

Omgaan met nanodeeltjes op de werkvloer

Survey naar goede praktijken in omgaan met nanomaterialen in de Nederlandse industrie en kennisinstellingen.

Paul Borm¹, Remko Houba² en Fenneke Linker³

¹ Hogeschool Zuyd, Centre of Expertise in Life Sciences (CEL), Heerlen

² Arbo-unie, Expertise Centrum Toxische Stoffen (ECTS), Roermond

³ DSM Arbodienst, Geleen

INHOUD

VOORWOORD

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

SUMMARY AND CONCLUSIONS (English summary)

1. NANOMATERIALEN AND NANODEELTJES

- 1.1 ACHTERGROND
- 1.2 GEZONDHEIDSEFFECTEN VAN NANODEELTJES
- 1.3 OMGEVINGSEFFECTEN VAN NANODEELTJES
- 1.4 OMGAAN MET NANODEELTJES- STAND VAN ZAKEN
- 1.5 GOEDE PRAKTIJKEN IN OMGAAN MET NANOMATERIALEN
- 1.6 DOELSTELLINGEN ONDERZOEK

2. VRAGENLIJST

- 2.1 ACHTERGROND
- 2.2 OPZET EN AFNAME INTERVIEWS
- 2.3 VASTSTELLEN ONDERZOEKSPOPULATIE
- 2.4 RESPONS EN NON-RESPONS
- 2.5 UITVOERING VAN ONDERZOEK EN INTERVIEWS

3. RESULTATEN

- 3.1 BESCHRIJVING ONDERZOEKSGROEP
- 3.2 BESCHRIJVING GEBRUIKTE NANOMATERIALEN EN POPULATIE
- 3.3 GEBRUIKTE BEHEERSINGSMATREGELEN
- 3.4 GOEDE PRAKTIJKEN EN EFFECTIVITEIT
- 3.5 UITWISSELING INFORMATIE IN DE KETEN
- 3.6 OMGAAN MET NANODEELTJES-HOUDEND AFVAL

4. DISCUSSIE

- 4.1 GOEDE PRAKTIJKEN IN NEDERLAND
- 4.2 VOORSTEL VOOR BEST-PRACTICES GUIDELINE
- 4.3 OVERZICHT ANDERE SURVEYS IN EUROPA
- 4.4 REPRESENTATIVITEIT GROEP EN UITKOMSTEN
- 4.5 CONCLUSIES

5. REFERENTIES

6. BIJLAGEN

VRAGENLIJST
DEELNEMERS AAN HET ONDERZOEK
GOEDE PRAKTIJKEN WORKSHOP 24.01.2008

VOORWOORD

Er is een brede internationale belangstelling voor de mogelijkheden van nanotechnologie, en dan met name voor de toepassingen van nanomaterialen en nanodeeltjes. Hoewel nanodeeltjes in sommige industriële toepassingen al decennia worden gebruikt, is door de grootschalige en brede introductie van een aantal nieuwe materialen, de nodige onzekerheid ontstaan over de mogelijke risico's van deze nanodeeltjes. Deze discussie werd eerst gevoed door gegevens bekend uit de discussie rondom fijnstof, maar inmiddels zijn er ook over zogenaamde synthetische nanodeeltjes, zoals carbon nanotubes (CNT), de nodige potentiële risico's bekend.

Dit project, uitgevoerd in opdracht van de Ministeries van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en VROM, heeft tot doel inzicht te geven in de plaatsen waar en de omstandigheden waarin er in Nederland met nanodeeltjes gewerkt wordt, de maatregelen die ---- op dit moment genomen (kunnen) worden en het gebruik van goede praktijken. Daarnaast diende het onderzoek ook om een eerste inzicht te verkrijgen in de uitwisseling van gezondheids- en veiligheidsinformatie m.b.t. nanodeeltjes, en in de omgang met " nanodeeltjeshoudend afval".

Het project werd uitgevoerd in een samenwerkingsverband tussen de Hogeschool Zuyd (Centre of Expertise in Life Sciences, CEL), Arbo Unie en DSM Arbodienst. Het project werd vanuit de ministeries begeleid door Paul van der Gaag, Ilse van den Aker en Tom van Teunenbroek. Bovenstaande personen maakten ook deel uit van de klankbordgroep die opzet en uitvoering van het project heeft getoetst, en verder nog bestond uit:

- Jan Boonstra Arbeidsinspectie
- Wim van Veelen FNV Vakcentrale
- Marie-José Sengers FNV/ Bureau Beroepsziekten
- Bob Koning VNO/NCW
- Rob van Welie Nederlandse Cosmetica Vereniging
- Gert van der Laan Nederlands Centrum voor Beroepsziekten

De onderzoekers hebben dankbaar gebruik gemaakt van hun suggesties. De verantwoordelijkheid van het rapport berust echter geheel bij de onderzoekers. De survey werd uitgevoerd tussen augustus 2007 en april 2008 en werd gefinancierd door de Ministeries van Sociale Zaken & Werkgelegenheid en VROM. De bevindingen zullen op later tijdstip in een internationale workshop nog uitvoerig worden besproken.

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Nanomaterialen worden internationaal op brede schaal ontwikkeld en toegepast, en dit is ook merkbaar in de wetenschap en het bedrijfsleven in Nederland. In rap tempo worden nieuwe materialen en toepassingen ontwikkeld op zeer verschillende gebieden in diverse sectoren. De huidige bezorgdheid rondom nanotechnologieën spitst zich voornamelijk toe op het gebruik en de gevaren van synthetische, moeilijk afbreekbare nanodeeltjes met een afmeting kleiner dan 100 nm (0.1 μm). De vraagstelling van dit onderzoek concentreerde zich op deze groep nanodeeltjes en in het bijzonder op de goede praktijken in de omgang met deze deeltjes, de aandacht voor nanodeeltjes in de risico-inventarisatie en de communicatie in de keten over eventuele gevaren van nanodeeltjes in producten en/of grondstoffen. Het onderzoek diende gebaseerd te zijn op een representatieve steekproef uit het Nederlandse bedrijfsleven en kennisinstellingen, waarbij ook de aard van gebruikte nanodeeltjes, het volume van gebruik en het aantal potentieel blootgestelde werknemers in kaart moest worden gebracht.

