxiden. Ook kunnen ze combinaties van bestanddelen bevatten. Bovendien bestaan er nanomaterialen die aan hun oppervlak chemisch veranderd zijn. Een voorbeeld van dit laatste vormen fullerenen, moleculen van koolstof, waaraan hydroxyl- of andere functionele groepen zijn

gekoppeld. Verder vertonen nanomaterialen een grote variatie aan verschijningsvormen.³⁹ De deeltjes kunnen bijvoorbeeld bol- of spiraalvormig en hol of massief zijn.

Nanomaterialen zijn op allerlei manieren te verwerken. Ze kunnen als poeder door een vloeistof worden gemengd, een crème bijvoorbeeld, om die vloeistof bepaalde eigenschappen te geven (ongebonden nanomaterialen). Ze zijn ook met een vloeistof die als drager fungeert (verf, was of spray bijvoorbeeld) als een dunne laag op een oppervlak aan te brengen (gebonden nanomaterialen). Daarnaast kunnen nanomaterialen worden gemengd met materialen die uitharden en zo bijdragen aan de driedimensionale structuur in vaste materialen als kunststoffen (eveneens gebonden nanomaterialen). In dit laatste geval zitten ze ingebed in een matrix van ander materiaal. Daar waar dat zinvol is, worden de termen ‘gebonden nanodeeltjes’ en ‘ongebonden nanodeeltjes’ gebruikt.

2.2 Producten waarin nanomaterialen worden toegepast

Nanomaterialen vormen bestanddelen van allerlei producten die reeds op de markt zijn, of op afzienbare termijn op de markt zullen verschijnen. Het toepassingsgebied omvat de sectoren voedsel, consumentenproducten en technologie, waaronder op medisch gebied de medische behandeling, medische diagnostiek en gezondheidsbewaking vallen. Sommige toepassingen waren al ingeburgerd voordat de term nanotechnologie in zwang kwam. Een voorbeeld is *carbon black*, waarmee autobanden beter bestand worden gemaakt tegen slijtage. Voorbeelden van andere, nieuwere toepassingen van nanomaterialen zijn voedselverpakkingen die voedsel langer vers houden, en coatings die oppervlakken schoon of bacterievrij houden. Onlangs is aangetoond dat een nieuw type coating met bacteriedodende eigenschappen ook effectief is tegen antibioticaresistente micro-organismen.⁴¹ Het aanbrengen van een dergelijke laag op oppervlakken in ziekenhuizen waarmee het personeel in contact komt, bijvoorbeeld de toetsenborden van computers, kan wellicht helpen om het aantal ziekenhuisinfecties terug te dringen. Andere voorbeelden van producten in de consumentensfeer waarin nanomaterialen worden toegepast zijn verf, inkt en toner, producten voor persoonlijke verzorging als deodorants en cosmetica, kleding- en meubelstoffen, mobieltjes; voorbeelden uit de wereld van de medische technologie zijn wondverzorgingsproducten en contrastmiddelen voor medische diagnostiek.

Alleen al op het gebied van de consumentenproducten zijn ruim 1.300 producten met nanomaterialen bekend, die worden geproduceerd door bijna 600 bedrijven, gelokaliseerd in 30 landen.^{1,2} Sedert enkele jaren worden van overheidswege de consumentenproducten geïdentificeerd die in Nederland te koop

zijn en waarvan wordt vermoed dat ze nanomaterialen bevatten.^{3,42,43} Volgens de meest recente gegevens zijn hier intussen ruim 850 consumentenproducten met nanomaterialen verkrijgbaar.⁴ Het gaat vooral om producten voor persoonlijke verzorging en onderhouds- en reinigingsmiddelen, maar ook om kledingtextiel. Ook in de voedselketen worden nanomaterialen ingezet, onder meer bij de productie en verwerking van voedsel en in voedselverpakkingen.⁴⁴ Poedervormige voedingsmiddelen als koffiemelkpoeder en instantsoep bevatten in sommige gevallen siliciumdioxide-nanodeeltjes.⁴⁵ Mogelijk bevatten meer consumentenproducten nanomaterialen zonder dat de productinformatie dit vermeldt.

2.3 Fabricage en toepassing van nanomaterialen in Nederland

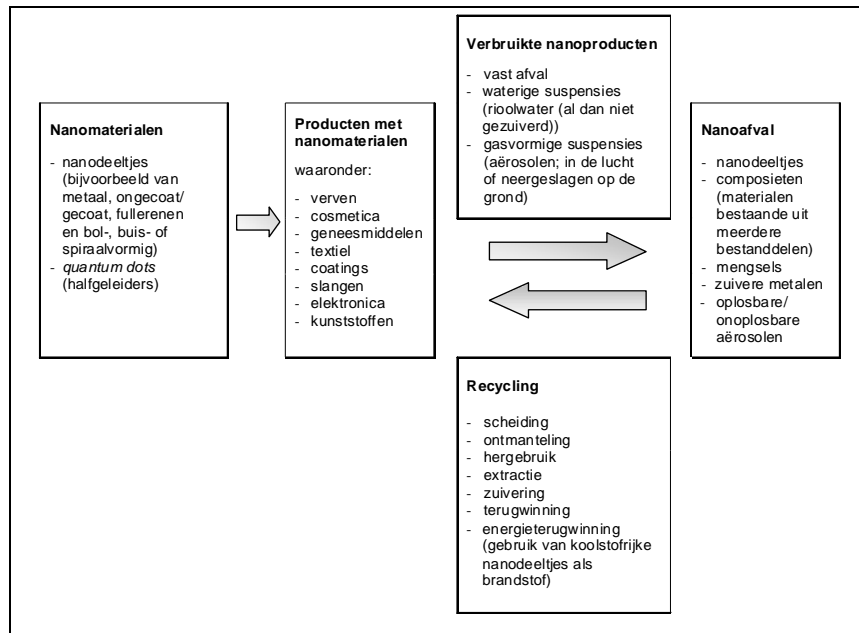
In Nederland worden weinig nanomaterialen geproduceerd, ze worden hier voornamelijk toegepast.^{37,38} Het grootste aantal toepassingen in bedrijven ligt binnen het segment oppervlaktebehandeling en coatings, waarbij het substraat varieert van textiel, metaal en kunststoffen tot glas. De grootste hoeveelheden zijn te vinden bij commerciële toepassingen. De top drie in (gewichts)hoeveelheden wordt gevormd door *carbon black*, silica, en aluminiumoxides.³⁸

De overige nanomaterialen worden in (veel) kleinere hoeveelheden gebruikt of geproduceerd. Daar gaat het namelijk vooral om ontwikkeling van, of gebruik in commerciële toepassingen in (consumenten)producten die in het algemeen verder in de toekomst liggen.

2.4 Levensloop van producten met nanomaterialen

Ieder product, of het nanomaterialen bevat of niet, doorloopt de fases van onderzoek en ontwikkeling, productie en professionele toepassing, gebruik en afval. In sommige gevallen wordt aan het eind van de levensloop een recyclingstap ingevoegd. In dit signalement is de Nederlandse afvalverwerking het uitgangspunt.

Recycling is een cyclisch proces, waarbij materialen geheel of gedeeltelijk worden hergebruikt voor dezelfde toepassing (oud papier wordt verwerkt tot nieuw papier), of voor een andere, laagwaardiger toepassing (van gft-afval wordt compost gemaakt). Het restafval (het vaste afval dat overblijft nadat deelstromen gescheiden zijn aangeboden en/of ingezameld) wordt in de meeste gevallen zonder verdere scheiding verwijderd door verbranding en alleen de onbrandbare rest wordt gestort. Rioolwater wordt gezuiverd en het meeste slib dat daarbij ontstaat vergist (onder zuurstofvrije omstandigheden omgezet in gasvormige producten, waarvan methaan de belangrijkste is), waarna het restant wordt verbrand. In sommige gevallen wordt het slib tot compost verwerkt.



Figuur 1 Schema van de levensloop van nanomaterialen (naar ³⁹, gewijzigd).

In figuur 1 is de levensloop van nanomaterialen schematisch weergegeven. Op enig moment bereiken de producten met nanomaterialen het afvalstadium. De termijn waarop dit gebeurt loopt sterk uiteen. Bij verpakkingen van bederfelijke voedingsmiddelen bijvoorbeeld betreft het een periode in de orde van weken, bij tv's of medisch-diagnostische apparatuur gaat het om jaren.

Ook hoe het afval ontstaat en waar het terecht komt verschilt. De kunststofverpakkingen van producten voor persoonlijke verzorging bijvoorbeeld belanden na verbruik van de producten in het vaste afval en worden vervolgens verbrand. Vaak bevatten ze nog een restje product. In dit geval kan ook reeds tijdens de gebruiksfase afval ontstaan en in het milieu terechtkomen. Ongebonden nanodeeltjes kunnen namelijk uit op de huid aangebrachte producten voor persoonlijke verzorging van de huid loskomen en zo in het milieu verspreid raken. Dergelijke deeltjes kunnen ook onder de kraan afspoelen en via douchen en zwemmen in het riool terechtkomen.⁴⁶ De gebruiksfase en de afvalfase zijn dus niet strikt te scheiden. Afval met eventuele nanomaterialen ontstaat ook nog vroeger in de levensloop, onder meer tijdens de fabricage van producten. Voorbeelden zijn wegwerphandschoenen en werkkleding.

Voor elektr(on)ische apparaten en batterijen bestaat een inzamelingssysteem. De ingezamelde voorwerpen worden uit elkaar gehaald en bruikbare materialen (metalen en kunststoffen) worden teruggewonnen en hergebruikt. De rest wordt verbrand. Sommige exemplaren van elektrische en andere producten waarvan dat niet de bedoeling is, belanden echter in het huishoudelijk afval (in het algemeen kleine voorwerpen als verfblikken, mobieltjes en batterijen). Deze voorwerpen worden in hun geheel verbrand, inclusief de aanwezige nanomaterialen.