Er is momenteel geen eenduidig overzicht van Nederlandse bedrijven en instellingen die in de Nanotechnologie actief zijn. Voor dit onderzoek zijn 122 instellingen benaderd die eventueel met nanodeeltjes werken. Daarvan vielen 62 bedrijven af; voor een groot deel omdat ze wel werkzaam waren binnen de nanotechnologie, maar in het geheel geen synthetische nanodeeltjes gebruikten en dus niet tot de doelgroep van het onderzoek behoorden ($n=49$), en deels omdat men geen nanodeeltjes binnen de Nederlandse vestiging gebruikte ($n=8$). Zestig bedrijven behoorden wel tot de doelgroep, waarvan uiteindelijk 37 (26 bedrijven en 11 kennisinstellingen) medewerking verleend hebben aan bedrijfsbezoek plus interview. Het aantal MKB binnen de bedrijven bedroeg 11 op 26 (42 %), waarbij zowel producenten ($n=5$) als gebruikers ($n=6$) zaten. Op basis van de interviews met deze bedrijven komen we tot de volgende bevindingen en conclusies, die zijn gerangschikt onder de onderzoeksvragen uit de oorspronkelijke onderzoeksopzet.

Vraag 1: In welke situaties (branches/toepassingen) wordt gewerkt met nanodeeltjes en hoe groot is de groep blootgestelden?

De meeste toepassingen werden gevonden in oppervlakten en coatings met onderzoek als een goede tweede. Veruit het belangrijkste toepassingsgebied blijkt materialen te zijn (15/37). De nanodeeltjes die in de grote hoeveelheden worden gebruikt zijn carbon black, amorf silica en aluminiumoxides. Het gebruik van deze nanodeeltjes bedraagt meerdere tonnen per jaar en valt te verklaren uit hun aanwezigheid op de markt gedurende enkele decennia. Alle andere nanodeeltjes (o.a. nanotubes, nanozilver, ijzeroxides) worden in kleinere hoeveelheden gebruikt dan wel geproduceerd. Binnen de totaal betrokken populatie werknemers in de survey (41.000) verrichten naar schatting rond de 400 werknemers regelmatig werkzaamheden met nanodeeltjes in verschillende vormen.

Ongeveer de helft hiervan werkt bij bedrijven waar carbon black, amorf silica en metaaloxiden worden verwerkt. In de kennisinstellingen werken 137 mensen met diverse nanoprodukten meestal in de ontwikkelingsfase. De hoeveelheden experimentele, synthetische nanodeeltjes liggen tussen 1 en 100 gram per jaar.

Vraag 2: Welke maatregelen nemen bedrijven en instellingen nu op de verschillende niveau's van arbeidshygiënische strategie om de blootstelling te beheersen?

Er is bij de bedrijven een bewustzijn ten aanzien van eventuele risico's van nanodeeltjes en bijna alle onderzochte bedrijven (92 %) hebben een risicoanalyse uitgevoerd of zijn hier nog mee bezig. Deze risicoanalyse is echter in lang niet alle gevallen formeel vastgelegd in de Risico-inventarisatie & Evaluatie (RI&E). De meeste bedrijven en instellingen (n=25; 68 %) voeren de risicoanalyse uit op het niveau van de concrete toepassing of project waarbij blootstelling aan nanodeeltjes relevant zou kunnen zijn. Bij 5 van deze bedrijven (20 %) is de oordeelsvorming nog niet afgerond, en de rest geeft aan dat er geen restrisico's zijn bij de huidige bedrijfsvoering en pakket van maatregelen. Bij slechts 3 bedrijven is dit oordeel echter onderbouwd door middel van blootstellingsmetingen. Bijna een kwart van de bedrijven geeft aan dat men risico's afdekt via gestelde beleidsprincipes. De benaderingen die door deze bedrijven worden gehanteerd zijn echter behoorlijk verschillend en lijken gebaseerd op a) Keuzes vooraf over de aard van de nanomaterialen die worden ingezet, b) Nanomaterialen in algemene zin beschouwen als toxische stof, en c) Keuzes over de verschijningsvorm van de nanomaterialen. De keuze om nanomaterialen niet in poedervorm te gebruiken, maar uitsluitend in een matrix of om de nanomaterialen zo snel mogelijk in dispersie te brengen, blijkt een van de belangrijkste peilers in het beleid van bedrijven te zijn.

Vraag 3: Indien van toepassing, wat zijn de overwegingen voor bedrijven om geen (verdere) blootstellingbeperkende maatregelen te nemen?

- Slechts 3 bedrijven gaven aan dat zij geen maatregelen nemen om blootstelling te beperken. In 2 gevallen was dit erg voor de hand liggend omdat nog geen productie plaatsvond. In een ander bedrijf is men niet zeker of nanodeeltjes wel in het halffabrikaat voorkwamen. Andere bedrijven gaven aan geen verdere maatregelen dan huidige te nemen, omdat men redelijk overtuigd is van de effectiviteit ervan.

Vraag 4: Wat zijn de goede praktijken?

- De aard van de toegepaste arbeidshygiënische beheersmaatregelen hangt samen met het voorkomen en de vorm van de nanodeeltjes. Bedrijven die nanodeeltjes geheel of gedeeltelijk in poedervorm gebruiken doen dit in de helft van de gevallen in een zoveel mogelijk gesloten systeem. Daarnaast was lokale ventilatie de belangrijkste maatregel.
- Over de gehele linie is ventilatie de meest toegepaste beheersmaatregel, waarbij zowel zuurkasten (n=19) als andere vormen van lokale ventilatie (n=9) worden toegepast, al dan niet met HEPA filters. Deze filters zijn effectief gebleken in het filteren van nanodeeltjes uit omgevingslucht.
- Organisatorische maatregelen, zoals het beperken van het aantal blootgestelde werknemers of het beperken van de blootstellingsduur, wordt slechts in 5 bedrijven actief toegepast als beheersmaatregel.
- Bedrijven die uitsluitend nanomaterialen in een matrix gebruiken, nemen over de gehele linie minder arbeidshygiënische maatregelen dan bedrijven die met nanopoeiders werken. In de eerste categorie bedrijven werd slechts in 25% van de gevallen in gesloten systemen gewerkt en werd in 56% van de gevallen ventilatie gebruikt.

- Er zijn geen grote verschillen zichtbaar in maatregelen tussen bedrijven en kennisinstellingen. Kennisinstellingen doen iets meer aan voorlichting en instructie aan betrokken werknemers. Over de hele linie worden echter dezelfde type maatregelen ingezet.
- Recent is een aantal documenten verschenen in de internationale literatuur met richtlijnen voor het veilig werken met nanodeeltjes op de werkvloer. De mate van diepgang en concreetheid varieert sterk per document. In het rapport zijn de standpunten van de verschillende instanties naast elkaar gezet. De bedrijven die de risico's proberen af te dekken door het stellen van een aantal beleidsprincipes m.b.t. de introductie en omgang met nanomaterialen (meestal in combinatie met een set van concrete beheersmaatregelen) maken bewust of onbewust gebruik van een aantal criteria voor goede praktijken die in de literatuur worden genoemd. Hoewel de benaderingen die door de bedrijven in dit onderzoek worden gebruikt verschillend zijn, is op dit moment niet aan te geven welke de beste benadering is om de risico's in voldoende mate af te dekken, mede omdat de validatie van de diverse benaderingen nog ontbreekt. Naarmate er meer onzekerheden zijn over de potentiële risico's van bepaalde synthetische nanodeeltjes lijkt het raadzaam om meer elementen uit de beschikbare richtlijnen ten uitvoer te brengen.

Vraag 5: Wat is er te zeggen over de effectiviteit van huidige goede praktijken?

- Over de effectiviteit van de gebruikte maatregelen is weinig bekend aangezien er nauwelijks systematisch wordt gemeten. Slechts 8% van de bedrijven heeft op één of andere manier blootstellingsmetingen uitgevoerd naar nanodeeltjes. De geringe beschikbaarheid van goedkope hands-on apparatuur en/of geavanceerde meetapparatuur voor het meten van deeltjesaantallen en -grootte spelen hierin een rol.
- In slechts een klein aantal gevallen gaat de risicoanalyse gepaard met het uitvoeren van metingen naar nanodeeltjes. De risicobeoordeling is dus in veel gevallen niet onderbouwd met metingen (zie ook voorgaande statement).
- Er is duidelijke behoefte aan informatie over goede praktijken over het werken met nanodeeltjes in andere landen en/of sectoren, alsook praktische informatie over effectiviteit van ventilatie, filters en persoonlijke beschermingsmiddelen. Verspreiding van beschikbare informatie (zie pag. 15) is een aandachtspunt.

Vraag 6: Hoe kan de kennis over goede praktijken het best worden verspreid?

- Het lijkt raadzaam om het complete overzicht van de richtlijnen over goede praktijken (samenvatting in dit rapport, paragraaf 1.4) ter beschikking te stellen aan de Nederlandse bedrijven.
- De meeste gebruikers van nanodeeltjes of producten met nanodeeltjes zouden voordeel hebben bij een expertisecentrum dat hen kan helpen met vragen over goede praktijken en de effectiviteit hiervan. Het expertisecentrum zou moeten functioneren als een onafhankelijke vraagbaak

en support bij vragen over het monitoren van blootstelling aan nanodeeltjes in lucht, water en werkplekken. Het lijkt raadzaam een dergelijk expertisecentrum virtueel op te zetten, waarbij gebruik gemaakt wordt van expertise en apparatuur van de nationale centra op gebied van nanotechnologie.

- Een database van bedrijven die nanodeeltjes maken en/of gebruiken is noodzakelijk om de disseminatie naar de juiste partijen uit te voeren. Daarnaast kan men hiermee een beter beeld krijgen en houden van waar met nanodeeltjes wordt gewerkt, of producten worden gemaakt waar nanodeeltjes uit vrij kunnen komen. De in dit onderzoek ontwikkelde database kan als startversie dienen, aangevuld met gegevens uit branches, onderzoeksprogramma's en octrooi-informatie.
- Het communiceren van goede praktijken naar een best-practices richtlijn voor het werken en omgaan met nanodeeltjes in diverse vormen is een onmisbaar instrument voor bedrijfsleven en Arbo-diensten om het omgaan met nanodeeltjes duidelijker zichtbaar te maken en te verbeteren. De in dit rapport opgenomen richtlijn (paragraaf 4.2) is hiervoor een eerste aanzet.

Vraag 7: Welke gezondheids- en veiligheidsinformatie over nanodeeltjes wordt uitgewisseld in de keten?

- De informatie-uitwisseling in de keten is gebrekkig. Bij de helft van de bedrijven vindt geen enkele informatieverstrekking plaats in de keten over de aanwezigheid en risico's van nanodeeltjes, noch vanuit leveranciers, noch naar de klanten. Daartegenover staan weer een beperkt aantal leveranciers die een zeer actieve houding hebben naar afnemers van hun product rondom eventuele risico's van nanodeeltjes.
- De veiligheidsinformatiebladen zeggen in de meeste gevallen niets over de aanwezigheid dan wel de risico's van nanodeeltjes in het product en nanodeeltjes zijn daarmee onvoldoende herkenbaar en identificeerbaar. Hier moeten duidelijke richtlijnen komen, in afwachting van internationale richtlijnen, om de informatievoorziening in de keten te verbeteren.