Mensen kunnen dus in verschillende fasen van de levensloop van producten met nanomaterialen onbedoeld in aanraking komen met die nanomaterialen. Het kan bijvoorbeeld om het algemene publiek gaan, of om bepaalde groepen werknemers (bij de toepassing van nanomaterialen, of in de afvalverwerkingssector). Dat verschilt van product tot product. Ook kan het milieu worden belast, niet alleen in de afvalfase, maar ook in bijvoorbeeld de gebruiksfase door het onbedoeld ontstaan van afval. Er bestaat dus samenhang tussen de blootstelling van het milieu, de algemene bevolking en werknemers. De details van deze samenhang verschillen per materiaal, product en toepassing.

Op wat er tijdens de levensloop van producten precies met de daarin aanwezige nanomaterialen geschiedt, bestaat nog nauwelijks zicht. Ontleden deze bijvoorbeeld, gaan ze een reactie aan, of klonteren ze samen in het geval van ongebonden deeltjes? Kortom, hoe komt een deeltje dat in een product gaat er aan het eind van de levensloop uit? Welke invloed hebben terugwinning en hergebruik van onderdelen op de aanwezige nanomaterialen? En hoe gemakkelijk of moeilijk raken gebonden deeltjes los uit een coating? In hoeverre kunnen de deeltjes uit coatings en composieten vrijkomen gebonden aan componenten van de drager of matrix? Wat betekent dit voor het gedrag van de nanomaterialen in het product en de media waar ze terecht kunnen komen (buitenlucht en rioolwater bijvoorbeeld)? Dit zijn allemaal relevante vragen, die op dit moment echter niet te beantwoorden zijn.

2.5 Verwachte ontwikkelingen

2.5.1 Nabije toekomst

Voor de toekomst verwacht de Sociaal-Economische Raad (SER) dat vooral het gebruik van titaandioxide en aluminiumoxides in coatings fors zal toenemen door nieuwe producten in de consumentensfeer. Verder wordt een groot aantal nanomaterialen getest voor een groot aantal toepassingen (*carbon nanotubes* bijvoorbeeld) of voor toepassing in composietmaterialen (menging met polymeren), waardoor sterkere kunststoffen ontstaan. Waarschijnlijk leiden deze trends op

den duur tot fabricage van een grote verscheidenheid aan producten met deze nanomaterialen en van grote aantallen per type product.

De overige nanomaterialen worden in kennisinstellingen en in mindere mate in bedrijven getest ten behoeve van hoogwaardige toepassingen waarvan nog onduidelijk is in hoeverre commerciële exploitatie in het verschiet ligt. Voorbeelden zijn nanomaterialen uit goud, ceriumoxide of antimoonoxide.

In deze vooruitblik zijn niet alle verwachte stromen materialen en producten betrokken. De im- en export van elders in de wereld ontwikkelde producten met nanomaterialen zal vrijwel zeker ook toenemen.

De verwachtingen ten aanzien van het gebruik van nanomaterialen hebben grotendeels betrekking op nanomaterialen die intussen worden toegepast als onderdeel of ingrediënt van bestaande types producten. Hun belangrijkste gemeenschappelijke kenmerk vormen hun passieve, gefixeerde structuren en functies. Ze staan bekend als de eerste generatie nanomaterialen.⁴⁷

De hierboven gegeven beschrijving van de Nederlandse stand van zaken heeft voor een deel ook betrekking op de tweede generatie, die wordt gevormd door actieve nanostructuren die na een stimulus van eigenschappen kunnen veranderen (in afmeting, vorm of geleidingsvermogen bijvoorbeeld). Voorbeelden zijn nanodeeltjes die geneesmiddelen gericht naar een tumor in het lichaam brengen en onder invloed van een stralingsbron het geneesmiddel in de tumor loslaten, en nanomaterialen in moleculaire 'motoren' die onder invloed van licht voor de aandrijving zorgen. De producten op basis van dit type nanomaterialen verkeren in de meeste gevallen nog in de ontwikkelingsfase, maar marktintroductie is realistisch op niet al te lange termijn.

2.5.2 *Op langere termijn*

Voor de langere termijn liggen ontwikkelingen in het verschiet die veel verder gaan en waarvan de maatschappelijke gevolgen veel minder duidelijk zijn, ofschoon deze vermoedelijk verstrekkend zijn. Op dit moment tekenen zich in ieder geval al een derde en een vierde generatie nanomaterialen af.⁴⁷ De derde generatie bestaat uit systemen van nanosystemen: driedimensionale netwerken, biochemische en chemische assemblagetechnieken en robotica op nanoschaal. De vierde generatie bestaat uit moleculaire nanosystemen die per deeltje ontworpen kunnen worden, bijvoorbeeld voor geavanceerde genetische therapieën. Ook zichzelf samenstellende structuren op nanoschaal vallen binnen deze vierde generatie. Er laat zich zelfs al een vijfde generatie omschrijven.⁴⁸ Daarin vallen grote complexe systemen die vanaf de nanoschaal worden opgebouwd.

De beloftes van deze derde, vierde en vijfde generaties nanomaterialen liggen verder in de toekomst dan die van de eerste twee.

De veranderingen voltrekken zich in hoog tempo: het aantal consumentenproducten in het *Woodrow Wilson*-bestand bijvoorbeeld (eerste generatie) is van 2006 tot 2010 bijna verdubbeld.² Naarmate de ontwikkelingen verder in de toekomst liggen, zijn de maatschappelijke gevolgen van de nieuwe technologieën en materialen – positieve én negatieve – minder goed te overzien. Dit geldt ook voor het afval dat ze opleveren.

2.6 Conclusie

Het gebied van de nanotechnologieën en -materialen is uiterst dynamisch. Waarschijnlijk zal de ontwikkeling en toepassing van nieuwe generaties nanomaterialen een hoge vlucht nemen. Voor een deel doen die een groot beroep op ons voorstellingsvermogen, ook wat betreft de afvalfase. In het kielzog van de ontwikkelingen zullen in elk geval de hoeveelheid en verscheidenheid aan nanomaterialen in het afval gaan toenemen, te beginnen bij de nanomaterialen van de eerste en tweede generatie.

Ontstaan en verwerking van afval met nanomaterialen

In dit hoofdstuk wordt de vraag beantwoord, in hoeverre de afvalverwerkingspraktijk en de daarbinnen gebruikte afvalverwerkingstechnologie zijn toegesneden op producten met nanomaterialen, vanuit het idee dat de hoeveelheid nanomaterialen die in het milieu belandt zo ver mogelijk moet worden beperkt.

Na een korte schets van de uitgangspunten van het algemene afvalbeleid bespreekt de commissie het ontstaan en de verwerking van afval met nanomaterialen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen producten met nanomaterialen die gebonden zijn in een matrix of aan een drager en producten die ongebonden nanodeeltjes bevatten. Aan bod komen drie onderdelen van de afvalverwerking: recycling, afvalverbranding en rioolwaterzuivering. Het accent ligt hierbij op consumentenproducten met nanomaterialen van de eerste en tweede generatie en op het ontstaan van afval tijdens het gebruik en bij de afdanking. In de conclusies wordt ook het perspectief van volgende generaties nanomaterialen betrokken.

3.1 Afvalbeheer

Het Nederlandse beleid voor het afvalbeheer beoogt de hoeveelheid afval te beperken en zo de belasting van het milieu, en daarmee van mens en dier zo laag mogelijk te houden. Het heeft betrekking op de gehele (materiaal)keten: van materiaalproductie tot en met afvalverwerking. Prioriteit voor het voorkómen van afval impliceert onder meer hergebruik als secundaire grondstof, of voor andere nuttige toepassingen als energieopwekking.

Het afvalbeheerbeleid is vastgelegd in het Landelijk Afvalbeheerplan 2009-2021, dat zijn basis heeft in de Wet milieubeheer.⁴⁹ Dit plan beschrijft de Nederlandse afvalbeheerketen, die de volgende voorkeursvolgorde kent: 1) preventie door afval te voorkómen, 2) preventie door producten slim te ontwerpen, 3) nuttig toepassen door producthergebruik, 4) nuttig toepassen door materiaalhergebruik (recycling), 5) nuttig toepassen als brandstof, 6) verwijderen door verbranden, 7) verwijderen door storten.

Naarmate eerder in de keten wordt ingegrepen, is het probleem aan het eind kleiner. Er ontstaat immers minder te verbranden en te storten restafval. Een bekend voorbeeld van producthergebruik vormen herbruikbare bier- en frisdrankflessen van glas. Bij materiaalhergebruik gaat het bijvoorbeeld om fabricage van nieuwe glazen voorwerpen uit ingezameld glas.

Waterig afval valt ook onder de Wet milieubeheer, maar niet onder het Landelijk afvalbeheerplan, omdat de systematiek daarvan slecht toepasbaar is op rioolwater. Het heeft een eigen voorkeursvolgorde, die onder meer behelst dat achtereenvolgens het ontstaan en de verontreiniging van rioolwater worden voorkomen of beperkt.

3.2 Producten met gebonden nanomaterialen

3.2.1 *Scheiding, inzameling en hergebruik*

In Nederland wordt afval op ruime schaal aan de bron gescheiden en apart ingezameld. Doel is om gezondheidsrisico's te beperken – van gevaarlijk afval als asbest en klein chemisch afval, waartoe verfstoffen, spaarlampen en medicijnen behoren. Daarnaast dient scheiding en aparte inzameling om hernieuwd gebruik van waardevolle producten of bestanddelen mogelijk te maken. Zo blijft de hoeveelheid restafval klein. In het spraakgebruik staat materiaalhergebruik bekend als recycling. Apart ingezameld en verwerkt worden diverse producten en soorten afval, waaronder groente-, fruit- en tuinafval van huishoudens, plastic, papier en karton, batterijen, afgedankte elektrische en elektronische apparaten en bouw- en sloopafval.

Afval met nanomaterialen

Verscheidene soorten consumentenproducten die apart worden ingezameld en gerecycled, zoals batterijen en elektronica, bevatten nanomaterialen, andere waarschijnlijk binnen afzienbare tijd.

Dat betekent dat bij apart ingezameld afval (bestaande én eventueel nieuw te vormen stromen) rekening moet worden gehouden met de aanwezigheid van nanomaterialen. In hoeverre noopt dat tot wijzigingen in het afvalbeheer? Bieden vernieuwingen in de scheiding, de inzameling en het hergebruik van afval, kansen om het vrijkomen van nanomaterialen in het milieu te beteugelen? Daar hebben we nog geen inzicht in.

3.2.2 Afvalverbranding

Het reguliere brandbare restafval dat overblijft na scheiding en inzameling wordt verbrand in een afvalverbrandingsinstallatie (AVI, dit is een technische eenheid die uitsluitend of in hoofdzaak bestemd is om restafval te verwijderen door verbranding met terugwinning van energie), of mee verbrand (met gangbare brandstoffen als gas en kolen) in een energiecentrale. De verbranding van restafval is wettelijk geregeld in het Besluit verbranden afvalstoffen.⁵⁰

Onder restafval vallen onder meer huishoudelijk restafval (restafval van particuliere huishoudens), daarmee vergelijkbaar restafval van bedrijven (restafval van bedrijven uit de handel, diensten en overheidssector) en zuiveringsslib, het restafval van rioolwaterzuiveringsinstallaties.

Aanwezigheid van nanomaterialen

Het is aannemelijk dat huishoudelijk restafval ook nu al nanomaterialen bevat. Van dit afval weten we dat het bijvoorbeeld overblijfselen bevat van consumentenproducten als voedingsmiddelen en verpakkingsmateriaal van voedings- en schoonmaakmiddelen. Dat dit afval nanomaterialen bevat is aannemelijk, gezien de toepassingen van nanomaterialen en de levensduur van de producten waarin ze zijn verwerkt. Met het reguliere huishoudelijke afval dat wordt verbrand gaan overigens ook ongebonden nanodeeltjes mee (tubes met restjes nanodeeltjes bevattende crème bijvoorbeeld).

Ook ander afval, bijvoorbeeld dat afkomstig van bedrijven, kan nanomaterialen bevatten. Diverse bedrijven en kennisinstellingen (universiteiten en onderzoeksinstituten) die met nanomaterialen werken verzamelen hun nanoafval apart.³⁷ Ze laten het echter uiteindelijk met het gewone restafval afvoeren, omdat er geen voorzieningen zijn voor gescheiden inzameling.

Het is niet bekend welke hoeveelheden van welke soorten nanomaterialen ons vaste afval en ons restafval op dit moment bevat. Dat geldt voor alle genoemde afvalstromen. Een belangrijke oorzaak is dat we slechts tot op zekere hoogte weten in welke consumentenproducten nanomaterialen zijn toegepast.

Algemene effectiviteit AVI's

Bij het verbranden van restafval in een AVI ontstaan rookgas, bodemas (as die in de verbrandingsoven achterblijft) en warmte. Het rookgas bevat vliegias (vaste verbrandingsresten die door hun geringe afmetingen in de rookgasstroom worden meegevoerd) en wateroplosbare schadelijke stoffen, waaronder zuren. Het rookgas wordt in een serie was- en filtratiestappen gezuiverd alvorens het de schoorsteen van de AVI verlaat. De wateroplosbare en deeltjesvormige (vliegias) verontreinigingen worden daarbij zoveel mogelijk verwijderd. De regelgeving vereist dat het totale proces van verbranding inclusief rookgasreiniging gebeurt met de beste beschikbare technieken.⁵¹ De bodemas wordt bewerkt tot onder meer funderings- en ophogingsmateriaal voor de wegenbouw, de vliegias wordt gestort.

Het totale proces van verbranding en rookgasreiniging is zo ingericht dat de concentraties van een aantal schadelijke stoffen die tijdens het verbrandingsproces ontstaan, waaronder fijn stof, in de uitstoot beneden vastgestelde normen blijven. De concentratie fijn stof in de uitstoot wordt uitgedrukt in massa per volume-eenheid lucht. Er is onderzocht hoe effectief de rookgasreiniging van een AVI fijne en ultrafijne deeltjes uit de aangevoerde rookgassen verwijderd. Uit metingen aan de uitstoot van AVI's voor en na rookgasreiniging blijkt dat de rookgasreiniging de concentratie fijn stof op aantalsbasis tot ruwweg een duizendste vermindert, maar dat relatief veel ultrafijne deeltjes worden doorgelaten.⁵²⁻⁵⁴

Mogelijkheden om nanodeeltjes in de uitstoot te meten

Nanomaterialen die niet via de rookgasreiniging verwijderd worden en de schoorsteen ongewijzigd verlaten, zijn op grond van hun afmetingen niet te onderscheiden van ultrafijn stof. Dat betekent dat meetmethoden op andere basis nodig zijn om hun aanwezigheid vast te stellen en ze te kwantificeren. Probleem is dat er geen betrouwbare en specifieke methoden zijn voor het aantonen en kwantificeren van specifieke (groepen van) nanomaterialen.

Aantalbepaling is niet voldoende kenmerkend. Geschikte maten voor het kwantificeren van nanomaterialen in lucht bestaan uit een combinatie van grootheden als het aantal deeltjes en het oppervlak en de samenstelling van het materiaal. De meting van deze karakteristieken is echter nog volop onderwerp van wetenschappelijke discussies. Er bestaat wel apparatuur om van een luchtmonster de deeltjesgrootteverdeling te bepalen en per grootteklasse vast te stellen hoeveel deeltjes deze bevat. Het is echter veel moeilijker om de samenstelling van de deeltjes in die klassen te meten en de samenstelling van individuele deel-

tjes te bepalen. Het is dus niet eenvoudig om de uitstoot van AVI's te controleren op aanwezigheid van specifieke (groepen van) nanomaterialen en te bepalen in hoeverre deze (mee) verwijderd worden bij de afvalverbranding. Voor routinematige analyse van luchtmonsters bestaan in ieder geval nog geen bruikbare technieken. Meer gedetailleerde beschouwingen over meetmethoden zijn te vinden in overzichtsartikelen en aanvullende publicaties (zie bijvoorbeeld ⁵⁵⁻⁵⁷). De gegevens tot nu toe zijn verkregen met tijdrovende experimentele technieken.

Onvolledige verwijdering van materialen met nanoafmetingen

Onder meer doordat betrouwbare, routinematig bruikbare meetmethoden voor (specifieke soorten) nanodeeltjes in lucht ontbreken, is niet bekend hoe effectief AVI's zijn in het verwijderen van de in het restafval aanwezige nanomaterialen. Er zijn wel publicaties over afvalverbranding en nanomaterialen, maar die geven geen antwoord op de vraag wat er met de materialen in het ter verbranding aangeboden restafval gebeurt. Zo is er een analyse van vliegias gepubliceerd, maar de gevonden koolstofhoudende deeltjes met nanoafmetingen, waaronder fullerenen, kunnen tijdens het verbrandingsproces zijn gevormd.⁵⁸ Van dergelijke deeltjes is namelijk bekend dat ze bij verbranding van koolstof ontstaan.⁵⁹ De analyse van vliegias op zich geeft dus geen antwoord op de vraag of ter verbranding aangeboden nanomaterialen verwijderd worden.

Wel valt uit het onderzoek naar de effectiviteit van de rookgasreiniging af te leiden dat niet alle ultrafijne deeltjes worden verwijderd. Doorgelaten wordt echter zo weinig materiaal dat de bijdrage van de uitstoot van AVI's aan de concentratie ultrafijn stof in de buitenlucht klein is vergeleken met die van verkeers-emissies.⁵² Wanneer ook nanomaterialen worden doorgelaten, al is het maar in kleine hoeveelheden, zou dat afhankelijk van hun schadelijkheid, een probleem kunnen zijn.

De bovengenoemde schaarse bevindingen, die zijn verkregen met tijdrovende en dus niet routinematig bruikbare analysemethoden, suggereren dat er reden is om aan te nemen dat de uitstoot van AVI's ook andere kleine deeltjes bevat dan degene die tijdens verbrandingsprocessen nieuw worden gevormd. Verder zijn er nog veel open vragen. We weten bijvoorbeeld niet of het uitmaakt of de nanomaterialen ongebonden zijn, in of aan een ander materiaal vastzitten, welk materiaal dat is, noch of het uitmaakt hoe groot de brokstukken afval zijn die verbrand worden. Ook weten we niet of de bijzondere eigenschappen van de nanomaterialen zelf van invloed zijn op de verbranding, of dat de verbranding niet verschilt van die van de overeenkomstige niet-nanomaterialen. Verder is onbekend of de nanomaterialen chemische en fysische veranderingen ondergaan

tijdens de verbranding. Koolstof in koolstofbevattende nanomaterialen kan in principe volledig verbranden, maar of dat daadwerkelijk geschiedt, hangt af van de omstandigheden, waaronder de temperatuur en de grootte van brokstukken. Andere materialen, zoals edelmetalen en metaaloxiden, verbranden niet, maar kunnen wel chemische en fysische interacties aangaan met andere anorganische bestanddelen.

Nieuwe afvalverwijderingsprocessen

Voor de verwijdering van afval worden steeds nieuwe, milieuvriendelijker technologieën ontworpen en geïntroduceerd, zoals vergassing, een alternatief voor verbranding. Vergassing is een chemisch proces waarbij een materiaal bij hoge temperatuur wordt omgezet in een mengsel van voornamelijk koolmonoxide en waterstof, een gasvormige brandstof die als alternatief voor aardgas kan dienen. Een belangrijke vraag is in hoeverre technologieën als deze een gunstige invloed hebben op de verwijdering van eventueel in het afval aanwezige nanomaterialen, verondersteld dat toepassing economisch haalbaar is.