Vraag 8: Hoe gaan bedrijven die nanodeeltjes produceren en/of toepassen in (half) fabrieken om met hun nanodeeltjeshoudend afval?

- Bij vrijwel alle bedrijven (92%) wordt nanodeeltjeshoudend afval afgevoerd binnen de reguliere bedrijfsafvalstromen en wordt vooralsnog niet als aparte afvalstroom beschouwd.
- De aard van het nanomateriaal en/of de aard van de matrix waarin de nanomaterialen zitten, bepalen met welke afvalstroom het materiaal meegaat.

Conclusies.

37 bedrijven hebben actief meegedaan aan het bedrijfsbezoek en interview en dit is, ook gezien de intensieve benadering, een hoge respons gelet op op het aandeel van de bedrijven dat zich wel relevant acht (62 %, n=60) of 30 % van de totale benaderde populatie. Dit is hoog in vergelijking met onderzoeken in het buitenland (response rate: 7-21 %). Wel blijkt duidelijk uit vergelijking met onafhankelijke

gegevens dat een aantal grotere spelers in Nederland niet heeft meegedaan. Hoewel het onmogelijk is aan te geven welke invloed dit zou hebben op de kwalitatieve en kwantitatieve uitkomsten van de survey, sluiten de resultaten van het onderzoek goed aan bij internationale bevindingen. De meest gebruikte nanomaterialen, zijn die van het eerste uur (carbon black, metaaloxides, en amorf silica), toen deze materialen nog niet als "nano" werden gekenmerkt. Opvallend is ook het uniforme beleidsprincipe bij bedrijven om nanodeeltjes zoveel mogelijk in een matrix te gebruiken. Ook ten aanzien van de gebruikte beheersmaatregelen, en effectiviteit ervan zijn de resultaten in overeenstemming met eerdere onderzoeken in Europa en de rest van de wereld. Hoewel niet veel bedrijven in Nederland nanodeeltjes produceren, doen kennisinstellingen dat wel. Binnen beide sectoren is men zich duidelijk bewust van de discussies rondom eventuele risico's van nanodeeltjes. De bestaande regelgeving en richtlijnen voor toxische stoffen worden niet altijd goed nageleefd. Dit is zichtbaar in de heterogeniteit van de communicatie binnen de keten, maar ook in onvolledigheid van de veiligheidsinformatiebladen, hoewel deze in deze studie niet als zodanig zijn bestudeerd.

Belangrijk voor de toekomst en specifiek beleid ten aanzien van nanomaterialen, is de vraag hoe de productie zal groeien en in welke processen dit zal gaan plaatsvinden. Ook is het belangrijk te weten hoe groot het aantal blootgestelde werknemers zal worden en in welke ketens de blootstelling via producten met nanodeeltjes zal worden verspreid. Vanuit die optiek lijkt het zinvol om sectoren waar met coatings op basis van nanodeeltjes wordt gewerkt nauwgezet te volgen. Drie bedrijven geven aan dat wanneer de onderzoeksfase is afgesloten, en tot productie wordt overgegaan, de hoeveelheden en aantal blootgestelde werknemers snel zullen stijgen. Dit geldt voor toepassingen in textiel, de automobielsector en keramische toepassingen. Deze nieuwe toepassingen zullen snel enkele duizenden kilo's nanomaterialen betreffen binnen 5 jaar. Daarom is het aan te bevelen een survey zoals deze in dezelfde of gewijzigde aanpak in Nederland de komende tien jaar minimaal tweemaal te herhalen, gezien de snelle groei van toepassingen van nanomaterialen en de penetratie van de markt. Zowel de aard als de hoeveelheid van de materialen dient daarbij nauwkeurig te worden gevolgd en in kaart te worden gebracht.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

Applications of nanomaterials and more specifically, engineered nanoparticles, are expected to enable huge economic and technological possibilities. Nanotechnologies are being increasingly used in science and industrial development in widely different applications. Some of these special properties of engineered nanoparticles, in particular their reactivity, have raised concerns regarding human health. Due to these concerns scientists, regulators, and industry have initiated efforts to gain knowledge about worker exposure and to define safe uses of the different engineered nanoparticles. The definition of engineered nanoparticles, i.e. poorly biodegradable particles having a diameter between 1 and 100 nm and intentionally engineered, produced or applied because of specific properties, which may be based on shape, size, surface properties, or chemistry. For the purpose of our investigations these particles may be encapsulated in a matrix. The main objective of this investigation was to obtain an overview of the current best-practices, later redefined into good uses of engineered nanoparticles, and the associated occupational hygiene measures, instructions, communication in the economic chain and the disposal of nanoparticle-containing waste. The study was initiated and funded by the Ministry of Social Affairs and Employment and the Ministry of Housing and Spatial Planning and Environment.

Similar to other countries, it appeared very difficult to map institutions and companies that are active in Nanotechnologies. In this survey we approached 122 potential candidates, of which 62 were found to be not relevant to our studies since either they did not use engineered nanoparticles (n=42), or since they were not using these materials in a Dutch subsidiary (n= 8). Sixty candidates did meet the inclusion criteria, and 37 of that population participated in our interview based survey. Among these there were 26 companies and 11 academic or research organizations. The number of SME's was 11 out of 26 (42 %), containing both producers (n=5) and users (n=6). All companies were visited by the researchers, at which occasion an interview was completed and the facilities were visually inspected. This led to the following aggregated set of data on conclusions, ranked by original research questions.

Question 1: In which applications and industrial sectors are nanoparticles being used and how large is the group of potentially exposed workers?

The most frequent use of engineered nanoparticles were found in surface and coating technology (including inks and paints), and research applications are a good runner-up. By far the most important application is in materials and material development (15/37). No responses were received that within the field of biotechnology. The nanoparticles that are used in the largest quantities (more than 10 tons/year) are carbon black, amorphous silica and alumina oxides. The use of other engineered nanoparticles (carbon nanotubes, nanosilver, iron oxides) was only in small quantities. Within the total worker population that is employed by all participants (n= 41.000), only 400 workers have a regular contact with nanoparticles. About half of these workers handle carbon black, amorphous silica and metal oxides or combinations thereof. In the academic and research sector a total of 137 was observed to handle many different nanoparticles in experimental stages. The amounts of these latter classes of nanoparticles do not exceed 1-100 grams/year.