3.3 Producten met ongebonden nanomaterialen

Deeltjes, ook ongebonden nanodeeltjes, kunnen in het rioolwater terechtkomen. Rioolwater wordt gezuiverd in een riool- of afvalwaterzuiveringsinstallatie (RWZI). Dat is een technische eenheid die water dat via het riool wordt aangevoerd, zuivert tot het niveau waarop het op het oppervlaktewater mag worden geloosd. Het aangevoerde water bestaat uit huishoudelijk afvalwater en bedrijfsafvalwater dat daarmee wat betreft de biologische afbreekbaarheid van de aanwezige verontreinigingen overeenkomt. Het principe van de rioolwaterzuivering is algemeen, maar de installaties gebruiken verschillende technieken voor de verschillende stappen. Op hoofdlijnen gaat het om beluchting, bacteriële afbraak en verwijdering van deeltjes via bezinking. Er gelden eisen voor de maximale concentraties van onder meer fosfaat, stikstof en onopgeloste deeltjes die mogen voorkomen in gezuiverd rioolwater.

Het aangevoerde rioolwater bevat (onoplosbare en biologisch niet afbreekbare) kleine deeltjes met dezelfde afmetingen als nanodeeltjes, waaronder stof van de straat dat via het regenwater in het riool belandt.

Aanvoer van nanodeeltjes

Nanodeeltjes bevattend rioolwater kan ontstaan als gevolg van allerlei toepassingen van ongebonden nanodeeltjes gesuspendeerd in vloeistoffen. Bij cosmetica kunnen nanodeeltjes van de huid afspoelen in de waterstromen die in het riool worden opgevangen. Het water afkomstig van douche, gootsteen, toilet en regen wordt in het riool opgevangen en naar een RWZI geleid.

Overigens kunnen ook producten met gebonden deeltjes leiden tot belasting van het rioolwater met nanodeeltjes, doordat ze vrijkomen uit het materiaal. Bij de gebonden nanomaterialen met driedimensionale inbedding zal losraken onder normale omstandigheden waarschijnlijk nauwelijks gebeuren, maar er kan wat vrijkomen als gevolg van slijtage. Bij coatings zal het van de kwaliteit van de hechting afhangen in hoeverre er vanzelf (onbedoeld) nanomaterialen vrijkomen en langs welke route ze in het milieu terechtkomen. Er zijn echter wel situaties waarin een laag nanomateriaal wellicht ongebonden nanodeeltjes kan afgeven, bijvoorbeeld wanneer verf wordt afgeschuurd. Het daarbij gevormde stof kan door schoonmaken (binnenshuis), of regen (buiten) in het riool terechtkomen. Bij coatings is het losraken van nanodeeltjes ook aangetoond. In water dat langs gevels loopt die zijn geschilderd met verf met nanodeeltjes van titaandioxide, zijn deze deeltjes namelijk teruggevonden.⁶⁰

Bovendien zijn er aanwijzingen dat nanodeeltjes inderdaad in rioolwater vóórkomen. In een gebied in de VS waar het onwaarschijnlijk is dat er van nature zilver voorkomt, zijn zilversulfidedeeltjes met nano-afmetingen aangetoond in rioolwaterzuiveringsslib.⁶¹

Onvolledige verwijdering van nanodeeltjes

Het hierboven aangehaalde onderzoek in de VS maakt het niet alleen plausibel dat zilverhoudende nanodeeltjes in rioolwater vóórkomen, maar ook dat ze eruit kunnen worden verwijderd.⁶¹ Ze zijn immers in het slib aangetoond. De zilvernano-deeltjes blijken als onoplosbaar zilversulfide neer te slaan. Uit het onderzoek is echter niet op te maken hoeveel er op deze wijze uit het rioolwater wordt verwijderd, omdat de concentratie in het aangevoerde water niet is gemeten.

Ander onderzoek laat zien dat verschillende soorten nanodeeltjes gedeeltelijk met het slib worden verwijderd onder laboratoriumomstandigheden die de werking van een RWZI nabootsen.^{62,63} Getest zijn nanodeeltjes van ceriumoxide en titaandioxide, alsmede diverse soorten nanodeeltjes op basis van zilver en koolstof.

Hoewel het beeld verre van compleet is, zijn er dus in ieder geval indicaties dat de rioolwaterzuivering nanodeeltjes niet volledig verwijdert.

Verder levert het sedimentatie-onderzoek van deeltjes in het algemeen inzicht in het te verwachten bezinkingsgedrag van nanodeeltjes. Deeltjes met een diameter van 1 micrometer en meer kunnen in een RWZI door bezinking uit het rioolwater worden verwijderd.⁴⁶ Kleinere deeltjes kunnen deze afmetingen bereiken door samenklonteren of binden aan andere slibbestanddelen. Ook voor nanodeeltjes die hiertoe in staat zijn, geldt dat ze zich via bezinking uit het rioolwater laten verwijderen. Anders kunnen ze in het gezuiverde water belanden. Het is niet bekend in hoeverre bezinking bijdraagt aan het verwijderen van nanomaterialen. Een kapstok bieden wellicht de uitkomsten van laboratoriumonderzoek waarmee het gedrag van nanomaterialen in waterige vloeistoffen wordt bestudeerd voor het opzetten van testen om de eventuele schadelijkheid van nanodeeltjes te bepalen.⁶⁴⁻⁶⁶

Invloed van nanodeeltjes op de werking van RWZI's

Er bestaan aanwijzingen dat in rioolwater aanwezige nanodeeltjes de werking van RWZI's nadelig kunnen beïnvloeden. Zo blijken zilverhoudende nanodeeltjes onder laboratoriumomstandigheden de bacteriële zuivering te kunnen aantasten.⁶⁷ Dat nanodeeltjes een bedreiging kunnen vormen voor (deze stap van) de rioolwaterzuivering is ook op theoretische gronden aannemelijk. De nanodeeltjes uit het onderzoek behoren namelijk tot een type dat bewust is ontworpen om bacteriën te doden en ook juist om deze bacteriedodende eigenschappen in allerlei (consumenten)producten wordt ingezet. Het bekendste voorbeeld vormen zilverhoudende nanodeeltjes in een reeks van producten, waaronder sokken en toilet-potten- en wasmachinecoatings. De zilverionen die uit de nanodeeltjes vrijkomen zijn verantwoordelijk voor de antibacteriële werking.

Er zijn dus experimentele bevindingen en overwegingen van theoretische aard die het aannemelijk maken dat nanodeeltjes met antimicrobiële eigenschappen een bedreiging kunnen vormen voor de reguliere rioolwaterzuivering.

Bedreiging van de rioolwaterzuivering houdt een duidelijk indirect gevaar in voor de volksgezondheid. Dit risico is dan ook concreter dan de onvolledige verwijdering van nanodeeltjes, waarvan de consequenties voor de volksgezondheid veel minder helder zijn.

Nanodeeltjes meten in water

Meetmethoden om (specifieke soorten) nanodeeltjes in rioolwater voor en na zuivering te meten staan nog in de kinderschoenen. Op hoofdlijnen geldt hier hetzelfde als bij de analyse van lucht. De gebruikelijke meetmethoden voor stoffen in water berusten op massa en samenstelling. Voor routinematige analyse van watermonsters op nanodeeltjes bestaan daarom nog geen bruikbare technieken. Bij het hierboven aangehaalde wetenschappelijk onderzoek is ook geen sprake van routine-analyse, maar zijn er tijdrovende analysemethoden gebruikt, zoals elektronenmicroscopie. Meer gedetailleerde beschouwingen zijn te vinden in diverse overzichtsartikelen (zie bijvoorbeeld ^{55,56,68-70}).

Nieuwe afvalverwijderingsprocessen

De rioolwaterzuivering wordt steeds verder verbeterd en milieuvriendelijker gemaakt, door bijvoorbeeld een lager verbruik van chemicaliën en energie.⁷¹ Net als bij de afvalverbranding bestaat er nauwelijks inzicht in de bijdrage die nieuwe technologische mogelijkheden kunnen leveren aan de verwijdering van nanodeeltjes.

3.4 Conclusie

De commissie concludeert in de eerste plaats dat er nog maar weinig zicht is op wat er met de verschillende nanomaterialen gebeurt wanneer de producten waarin ze zitten worden afgedankt, in welke hoeveelheden ze in het afval aanwezig zijn en in hoeverre ze daaruit kunnen vrijkomen in het milieu. Dit speelt bij alle drie de beschouwde afvalverwerkingmethoden: recycling, afvalverbranding en rioolwaterzuivering. Het geldt voor de huidige situatie, maar zeker ook voor de effecten van eventuele toekomstige veranderingen, in de samenstelling van afvalstromen (ten gevolge van gescheiden inzameling van meer soorten afval) en in afvalverwerkingstechnologieën. Daarbij speelt bovendien dat afval- en gebruiksfase niet scherp te scheiden zijn. Het gebrekkige zicht op het lot van nanomaterialen in afval heeft twee belangrijke oorzaken: er bestaat weinig aandacht voor en geschikte analysemethoden ontbreken. Daarnaast speelt ook een rol dat er vermoedelijk producten op de markt zijn waarvan niet bekend is dat er nanomaterialen in zitten en dus ook niet in welke afvalstromen deze nanomaterialen uiteindelijk belanden.

De vorming van nanoafval loopt achter bij de productie en de professionele toepassing van nanomaterialen – en in mindere mate bij het gebruik van de uit-

eindelijke (consumenten)producten. De aandacht voor, en de kennis over de risico's die kleven aan de verschillende levensfasen van producten met nanomaterialen, lijken deze trend te volgen, met het afvalstadium als hekkensluiter. De commissie heeft de indruk dat de overheid en de afvalverwerkingsbranche nog te weinig beseffen dat we voor een groei, in hoeveelheid én verscheidenheid, staan van nanomaterialen in het afval.

De mogelijkheden om nanomaterialen in de uitstoot van AVI's en gezuiverd rioolwater te meten zijn beperkt. Het is tot nu toe niet mogelijk om op betrouwbare wijze routinematige metingen in lucht en water te doen. Als gevolg hiervan weten we niet of nanodeeltjes (al dan niet in gewijzigde vorm) bij de afvalverbranding en rioolwaterzuivering in het milieu terecht komen.