Question 2: Which occupational hygiene measures are used by the participants in this survey to control exposure to nanoparticles?

There is a clear awareness of the potential risks of nanomaterials among the participants in this survey. Almost all (92 %) of participants performed or are in the process of performing a hazard and risk assessment analysis. However, in most cases this assessment is not included in the formal process to comply with Dutch law. Most companies and institutions (n=25, 68 %) have done this assessment on application level or responsible company unit. Five of these (25 %) indicate that they have not yet completed their judgment and the rest (75 %) has come to the conclusion that this procedure and measures fully covers the potential risks of exposure. Only 3 companies have done additional exposure measurements. Almost 25 % of all participants indicate that have a company policy to deal with potential exposure to nanoparticles. However, the content and background of the chosen policies differ widely, and seem to be based on 1) pre-emptive choice on specific nanoparticles, 2) the general exclusion or handling of nanomaterials as a toxic substance, 3) choices on the physical form of the nanoparticles. The decision not to use nanoparticles as powders, but only in a matrix, or the approach to bring nanopowders as quickly as possible in dispersion appear to be most dominant good practice in general occupational hygiene policies.

Question 3: If applicable, what are the major considerations to not further take measures to reduce potential exposure?

Only 3 companies indicated that they are not currently taking measures to control exposure. Two of these had no production or use yet, and the other company was not sure whether nanoparticles were present in the intermediate product. Other participants indicated that current practices were sufficient and effective, although one had little to no data to support this.

Question 4: What are good use and good practices?

- The type of occupational hygiene measures is related to the extent of use and the physical form (embedded in matrix, dispersion). Participants that were using nanopowders try to do this in a closed system. Apart from that local ventilation was the type of measure encountered most frequently.
- As a general principle ventilation seems to be the most frequently applied measure, using fume hoods (n=19) and other forms of local ventilation (n=9), sometimes with HEPA filters as a backup. Recent studies have shown that these filters are very efficient to remove nanoparticles from the air.
- Logistic measures within the organization, such as reduction of exposure duration or limiting the number of employees that can have contact with ENP is used in 5 companies as a control measure.
- Participants that use nanoparticles in a matrix apply less control measures than those working with nanopowders. Those participants using nanoparticles in a matrix do this in a closed system in 25 % of cases, and ventilation was the most common (56 %) practice.

- No differences were observed in control measures between academia and research and private companies. Academia is a bit more active in training and education, but the line of measures is qualitatively similar.

Question 5: what is the effect of current good practices?

- Very little is known about the effect of control measures, since no systematic exposure monitoring is done. In only 8 % of cases some kind of exposure monitoring has been performed, and this is usually a single time measurement.
- The hazard and risk assessment is usually not supported by exposure measurements.
- There is a clear need for more information and guidelines on good practices in handling nanomaterials and nanoparticles. This need relates more specifically to the effectiveness of filters, gloves, and ventilation and inhalation protection.

Question 6: How to disseminate current know-how on best-practices?

- Recently a number of documents and guidelines have been published relating safe handling of nanoparticles at the workplace. The various documents differ in extent of detail, and have been reviewed briefly in this study. The participants in this survey use a number of the guidelines mentioned in these documents. Based on the observed good use and handling and the international guidelines, we have constructed a decision tree that can be used for reflection on current work practices as well as to improve current occupational hygiene measures.
- Most users of nanomaterials indicate that they would benefit from independent support on the use of occupational hygiene practices and environmental monitoring of nanoparticle exposure. A virtual centre of expertise could be an approach to merge the competence and power of available institutions. Such a centre could also disseminate most recent know-how on best-practices.
- Dissemination needs a target, and therefore a database needs to be generated of companies and institutions that work with nanoparticles or make products that may release nanoparticles during their lifecycle. Such an initial database can be created from the database generated during this survey, and data from research programs and industrial branches.
- Communication of best-practices guideline is an absolute prerequisite visualizing and improving current good practices to handle nanoparticles, and allow intervention by companies and professional services. The guideline in this report (par 4.2) can be used as a first version.

Question 7: Which health- and safety information on engineered nanoparticles is exchanged in the chain between producers and users?

- The exchange of information in the chain is poor. Almost 50 % of the participants spend no effort at all in information on presence and/or hazards of engineered nanoparticles. This is true in both directions, i.e. between suppliers and users, and with users downstream.
- The safety-information sheets (MSDS) usually do not give information on the presence of nanoparticles and the potential hazards of nanoparticles in their

product. Therefore potential risks are very hard to recognize for downstream users of products.

Question 8: What is current common practice regarding the disposal of ENP containing waste?

- Almost all participants (92 %) use regular waste-disposal systems to deliver nanoparticles. Although in single cases nanomaterials are kept separate from other materials, the eventual way of collection and fate are the same as for other waste products.
- The chemical nature of the nanoparticle or the matrix in which it is contained are the major determinants for the waste container that is used.

Conclusions

In summary, 37 companies and research institutions have actively participated in the survey which contained an interview and a site-visit. Compared to other surveys the response is high when denominated to the relevant companies (n= 62 %, n=60) or to the total number of companies approached (n=122, 30 %). The response rate in other international studies varied between 7 and 21 %. Independent checkpoints such as patent analysis, tax details from stimulated technology areas show that a number of larger players in the Netherlands (Philips, ASML) did not participate. It is impossible to predict how this has affected the qualitative and quantitative outcomes of this study, but our data are similar to recent international studies (Gerritzen et al, 2006; Tønning & Poulsen, 2007; Schmid & Riediker, 2008). In particular the nature of mostly used nanoparticles shows that currently used nanomaterials are still of the first generation, including carbon black, metal oxides and amorphous silica. Many other materials are being developed or being explored for application. The expected applications and production will start after the R & D phase is closed and lead to a significant increase in use of newer nanomaterials within the next 3-5 years. These concern new textiles, the automotive sector, ceramics and nanocomposites. Three companies indicated that production will soon follow after successful closure of the R & D phase.