De commissie concludeert dat niet duidelijk is of het afvalbeheer voldoende is afgestemd op de aanwezigheid van nanomaterialen en op de verwachte veranderingen in de hoeveelheid en de aard van die materialen op de korte en de lange termijn. Uit enkele signalen in de wetenschappelijke literatuur valt op te maken dat er reden is om verbetering in deze situatie aan te brengen. Voor de afvalverbranding zijn er summiere aanwijzingen die plausibel maken dat er nanodeeltjes vrijkomen. In het geval van de rioolwaterzuivering zijn er indirecte aanwijzingen dat nanodeeltjes worden geloosd op het oppervlaktewater. Verder loopt de rioolwaterzuivering in zijn huidige vorm mogelijk gevaar als gevolg van aanvoer van rioolwater met nanodeeltjes met antimicrobiële werking.

Daarom stelt de commissie vast dat er indicaties zijn dat de huidige afvalverwerking niet toereikend is om te voorkómen dat nanomaterialen in het milieu belanden en dat het rioolwaterzuiveringsproces mogelijk wordt bedreigd. De ontwikkeling en introductie van nieuwe afvalverwerkingsprocessen bieden echter kansen om extra aandacht te schenken aan het lot van in afval aanwezige nanomaterialen.

Consequenties voor het veilig omgaan met producten met nanomaterialen

In dit hoofdstuk beantwoordt de commissie de vraag wat haar bevindingen betekenen voor het veilig omgaan met producten met nanomaterialen en meer algemeen de ontwikkelingen op het gebied van de nanomaterialen, om nadelige effecten op de gezondheid zoveel mogelijk te voorkómen.

4.1 Voorzorg

Het inzicht in de blootstelling aan allerlei nanomaterialen is, net als dat in hun mogelijke schadelijkheid voor de gezondheid, fragmentarisch. Dat pleit voor handelen met voorzorg. Handelen met voorzorg is in een eerder advies van de Gezondheidsraad omschreven als het zorgvuldig en op het vraagstuk toegesneden omgaan met onzekerheden.⁷² Dit wil zeggen dat de voor- en nadelen van handelingsopties, de onzekerheid waarmee die zijn omgeven en de gevolgen voor belanghebbenden in kaart worden gebracht en tegen elkaar worden afgewogen bij de beoordeling van het vraagstuk en de formulering van beleidsbeslissingen. Bij het vraagstuk van de nanomaterialen is het zaak om de gehele levensloop van producten met nanomaterialen onder de loep te nemen, ter bescherming van het milieu, de algemene bevolking en werknemers. Extra aandacht is wenselijk als het gaat om de afvalvorming, omdat onzeker is in hoeverre de nanomaterialen dan vrijkomen in het milieu. Handelen met voorzorg houdt in dat de Nederlandse overheid nu reeds beleid in gang zet dat rekening houdt met de aanwezigheid van nanomaterialen in afval, voordat de concentraties nanomaterialen

in de verschillende afvalstromen sterk in omvang toenemen. Een dergelijk beleid past goed binnen het duurzaam afvalbeheer vastgelegd in het Landelijk Afvalbeheerplan 2009-2021.⁴⁹

In de volgende paragrafen worden aanknopingspunten gegeven voor zo'n beleid.

4.2 Tweesporenaanpak

De tweesporenaanpak waarop het reguliere afvalbeheer berust, is onverminderd toepasbaar op het beheer van afval waarin nanomaterialen aanwezig zijn. Deze aanpak bestaat uit het voorkómen van afval en veilig omgaan met afval.

Prioriteit heeft het voorkómen van nanomaterialen in afval. Net als bij niet-nanomaterialen is hier het devies 'hoe vroeger er in de materiaalketen (van productie tot afdanking) wordt ingegrepen, hoe gunstiger het effect'. Dat geldt voor alle nanomaterialen, in gebonden en in ongebonden vorm. Slim(mer) ontwerp en slimmere productiemethoden kunnen een belangrijke bijdrage leveren. De overheid stimuleert dit ook reeds langere tijd. Internationaal is het extra in de belangstelling komen te staan toen het begrip *cradle to cradle* (C2C) werd gelanceerd, dat staat voor de kringloopgedachte en het uitbannen van restafval.⁷³ Producten moeten dusdanig worden ontworpen dat na gebruik alle materialen op een hoogwaardige manier te hergebruiken zijn, doordat ze worden verwerkt in een nieuw product, of terugkeren in een biologische kringloop (natuurlijke afbraak van hout bijvoorbeeld). Bij nanomaterialen en producten met nanomaterialen kan slim ontwerpen en vervaardigen er toe bijdragen dat deze materialen in het afvalstadium niet, of minder vrijkomen in het milieu. In hoeverre hiertoe mogelijkheden bestaan zal per geval moeten worden beoordeeld.

Naast het treffen van preventiemaatregelen is het raadzaam om te investeren in het veilig(er) verwijderen van het nanoafval dat ondanks preventiemaatregelen ontstaat. Bijvoorbeeld door de processen van recycling, afvalverbranding en rioolwaterzuivering tegen het licht te houden en waar mogelijk aan te passen. Wellicht kunnen ook nieuwe technologieën voor verwerking van vast afval en rioolwater hierbij behulpzaam zijn. Een voorbeeld is de reeds genoemde vergassing, die wellicht kan worden ingezet voor de verwerking van specifieke soorten vast afval.* Wat vergassing en andere nieuwe technologieën betekenen voor het

* Het Energie-onderzoek Centrum Nederland in Petten bereidt samen met het energie- en afvalnutsbedrijf HVC in Alkmaar een proefproject voor over vergassing van sloophout, een reststroom die nanomaterialen kan bevatten (verf, coatings).

lot van eventueel in het afval aanwezige nanomaterialen zal nader onderzoek moeten uitwijzen.

4.3 Bewustwording en communicatie

De met nanoafval verbonden gezondheidsrisico's zijn op dit moment nog uiterst moeizaam te beoordelen en met grote onzekerheid omgeven. Voor het beoordelings- en besluitvormingsproces betekent dit voortzetten van de maatschappelijke dialoog waarmee een begin is gemaakt.^{32,33} Daarbij verdienen twee groepen bijzondere aandacht: overheid en bedrijfsleven en het algemeen publiek.

4.3.1 Overheid en bedrijfsleven

Uit het oogpunt van voorzorg is het verstandig om de vele betrokken partijen, waaronder overheid, fabrikanten, importeurs en afvalverwerkingsector, bewust te maken van het feit dat we een groei van nanoafval kunnen verwachten (in hoeveelheid én verscheidenheid) en dat dit om een proactief beleid vraagt, omdat we niet over voldoende kennis beschikken om te kunnen beoordelen in welke mate de volksgezondheid door nanoafval in het geding komt. Het vraagstuk vereist volgens de commissie een aanpak waarbij overheid en bedrijfsleven gezamenlijk naar oplossingen zoeken. Daarbij gaat het om de (private en publieke) afvalverwerkers, alsmede de actoren met verantwoordelijkheid voor andere onderdelen van de materiaalketen, zoals producenten en toepassers van nanomaterialen.

De afvalverwerkers kunnen een actieve rol spelen door hun kennis en ervaring te gebruiken om de afvalverwerking waar nodig aan te passen en te bezien in hoeverre nieuwe technologieën voor afvalverwerking een bijdrage kunnen leveren aan veilige verwerking van afval met nanomaterialen.

Bij het voorkómen van nanoafval, waar de prioriteit ligt, is een actieve rol weggelegd voor de producenten, importeurs en toepassers van nanomaterialen. Uit hoofde van de wet- en regelgeving op het gebied van de milieu- en consumentenbescherming hebben zij namelijk een zorgplicht. Zo staat in de Wet milieubeheer een algemene zorgplicht voor het milieu en in de EU-verordening 'regelgeving, evaluatie en autorisatie van chemische stoffen (REACH)' een zorgplicht voor het omgaan met een stof. Deze laatste verplichting houdt in dat bedrijven de verantwoordelijkheid hebben om zelf in actie te komen wanneer ze vermoeden dat een stof die ze produceren, in de handel brengen of gebruiken schade kan toebrengen aan mens of milieu en alle maatregelen te nemen die redelijkerwijze kunnen worden gevegd om die gevaren zoveel mogelijk te voorkomen of te beperken. Aan deze verplichting, die ook betrekking heeft op de

afvalverwerking, zou het bedrijfsleven uitvoering kunnen geven door ontwerpers van nanomaterialen en producten met nanomaterialen in de gelegenheid te stellen kennis en ervaring uit te wisselen met experts uit de afvalsector.

4.3.2 *Algemeen publiek*

Daarnaast vindt de commissie het raadzaam om weloverwogen te beslissen hoe het algemene publiek het beste kan worden betrokken en geïnformeerd. Dit is van belang voor het verwerven van draagvlak voor beleidsvernieuwing (meer soorten afval apart inzamelen bijvoorbeeld).

In sommige gevallen is het misschien ook zinvol om het publiek duidelijk te maken dat ze onbedoelde blootstelling aan nanomaterialen kunnen vermijden door zelf veilig om te gaan met de producten waarin deze materialen zitten, tot en met het moment waarop ze worden afgedankt. De commissie vindt het aangegeven om van geval tot geval te bezien in hoeverre toepassingen hier aanleiding toe geven. Het is namelijk alleen zinvol bij concrete problemen aan te geven wat men moet doen, of juist achterwege dient te laten. Algemeen gestelde boodschappen over omgang met producten met nanomaterialen en hun afval zijn alleen geschikt als er ook sprake is van algemene geldigheid.

Dit betekent dat op voorhand dient te worden nagedacht over de communicatie. Niet alleen moet dat proactief geschieden, maar ook moet niet alleen afval centraal staan, maar het totale gebruik. Aanknopingspunten zijn te vinden in de resultaten van de maatschappelijke dialoog tot nu toe.^{32,33}

Bij het beschikbaar maken van informatie zou het bestaande Kennis- en Informatiepunt Risico's van nanotechnologie (KIR-nano) een rol kunnen spelen om informatie over het vraagstuk van het nanoafval toegankelijk te maken voor het algemene publiek.

4.4 **Aandachtspunten voor nanoafvalbeleid**

De commissie acht nader beleid wenselijk voor het omgaan met eenmaal ontstaan nanoafval. Dit geldt voor alle drie de beschouwde routes voor verwerking van huishoudelijk afval (recycling, afvalverbranding en rioolwaterzuivering).

Het beleid moet rekening houden met de snelle ontwikkelingen in de nanotechnologie en de trends in het afvalbeheer en hierop anticiperen. Het gaat onder meer om de volgende zaken:

- Diversiteit van nanomaterialen. Nanomaterialen vormen een heterogene groep, zowel in hun chemische en fysische eigenschappen, als in hun toepassingen. Als gevolg van deze heterogeniteit zijn verschillende soorten in ver-

schillende afvalstromen te verwachten. Het is niet op voorhand duidelijk wat dat betekent voor de aanpak, bijvoorbeeld in hoeverre een groepsgewijze aanpak voor materialen of producten zinvol en werkbaar is. Eén algemene aanpak volstaat waarschijnlijk niet.

- Trends op het gebied van de nanotechnologie. Het veld van de nanotechnologie is uiterst dynamisch: er is een continue stroom van nieuwe nanomaterialen. Overigens kunnen sommige nanomaterialen bijdragen aan een duurzame afvalverwerking, in het bijzonder bij de bereiding van drinkwater.⁴⁶ De analyse van de commissie heeft vooral betrekking op wat bekend staat als de eerste en tweede generatie nanomaterialen. Dit is voor een belangrijk deel ingegeven door het feit dat de summiere gegevens die relevant zijn voor het afvalvraagstuk betrekking hebben op die generaties. In het te formuleren beleid dient naar de mening van de commissie echter verder vooruit te worden gekeken en rekening te worden gehouden met volgende generaties nanomaterialen.
- Trends op het gebied van het afvalbeheer. Ook het afvalbeheer is in beweging. Naast organisatorische veranderingen (privatisering) vinden inhoudelijke veranderingen plaats, bijvoorbeeld om de processen duurzamer te maken. Een doel in dit verband is bijvoorbeeld het terugdringen van het energieverbruik.^{49-51,71} Enerzijds worden hier nieuwe technologieën voor ontwikkeld, zoals de reeds genoemde vergassing van afval. Anderzijds zijn afvalstromen geen vast gegeven; van tijd tot tijd veranderen ze onder invloed van beleidswijzigingen. Door gescheiden inzameling van kunststoffen bijvoorbeeld ontstaat een aparte afvalstroom en blijft minder restafval over, dat bovendien een andere samenstelling heeft. Een toekomstbestendig afvalbeheer voor nanomaterialen heeft dan ook twee belangrijke kenmerken. Het is proactief met betrekking tot technologische ontwikkelingen in de afvalverwerking en verdisconteert de onderlinge samenhang tussen afvalstromen.

4.5 Concrete aanpak

4.5.1 Monitoren

Voor een adequaat afvalbeleid, dat anticipeert op de trends in de nanotechnologie en de afvalverwerking, is het van belang om in kaart te brengen welke stromen afval met nanomaterialen er zijn, en welke in de nabije en de verre toekomst op ons af komen. Scenario-analyse zou hierbij kunnen worden gebruikt om te verkennen welke nanomaterialen in welke hoeveelheden in welke afvalstromen terechtkomen.

Essentieel hiervoor zijn een werkbare, internationaal gehanteerde definitie van nanomaterialen en meetmethoden, waarmee preciezer inzicht verkregen kan worden in de hoeveelheden nanomaterialen die vrijkomen bij de afvalverwerking. In dit verband is het zinvol te stimuleren dat met het verschijnen van nieuwe producten met nanomaterialen tegelijkertijd analysemethoden beschikbaar komen waarmee de concentraties van de nanomaterialen in het milieu kunnen worden vastgesteld.

4.5.2 *Knelpunten*

Recent is de zogeheten Structurele Evaluatie Milieuwetgeving, onderdeel Nanotechnologie (STEM-nano), uitgevoerd, waarin de regering heeft laten nagaan welke mogelijkheden er zijn om beleid te voeren op nanotechnologie en -materialen.⁷⁴ Volgens de STEM-nano bestaan er allerlei potentiële beleidsinstrumenten, waaronder het instellen van een meldingsplicht voor fabricage en toepassing van nanomaterialen, toelatingseisen voor nanomaterialen, gescheiden inzameling en opwerking van afgedankte producten met nanomaterialen, behandeling van afval met nanomaterialen als potentieel gevaarlijk afval en de reeds genoemde zorgplicht.

De STEM-nano constateert dat de wet- en regelgeving van de EU en Nederland knelpunten bevatten die toepassing van deze beleidsinstrumenten op nanomaterialen bemoeilijken. De wet- en regelgeving blijken onvoldoende te zijn gericht op de bijzondere eigenschappen van nanomaterialen. De regering wil nu in EU-verband komen tot versnelling van acties die nodig zijn voor het wegnemen van deze en andere knelpunten in de Europese regelgeving.⁷⁵ In het nagestreefde systeem voor risicobeoordeling van nanomaterialen verdient het afvalbeheer nadrukkelijk een plaats.

De commissie geeft ter overweging producenten aan te moedigen tot slim ontwerpen en vervaardigen, zodat zo veel mogelijk wordt gerecycled en een hoogwaardige nieuwe functie krijgt en zo min mogelijk restafval ontstaat. Daarnaast beveelt ze aan het bedrijfsleven te stimuleren om nog een stap verder te gaan en verworven inzicht in de eigenschappen en het gedrag van specifieke nanomaterialen te gaan benutten voor het ontwikkelen van volgende generaties nanomaterialen. Daarbij gaat het dan om bewuste sturing van ontwikkelingen in de richting van zo min mogelijk nadeel voor de gezondheid.

4.5.3 Onderzoek

De commissie stelt voor onderzoek te stimuleren op twee gebieden:

- onderzoek naar nieuwe afvalverwerkingstechnologieën en de bijdrage die zij kunnen leveren aan het beteugelen van de hoeveelheid nanomaterialen die via afval in het milieu terechtkomt
- ontwikkeling van betrouwbare meetmethoden per soort nanomateriaal, of groep van nanomaterialen, en per medium (lucht en waterige vloeistoffen). Dergelijke methoden zijn nodig om onderzoek te kunnen doen naar de aanwezigheid van nanomaterialen in afval en de mate waarin AVI's en RWZI's in staat zijn te verhinderen dat nanomaterialen vrijkomen in het milieu. Ook zijn meetmethoden een voorwaarde voor het formuleren van eventuele normen (emissie-eisen) voor installaties als AVI's en RWZI's. Meetmethoden voor specifieke (groepen) nanomaterialen zijn bovendien nodig om de blootstelling te kunnen schatten en om in kaart te brengen welke gezondheidsrisico's de blootstelling aan nanomaterialen meebrengt (in het algemeen en via afval in het bijzonder).

4.6 Conclusie

Het terrein van nanotechnologieën en -materialen is volop in beweging, maar de verschillende ontwikkelingen zullen pas geleidelijk scherper worden. Een deel doet een groot beroep op ons voorstellingsvermogen, ook wat betreft de afvalfase. Het afvalbeheer dient hierop afgestemd te worden. Dit betekent dat het beleid proactief is en in staat om het dynamische karakter van de ontwikkelingen te weerspiegelen. Deze zienswijze sluit goed aan bij het reguliere afvalbeleid. Om het afvalbeheer toekomstbestendig te maken, dienen de samenhang tussen de twee pijlers van het afvalbeheer (het voorkómen van nanoafval en het veilig omgaan met het ontstane nanoafval) en de trends inzake afvalverwerking en nanomaterialen er een plaats in te krijgen, evenals maatwerk voor verschillende (groepen) nanomaterialen.

Literatuur

- 1 BEUC The European Consumers' Organisation and ANEC The European consumer voice in standardisation. How much nano do we buy? ANEC/BEUC updated Inventory on products claiming to contain nanomaterials. Brussels: BEUC The European Consumers' Organisation and ANEC The European consumer voice in standardisation; 2010. Internet: <http://www.beuc.org/Content/Default.asp?>
 - 2 Woodrow Wilson International Center for Scholars. Inventory of nanotechnology-based consumer products currently on the market. Washington DC: Woodrow Wilson International Center for Scholars; 2011. Internet: <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>.
 - 3 Dekkers S, Prud'homme De Lodder LCH, de Winter R, Sips AJAM, De Jong WH. Inventory of consumer products containing nanomaterials. Bilthoven: RIVM; 2007: RIVM/SIR Advisory report 11124.
 - 4 Wijnhoven SWP, Dekkers S, Kooi M, Jongeneel WP, De Jong WH. Nanomaterials in consumer products. Update of products on the European market in 2010. Bilthoven: National Institute for Public Health and the Environment; 2010: RIVM Report 340370003/2010.
 - 5 Gezondheidsraad. Betekenis van nanotechnologieën voor de gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad; 2006: publicatie nr 2006/06.
 - 6 Borm PJ, Schins RP, Albrecht C. Inhaled particles and lung cancer, part B: paradigms and risk assessment. *Int J Cancer* 2004; 110(1): 3-14.
 - 7 Ferin J, Oberdörster G, Penney DP. Pulmonary retention of ultrafine and fine particles in rats. *Am J Respir Cell Mol Biol* 1992; 6(5): 535-542.
 - 8 Pope CA, III, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc* 2006; 56(6): 709-742.
-