The discussions and media-attention on hazards of nanotechnologies have not been unnoticed in academia and private sector. Most of the participants and also those not-participating are aware of ongoing discussions and needs for further research and regulation. Regarding good and best-practices in handling nanoparticles, there seems to be a general principle to use nanoparticles in a matrix or dispersion. The occupational hygiene measures taken to control exposure are largely similar to those observed in other countries (Gerritzen et al, 2006; Tønning & Poulsen, 2007; Schmid & Riediker, 2008), and do not differ between companies and academia. Little data is available on the effectiveness of these occupational measures, since only incidental measurements have been performed. Existing measures and guidelines are not always adequately followed, which is best illustrated by the poor communication between producers and users in the value chain and the lack of information in safety-data sheets.

This survey has exposed a number of issues that deserve attention in future work. First, it is very hard to identify the target group due to the enabling character of nanotechnologies, and future actions towards this group (dissemination, education, regulation) need a better understanding of this dynamic community. Secondly, current applications of nanomaterials are mainly in surfaces and coatings and use

mostly first generation nanoparticles such as amorphous silica, metal oxides and carbon black. As opposed to the newer materials that are being developed these first-generation nanoparticles are well characterized from a toxicological point of view and treated as substances. Current developments indicate that in the near future many different nanoparticles will be used, without the toxicological database available for the first generation products. Thirdly, most users and producers have little know-how on the methods that can be used to detect presence of nanoparticles in products or workplace environment.

It is recommended to repeat a survey like this at least twice in the next 10 years to keep up with the rapid developments and implementation of engineered nanoparticles in new processes and products.

1. NANOMATERIALEN AND NANODEELTJES

- 1.1 ACHTERGROND
- 1.2 GEZONDHEIDSEFFECTEN VAN NANODEELTJES
- 1.3 OMGEVINGSEFFECTEN VAN NANODEELTJES
- 1.4 OMGAAN MET NANODEELTJES- STAND VAN ZAKEN
- 1.5 GOEDE PRAKTIJKEN IN OMGAAN MET NANOMATERIALEN
- 1.6 DOELSTELLINGEN ONDERZOEK

1.1 ACHTERGROND.

Nanowetenschap en nanotechnologieën vormen een vakgebied dat momenteel in het middelpunt van de belangstelling staat. Het voorvoegsel 'nano-' heeft betrekking op de nanometer (nm), één miljardste meter. Materialen met afmetingen onder de 100 nm kunnen bijzondere mechanische, optische, elektrische en magnetische eigenschappen vertonen. Die eigenschappen kunnen wezenlijk verschillen van de eigenschappen die dezelfde materialen bij grotere afmetingen bezitten. Aangezien we steeds beter in staat zijn om de vorm en grootte van materialen op nanometerschaal te beheersen, ontstaat daarmee de mogelijkheid om de bijzondere eigenschappen van nanomaterialen te exploiteren.

De toepassingsmogelijkheden voor de Life Science sector, maar ook voor nieuwe energie, oppervlaktebehandeling en coatings, scheidings- en filtratietechnieken en vele anderen zijn enorm en liggen aan de basis van de vele strategische analyses en technology assessments van de laatste jaren. De afgelopen jaren hebben diverse Nederlandse instellingen publicaties uitgebracht over nanowetenschap en nanotechnologieën, waarin ook de betekenis voor de volksgezondheid, in positieve of in negatieve zin, min of meer uitvoerig is besproken. Naast het Rathenau Instituut [1] hebben de COGEM [2], de KNAW [3], het RIVM [4,5] en de Gezondheidsraad [6] rapporten uitgebracht over de mogelijkheden en eventuele risico's van nanotechnologieën. Ook tal van buitenlandse en internationale instanties hebben recent hierover gerapporteerd. Dat zijn onder andere het Zwitserse Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung [7], het Europese consortium Nanoforum [8] het Duitse VDI Technologiezentrum [9], de Britse Royal Society samen met de Royal Academy of Engineering [10]. Voorts hebben enkele milieuorganisaties over nanotechnologieën gepubliceerd, zoals recent Friends of the Earth [11] en al in 2003 Greenpeace [12].

De diversiteit van het onderzoek en toepassingen is enorm. Sommige materialen worden al op commerciële schaal toegepast, bijvoorbeeld carbon black als materiaalversterker in rubber en deeltjes van titaniumdioxide als UV-reflectoren in zonnebrandcrèmes. Daarnaast wordt een grote verscheidenheid aan nanomaterialen

ontwikkeld, zoals films van één of enkele atomen dik, nanotubes van koolstof of anorganische verbindingen, anorganische nanoraden, organische nanovezels, biopolymeren, nanodeeltjes van metalen of metaaloxiden, carbon black (roet), fullerenen (bolvormige C₆₀-moleculen), dendrimeren (bolvormige, sterk vertakte organische polymeren) en quantum dots (nanokristallen van halfgeleidermateriaal). Ook kan men in grotere materialen nanoporiën maken. Voor elk van deze materialen zijn tal van toepassingen in ontwikkeling op zeer uiteenlopende terreinen.