- 9 WHO Air quality guidelines, global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Internet. <http://www.euro.who.int>.
- 10 Hoek G, Boogaard H, Knol A, de HJ, Slottje P, Ayres JG e.a. Concentration response functions for ultrafine particles and all-cause mortality and hospital admissions: results of a European expert panel elicitation. *Environ Sci Technol* 2010; 44(1): 476-482.
- 11 Knol AB, de Hartog JJ, Boogaard H, Slottje P, van der Sluijs JP, Lebreton E e.a. Expert elicitation on ultrafine particles: likelihood of health effects and causal pathways. *Part Fibre Toxicol* 2009; 6: 19-34.
- 12 Health Council of the Netherlands: Dutch Expert Committee on Occupational Standards (DECOS). p-Aramid fibres. Rijswijk: Health Council of the Netherlands; 1997: publication no. 1997/07WGD.
- 13 Gezondheidsraad. Asbest: Risico's van milieu- en beroepsmatige blootstelling. Den Haag: Gezondheidsraad; 2010: publicatienr. 2010/10.
- 14 Gezondheidsraad: Commissie Beoordeling carcinogeniteit van stoffen. Minerale kunstvezels. Den Haag: Gezondheidsraad; 1995: publicatie nr 1995/18.
- 15 Health Council of the Netherlands: Dutch Expert Committee on Occupational Standards (DECOS). Man Made Mineral Fibers (MMMF). The Hague: Health Council of the Netherlands; 1995: publication no 1995/02WGD.
- 16 Committee for Review of the Federal Strategy to Address Environmental, Health, and Safety Research Needs for Engineered Nanoscale Materials, Committee on Toxicology, National Research Council. Review of Federal Strategy for Nanotechnology-Related Environmental, Health, and Safety Research. Washington D.C.: National Academy of Sciences; 2008. Internet: www.nap.edu.
- 17 French Agency for Environmental and Occupational Health Safety (AFSSET). Nanomaterials. Effects on the Environment and Human Health. Maisons-Alfort Cedex: French Agency for Environmental and Occupational Health Safety (AFSSET); 2006. Internet: www.afsset.fr.
- 18 National Nanotechnology Initiative, National Science and Technology Council, Committee on Technology, Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology. Strategy for nanotechnology-related environmental, health, and safety research. Arlington, Virginia: National Nanotechnology Coordination Office; 2008. Internet: www.nano.gov.
- 19 OECD Environment Directorate. OECD Programme on the safety of manufactured nanomaterials 2009-2012: operational plans of the projects. Series on the safety of manufactured nanomaterials, No. 22. Parijs: OECD; 2010. Internet: www.oecd.org/ehs/.
- 20 Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA). Nanomaterials: Hazards and risks to health and the environment. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA); 2008.
- 21 Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), Directorate-General for Health and Consumers, European Commission. Opinion on the appropriateness of the risk assessment methodology in accordance with the technical guidance document for new and existing substances for assessing the risks of nanomaterials. Brussels: European Commission; 2007. Internet: http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_004c.pdf.
-

- 22 Som C, Berges M, Chaudhry Q, Dusinska M, Fernandes TF, Olsen SI e.a. The importance of life
cycle concepts for the development of safe nanoproducts. *Toxicology* 2010; 269(2-3): 160-169.
- 23 van Zijverden M, Sips AJAM, (red). Nanotechnologie in perspectief. Risico's voor mens en milieu.
Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu; 2008: rapport 601785002/2008.
- 24 Pacurari M, Castranova V, Vallyathan V. Single- and multi-wall carbon nanotubes versus asbestos:
are the carbon nanotubes a new health risk to humans? *J Toxicol Environ Health A* 2010; 73(5): 378-
395.
- 25 Savolainen K, Alenius H, Norppa H, Pylkkänen L, Tuomi T, Kasper G. Risk assessment of
engineered nanomaterials and nanotechnologies: a review. *Toxicology* 2010; 269(2-3): 92-104.
- 26 Kahru A, Dubourgier HC. From ecotoxicology to nanoecotoxicology. *Toxicology* 2010; 269(2-3):
105-119.
- 27 Tweede Kamer. Brief van de staatssecretaris van Economische Zaken, de minister van Onderwijs,
Cultuur en Wetenschap, de staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en
Milieubeheer, de ministers van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, van Binnenlandse Zaken en
Koninkrijksrelaties en van Justitie, de staatssecretaris van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en de
minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der
Staten-Generaal van 16 november 2006: Kabinetsvisie Nanotechnologieën. Van Klein Naar Groots.
Tweede Kamer, vergaderjaar 2006-2007, 29338 nr. 54 (herdruk). Den Haag: Sdu Uitgevers.
- 28 Minister van Economische Zaken. Voortgangsrapportage 2010. Rijksbrede Actieplan
Nanotechnologie. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken; 2010.
- 29 Minister van Economische Zaken. Actieplan Nanotechnologie. Den Haag: Ministerie van
Economische Zaken; 2008.
- 30 Tweede Kamer. Brief van de minister van Economische Zaken aan de Voorzitter van de Tweede
Kamer der Staten-Generaal van 4 juli 2008 over het Actieplan Nanotechnologie. Tweede Kamer,
vergaderjaar 2007-2008, 29338 nr. 75. Den Haag: Sdu Uitgevers.
- 31 Tweede Kamer. Brief van de minister van Economische Zaken aan de Voorzitter van de Tweede
Kamer der Staten-Generaal van 6 april 2010 over de eerste voortgangsrapportage inzake het
Actieplan Nanotechnologie. Tweede Kamer, vergaderjaar 2009-2010, 29338 nr. 93. Den Haag: Sdu
Uitgevers.
- 32 Tweede Kamer. Brief van de minister van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie aan de
Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal van 8 februari 2011 over het eindrapport van de
Commissie Maatschappelijke Dialoog Nanotechnologie 'Verantwoord verder met nanotechnologie'.
Tweede Kamer, vergaderjaar 2010-2011, 29338 nr. 101. Den Haag: Sdu Uitgevers.
- 33 Commissie Maatschappelijke Dialoog Nanotechnologie. Verantwoord verder met nanotechnologie.
Bevindingen maart 2009 - januari 2011. Amsterdam: Commissie Maatschappelijke Dialoog
Nanotechnologie; 2011. Internet: <http://www.nanopodium.nl/CieMDN/>.
- 34 Aitken RJ, Hankin SM, Ross B, Tran CL, Stone V, Fernandes TF e.a. EMERGNANO: A review of
completed and near completed environment, health and safety research on nanomaterials and
-

- nanotechnology. Defra Project CB0409. Edinburgh, UK: Institute of Occupational Medicine; 2009: Report TM/09/01.
- 35 von Gleich A. Vorsorgeprinzip. In: Bröchler S, Simonis G, Sundermann K, editors. Handbuch Technikfolgenabschätzung. Berlin: Editions Sigma; 1999: 287-293.
- 36 Pronk MEJ, Wijnhoven SWP, Bleeker EAJ, Heugens EHW, Peijnenburg WJGM, Luttik R e.a. Nanomaterials under REACH. Nanosilver as a case study. Bilthoven: RIVM; 2009: report 601780003/2009. Internet: www.rivm.nl.
- 37 Borm P, Houba R, Linneker F. Omgaan met nanodeeltjes op de werkvloer. Survey naar goede praktijken in omgaan met nanomaterialen in de Nederlandse industrie en kennisinstellingen. Heerlen: Hogeschool Zuyd; 2008.
- 38 Sociaal-Economische Raad (SER), Commissie Arbeidsomstandigheden. Veilig omgaan met nanodeeltjes op de werkvloer. Den Haag: Sociaal-Economische Raad (SER); 2009: Publicatienummer 1, 20 maart 2009. Internet: www.ser.nl.
- 39 Bystrzejewska-Piotrowska G, Golimowski J, Urban PL. Nanoparticles: their potential toxicity, waste and environmental management. Waste Manag 2009; 29(9): 2587-2595.
- 40 Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), Directorate-General for Health and Consumers, European Commission. Scientific basis for the definition of the term 'nanomaterial'. Brussels: European Commission; 2010. Internet: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_032.pdf.
- 41 Pangule RC, Brooks SJ, Dinu CZ, Bale SS, Salmon SL, Zhu G e.a. Antistaphylococcal nanocomposite films based on enzyme-nanotube conjugates. ACS Nano 2010; 4(7): 3993-4000.
- 42 Voedsel en Waren Autoriteit, Bureau Risicobeoordeling. Nanodeeltjes in consumentenproducten. Den Haag: Voedsel en Waren Autoriteit; 2008. Internet: www.vwa.nl.
- 43 Voedsel en Waren Autoriteit, Regionale dienst Noord. Nanodeeltjes in consumentenproducten. Den Haag: Voedsel en Waren Autoriteit; 2010: factsheet ND09231G. Internet: www.vwa.nl.
- 44 Voedsel en Waren Autoriteit, Bureau Risicobeoordeling. Nanodeeltjes in voedsel. Den Haag: Voedsel en Waren Autoriteit; 2008. Internet: www.vwa.nl.
- 45 Dekkers S, Krystek P, Peters RJ, Lankveld DX, Bokkers BG, van Hoeven-Arentzen PH e.a. Presence and risks of nanosilica in food products. Nanotoxicology 2010; Early Online: 1-13.
- 46 Struijs J, van de Meent D, Peijnenburg WJGM, Heugens E, de Jong W, Hagens W e.a. Nanodeeltjes in water. Bilthoven: RIVM; 2007: rapport 607030001/2007.
- 47 Roco MC. New frontiers for nanotechnology. Presentatie STW-conferentie, Rotterdam, 4 oktober 2007. Stichting voor de Technische Wetenschappen. 2007. Internet: www.stw-inschrijving.nl/DownloadPagina.aspx.
- 48 Roco MC. Nanoscale-based emerging science and engineering. NanoUtah, October 15, 2009. 2009. Internet: <http://www.nanoinstitute.utah.edu/portal/site/nanoinstitute/menuitem.b8a5b35f12d1cba65b2c5b69c1e916b9/?vgnextoid=4e15b2bda6ac4210VgnVCM1000001c9e619bRCRD&vgnnextchannel=22dd4c3c18c01210VgnVCM1000001c9e619bRCRD>.
-

- 49 Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Landelijk afvalbeheerplan 2009-2021. Naar een materiaalketenbeleid. Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer; 2009.
- 50 Besluit van 2 maart 2004, houdende implementatie van richtlijn nr. 2000/76/EG van het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie van 4 december 2000 betreffende de verbranding van afval (PbEG L 332) (Besluit verbranden afvalstoffen). Staatsblad 2004; nr. 97.
- 51 European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. Brussels: European Commission; 2006.
- 52 Buonanno G, Ficco G, Stabile L. Size distribution and number concentration of particles at the stack of a municipal waste incinerator. *Waste Manag* 2009; 29(2): 749-755.
- 53 Maguhn J, Karg E, Kettrup A, Zimmermann R. On-line analysis of the size distribution of fine and ultrafine aerosol particles in flue and stack gas of a municipal waste incineration plant: effects of dynamic process control measures and emission reduction devices. *Environ Sci Technol* 2003; 37(20): 4761-4770.
- 54 Zeuthen JH, Pedersen AJ, Hansen J, Frandsen FJ, Livbjerg H, Riber C e.a. Combustion aerosols from municipal waste incineration. Effect of fuel feedstock and plant operation. *Combust Sci Tech* 2007; 179(10): 2171-2198.
- 55 Handy RG, Jackson MJ, Robinson GM, Lafreniere MD. The measurement of ultrafine particles: a pilot study using a portable particle counting technique to measure generated particles during a micromachining process. *Journal of Materials Engineering and Performance* 2006; 15(2): 172-177.
- 56 Majestic BJ, Erdakos GB, Lewandowski M, Oliver KD, Willis RD, Kleindienst TE e.a. A review of selected engineered nanoparticles in the atmosphere: sources, transformations, and techniques for sampling and analysis. *Int J Occup Environ Health* 2010; 16(4): 488-507.
- 57 Hagedorfer H, Lorenz C, Kaegi R, Sinnet B, Gehrig R, Goetz NV e.a. Size-fractionated characterization and quantification of nanoparticle release rates from a consumer spray product containing engineered nanoparticles. *J Nanopart Res* 2010; 12: 2481-2494.
- 58 Hower JC, Graham UM, Dozier A, Tseng MT, Khatri RA. Association of the sites of heavy metals with nanoscale carbon in a Kentucky electrostatic precipitator fly ash. *Environ Sci Technol* 2008; 42(22): 8471-8477.
- 59 Nowack B, Bucheli TD. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. *Environ Pollut* 2007; 150(1): 5-22.
- 60 Kaegi R, Ulrich A, Sinnet B, Vonbank R, Wichser A, Zuleeg S e.a. Synthetic TiO₂ nanoparticle emission from exterior facades into the aquatic environment. *Environ Pollut* 2008; 156(2): 233-239.
- 61 Kim B, Park CS, Murayama M, Hochella MF. Discovery and characterization of silver sulfide nanoparticles in final sewage sludge products. *Environ Sci Technol* 2010; 44(19): 7509-7514.
- 62 Limbach LK, Bereiter R, Muller E, Krebs R, Galli R, Stark WJ. Removal of oxide nanoparticles in a model wastewater treatment plant: influence of agglomeration and surfactants on clearing efficiency. *Environ Sci Technol* 2008; 42(15): 5828-5833.
-

- 63 Kiser MA, Ryu H, Jang H, Hristovski K, Westerhoff P. Biosorption of nanoparticles to heterotrophic wastewater biomass. *Water Res* 2010; 44(14): 4105-4114.
- 64 Hinderliter PM, Minard KR, Orr G, Chrisler WB, Thrall BD, Pounds JG e.a. ISDD: A computational model of particle sedimentation, diffusion and target cell dosimetry for in vitro toxicity studies. *Part Fibre Toxicol* 2010; 7(1): 36.
- 65 Lison D, Thomassen LCJ, Rabolli V, Gonzalez L, Napierska D, Won Seo J e.a. Nominal and effective dosimetry of silica nanoparticles in cytotoxicity assays. *Toxicol Sci* 2008; 104(1): 155-162.
- 66 Teeguarden JG, Hinderliter PM, Orr G, Thrall BD, Pounds JG. Particokinetics in vitro: dosimetry considerations for in vitro nanoparticle toxicity assessments. *Toxicol Sci* 2007; 95(2): 300-312.
- 67 Brar SK, Verma M, Tyagi RD, Surampalli RY. Engineered nanoparticles in wastewater and wastewater sludge. Evidence and impacts. *Waste Manag* 2010; 30(3): 504-520.
- 68 Hassellöv M, Readman JW, Ranville JF, Tiede K. Nanoparticle analysis and characterization methodologies in environmental risk assessment of engineered nanoparticles. *Ecotoxicology* 2008; 17(5): 344-361.
- 69 Isaacson CW, Kleber M, Field JA. Quantitative analysis of fullerene nanomaterials in environmental systems: a critical review. *Environ Sci Technol* 2009; 43(17): 6463-6474.
- 70 Tiede K, Boxall AB, Tear SP, Lewis J, David H, Hasselöv M. Detection and characterization of engineered nanoparticles in food and the environment. *Food Addit Contam Part A* 2008; 25(7): 795-821.
- 71 Roeleveld P, Roorda J, Schaafsma M. Op weg naar de RWZI 2030. Utrecht: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA); 2010: rapportnummer 2010-11.
- 72 Gezondheidsraad. Voorzorg met rede. Den Haag: Gezondheidsraad; 2008: publicatienr. 2008/18.
- 73 McDonough W, Braungart M. Cradle to cradle. Remaking the way we make things. New York: North Point Press, a division of Farrar, Strauss and Giroux; 2002.
- 74 Voegelzang-Stoute EM, Popma JR, Aalders MVC, Gaarhuis JM. Structurele Evaluatie Milieuwetgeving (STEM). Regulering van onzekere risico's van nanomaterialen. Mogelijkheden en knelpunten in de regelgeving op het gebied van milieu, consumentenbescherming en arbeidsomstandigheden. Centrum voor Milieurecht (Universiteit van Amsterdam), Maastrichts Europees instituut voor Transnationaal Rechtswetenschappelijk Onderzoek ((METRO), Universiteit Maastricht), Instituut voor Milieuvraagstukken (Vrije Universiteit Amsterdam) en ARCADIS, Arnhem; 2010: STEM publicatie 2010/5.
- 75 Tweede Kamer. Brief van de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal van 25 mei 2011 over de inzet op EU-beleid risico's nanomaterialen. Tweede Kamer, vergaderjaar 2010-2011, 29338 nr. 105. Den Haag: Sdu Uitgevers.
-

A De commissie

Bijlage

De commissie

De Commissie Signalering Gezondheid en milieu heeft als taak om belangrijke onderwerpen op het terrein van gezondheid en milieu onder de aandacht te brengen van regering en parlement, en kansen en bedreigingen in kaart te brengen. Het kan om nieuwe issues gaan, maar even goed om oude thema's die opnieuw aandacht verdienen.

De commissie was voor het opstellen van het onderhavige advies als volgt samengesteld:

- prof. dr. W.F. Passchier, *voorzitter*
emeritus hoogleraar risico-analyse, Maastricht University
- prof. dr. M. van den Berg
hoogleraar toxicologie, Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht
- prof. dr. ir. J.W. Erisman
bijzonder hoogleraar integrale stikstofproblematiek, Vrije Universiteit, Amsterdam en unitmanager Biomassa, Kolen & Milieuonderzoek, Energie-onderzoek Centrum Nederland, Petten
- drs. P.J. van den Hazel
medisch-milieukundige, Veiligheids- en Gezondheidsregio Gelderland Midden, Arnhem

- prof. dr. ir. E. Lebret
hoogleraar Environmental Health Impact Assessment, Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht
- prof. dr. R. Leemans
hoogleraar milieusysteemanalyse, Wageningen University and Research Centre
- dr. J.P. van der Sluijs
onderzoeker natuurwetenschap en samenleving, Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling en Innovatie, Universiteit Utrecht
- dr. A.J.A.M.Sips, *adviseur*
farmaco- en toxicokineticus, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven
- prof. dr. D.R.M. Timmermans
bijzonder hoogleraar risicocommunicatie en patiëntenbesluitvorming, EMGO Instituut, VU Medisch Centrum, Amsterdam
- dr. ir. P.W. van Vliet, *secretaris*
Gezondheidsraad, Den Haag

In het kader van de totstandkoming van dit advies heeft de commissie enkele deskundigen met specifieke expertise geraadpleegd.

Geraadpleegd zijn:

- prof. dr. P.J.A. Borm
buitengewoon hoogleraar toxicologie, Heinrich Heine Universiteit, Düsseldorf, Duitsland; directeur Magnamedics Diagnostics bv, Geleen
- dr. M.K. Cieplik
milieuchemicus, Energie-onderzoek Centrum Nederland, Petten
- dr. P.C. Rem
universitair hoofddocent grondstoffenverwerking, TU Delft
- prof. dr. A. Schmidt-Ott
hoogleraar deeltjestechnologie, TU Delft
- dr. ir. B.G. Temmink
milieutechnoloog, Wageningen University and Research Centre

De Gezondheidsraad en belangen

Leden van Gezondheidsraadcommissies worden benoemd op persoonlijke titel, wegens hun bijzondere expertise inzake de te behandelen adviesvraag. Zij kunnen echter, dikwijls juist vanwege die expertise, ook belangen hebben. Dat

behoeft op zich geen bezwaar te zijn voor het lidmaatschap van een Gezondheidsraadcommissie. Openheid over mogelijke belangenconflicten is echter belangrijk, zowel naar de voorzitter en de overige leden van de commissie, als naar de voorzitter van de Gezondheidsraad. Bij de uitnodiging om tot de commissie toe te treden wordt daarom aan commissieleden gevraagd door middel van het invullen van een formulier inzicht te geven in de functies die zij bekleeden, en andere materiële en niet-materiële belangen die relevant kunnen zijn voor het werk van de commissie. Het is aan de voorzitter van de raad te oordelen of gemelde belangen reden zijn iemand niet te benoemen. Soms zal een adviseurschap het dan mogelijk maken van de expertise van de betrokken deskundige gebruik te maken. Tijdens de installatievergadering vindt een bespreking plaats van de verklaringen die zijn verstrekt, opdat alle commissieleden van elkaars eventuele belangen op de hoogte zijn.