Nanotechnologie is voor de Nederlandse industrie belangrijk. Ten minste 13 bedrijven uit de top 20 van het R&D-intensieve bedrijfsleven verricht onderzoek op het terrein van nanotechnologie. Ook het aantal bedrijven dat actief is op het gebied van nanotechnologie groeit. Volgens de SenterNovem rapportage 'Zicht op nanotechnologie in Nederland 2002 – 2004' [13] zijn in Nederland in totaal 200 bedrijven actief op het gebied van nanotechnologie. In 2002 waren er dat nog maar 80. Volgens het rapport zijn Philips, ASML en FEI (High Tech Systems sector) de grootste industriële spelers. Deze drie bedrijven worden ook in het NWO-strategiedocument als belangrijkste industriële gebruikers van nanotechnologie genoemd. Daarnaast acteren DSM en AKZO Nobel op de markt van nanomaterialen en coatings. Naast deze bedrijven moet ook de rol van Holst Center genoemd worden. Het aantal starters groeit zeer snel. Alleen al vanuit MESA+ (TU Twente) kwamen al meer dan 30 spin-offs, en sinds 2000 is het aantal nanostarters gemiddeld 11 per jaar, waarbij het accent op nieuwe nanomaterialen ligt.

De belangrijke toepassingsgebieden die in de SenterNovem studie worden genoemd zijn de life sciences/medische sector, elektronische apparatuur, assemblage, transport & lucht- en ruimtevaart, energie, scheidingstechnologie (nanofiltratie), katalysatoren, oppervlaktebehandeling & coatings, en milieu & veiligheid. Deze sectoren zijn ook de belangrijkste toepassingsgebieden van de diverse subsidie-stromen die in Nederland de nanotechnologie ruimhartig bedienen. Zo ging in 2005/2006 ongeveer € 158 miljoen aan onderzoeksgelden naar kennisinstellingen en bedrijven. Daarnaast wordt naar schatting een bedrag van € 391 miljoen aan totale R&D-kosten (publiek en privaat) op het gebied van nanotechnologie per jaar uitgegeven door bedrijven en kennisinstellingen samen.

Tabel 1.1. *Overzicht toepassings- en technologiegebieden van nanotechnologie, zoals ook binnen EZ geregistreerd (Bron: vd Berg et al [36])*

Toepassingsgebieden	Technologiegebieden
Assemblage	Instrumentatie
Elektronische apparatuur	Materialen
Onderzoek/Studies	Fabricage
Algemeen	Apparaten
Health & Food	Biotechnologie
Oppervlaktebehandeling & coatings	Moleculaire fysica
Scheidingstechnieken	Photonica
Energie	Electronica & ICT
Transport (luchtvaart/ruimte)	
Overig	Overig

1.2 GEZONDHEIDSEFFECTEN VAN NANODEELTJES

In de huidige nanotechnologieën spelen de productie en toepassing van nanodeeltjes een belangrijke rol. Deze deeltjes hebben door hun grootte bijzondere eigenschappen, en die wil men in vele toepassingen benutten. Zo worden nanodeeltjes gebruikt als pigmenten, geleiders, UV-beschermers en in vuilafwerende, bactericide coatings.

De discussie over de risico's van nanotechnologieën spitst zich vooral toe op de toxicologische eigenschappen van synthetische, moeilijk afbreekbare nanodeeltjes. Het adviesrapport van de Gezondheidsraad (2006) plaatste deze categorie deeltjes in de klasse "onzeker" in de door de International Risk Governance Council (IRGC) voorgestelde indeling van risicovraagstukken in de categorieën 'eenvoudig', 'complex' (wetenschappelijk ingewikkeld), 'onzeker' (gebrek aan kennis) en 'ambigu' (verschillen in waardeoordelen).

Nanodeeltjes van velerlei aard zijn van nature alomtegenwoordig in het milieu, maar hun hoeveelheid in de lucht is de laatste eeuwen sterk gestegen door de verbranding van fossiele brandstoffen. Sinds geruime tijd is bekend dat ultrafijne stofdeeltjes in de lucht schadelijk kunnen zijn voor de menselijke gezondheid. Dat geldt niet alleen voor de werkplek, maar ook voor blootstelling in de buitenlucht in stedelijke gebieden. Hierbij hebben voornamelijk gevoelige groepen, zoals patiënten met hart- en vaatziekten of longaandoeningen als eerste last, en bij hen is ook het effect het sterkst. Toxicologisch onderzoek heeft veel kennis opgeleverd over de relatie tussen fysische en chemische deeltjeseigenschappen en werkingsmechanismen die aan de gezondheidsschade ten grondslag liggen [14].

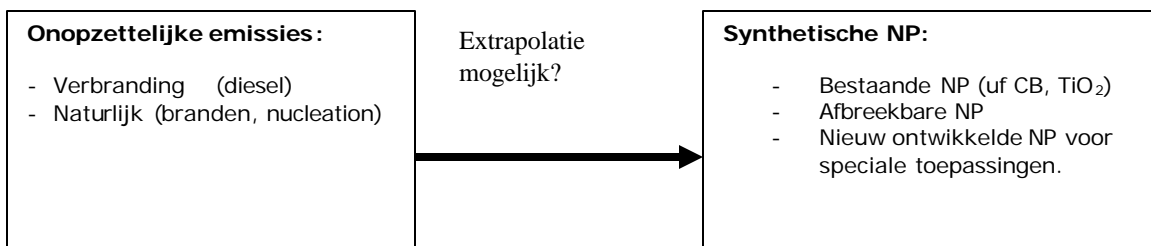


Fig 1.1 Schematische weergave van het huidige probleemveld rondom nanodeeltjes met een doelbewuste productie en gebruik, (rechter blok) en de kennis van de effecten veroorzaakt door vrijkomen van nanodeeltjes (NP) bij onopzettelijke productie.

Met de opkomst van nanotechnologieën richten toxicologen hun aandacht steeds meer op zogenaamde engineered of opzettelijke geproduceerde nanodeeltjes. Daarbij staan zij voor de vraag in hoeverre de beschikbare kennis over 'traditionele' micro- en nanodeeltjes bruikbaar is voor de beoordeling van de risico's van nieuwere soorten synthetische nanodeeltjes, zoals nanotubes, fullerenen, quantum dots en ook nanodeeltjes die ingezet worden voor geneesmiddelen-transport, beeldvorming en diagnose.

Onderzoek met nanodeeltjes die via verbranding ontstaan (Fig 1.1) heeft duidelijk gemaakt dat deze ultrafijne stofdeeltjes gemakkelijk tot diep in de longen kunnen

doordringen. Vooral nanodeeltjes slagen erin door hun geringe grootte om de aanwezige verdedigingsmechanismen te omzeilen of te beschadigen en hopen zich op als ze moeilijk op te lossen of af te breken zijn. In tegenstelling tot grotere deeltjes kunnen nanodeeltjes makkelijker celcompartimenten (kern, mitochondriën) binnendringen en daar de celfunctie verstoren. Ook zijn er vele aanwijzingen dat vrije, synthetische nanodeeltjes een andere verdeling en kinetiek in het lichaam hebben [reviews: 14-16] in vergelijking met klassieke microdeeltjes. Vanuit de longen kunnen ze in de bloedbaan doordringen en zo andere organen bereiken. Bij proefdieren is aangetoond dat nanodeeltjes via het neusslijmvlies en de reukzenuwen de hersenen binnendringen [17]. Dit heeft geleid tot onderzoek bij mensen waarbij functionele veranderingen in de hersenen worden genoemd als gevolg van blootstelling aan ultrafijne deeltjes in de omgeving [18,19]. In welke mate nanodeeltjes ook via de (intacte) huid en het spijsverteringskanaal het lichaam kunnen binnendringen is minder duidelijk.

De eerste toxicologische onderzoeken naar nieuwe synthetische nanodeeltjes duiden erop dat bij synthetische nanodeeltjes dezelfde mechanismen een rol spelen als bij de ultrafijne deeltjes zoals dieselmotoremissies [20]. Toch is nog weinig bekend over de eigenschappen van nanodeeltjes en bijbehorende mechanismen die kunnen leiden tot gezondheidseffecten. Een conceptueel begrip begint zich langzaam te ontwikkelen [20-22], en ook carbon nanotubes blijken te voldoen aan de regels van de vezeltoxicologie. Dat wil zeggen dat er bij de juiste lengte (lengte > 20 µm), en biologische persistentie effecten optreden die op die van asbestvezels lijken (Poland et al, 2008; zie ook Table 1.2 en voetnoot). Toch zal het naar schatting nog geruime tijd duren, voordat we in een vroeg stadium de niet schadelijke nanomaterialen kunnen onderscheiden van die met een hoge intrinsieke toxiciteit. Tot die tijd zal een case-by-case risk assessment gebruikt moeten worden bij de uiteindelijke toelating van vrije, moeilijk afbreekbare nanodeeltjes op de markt. Dit zal zo geschieden in de wetenschap dat productie en gebruik exponentieel toenemen in combinatie met een niet op nanomaterialen toegesneden regelgeving. Een andere factor die regelgeving en communicatie uiterst complex maakt, is dat het vaak niet om nieuwe materialen gaat vanuit chemische optiek. Zo zijn carbon nanotubes toegelaten op de markt omdat ze chemisch gezien voor 100 % uit koolstof bestaan.

Tabel 1.2 Enkele gezondheidseffecten na inademing van ultrafijnstof (onopzettelijke emissies) bij mensen in vergelijking met kennis ten aanzien van dit effect voor synthetische nanodeeltjes.

Effect ultrafijn stof	Status voor synthetische Nanodeeltjes (type)
Ontsteking in de luchtwegen & longen	Bevestigd in proefdieren (CNT).
Hartritmestörungen (diesel)	Bevestigd in proefdieren (CNT, CB)
Ontregeling vasoregulatie	Bevestigd in proefdieren (TiO ₂ , CB)
Inflammatie/Verstoring hersenfunctie	Bevestigd in proefdieren (Au, MnO ₂ , C)
Exacerbatie asthma - COPD	Onbekend
Effect op bloedstolling (bloedplaatjes)	Bevestigd in vitro en vivo (CNT)
Effect niet bekend of gevonden	Granuloma vorming in peritoneaal mesothelium (MWCNT > 20 µm) ¹

¹ Poland et al (2008) Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestoslike pathogenicity in a pilot study. Nature Nanotechnology. Published online: 20 May 2008; doi:10.1038/nano.2008.111

CNT, carbon nanotubes; MWCNT, multiwall carbon nanotubes; CB, carbon black; TiO₂, titaandioxide; COPD: chronisch obstructief longlijden

1.3 OMGEVINGSEFFECTEN VAN NANODEELTJES

De ontwikkeling van de nanotechnologie wordt mede gedreven door de kans op schone productie en daarnaast de mogelijkheid om vervuilde milieuc compartimenten schoon te maken of te zorgen voor lagere emissies (bijvoorbeeld door het toevoegen van ceriumoxide aan diesel, waardoor er minder emissie aan ultrafijne deeltjes uit de uitlaat komt). Nieuwe, lichtere materialen hebben een directe impact op energieconsumptie en daarnaast zullen nanotechnologieën bijdragen aan nieuwe methoden om energie op te wekken zoals photovoltaische zonnecellen. Naast de kansen voor het milieu, stijgt door grotere productie en toepassing van nanomaterialen ook de milieubelasting. In het report van de Royal Society [10] is een scenario geschetst waarin de huidige ontwikkeling redelijk past. Waar in 2003 op wereldschaal nog minder dan 3000 kg carbon nanotubes werden gemaakt, zal dat in de komende jaren al bij 3,000,000 kg CNT liggen door de bouw van een paar grote fabrieken zoals door Bayer in Duitsland. Naast de enorme hoeveelheden die in de toekomst worden geproduceerd, worden synthetische nanodeeltjes gekarakteriseerd door een grote mobiliteit, een hoge reactiviteit en kleine deeltjesgrootte. Er is intensief onderzoek nodig naar deze eigenschappen in relatie tot het milieu, om te komen tot een beter algemeen begrip van effecten van nanodeeltjes in ecosystemen.

Ondanks bovenstaande argumenten en gegevens is er nog weinig bekend over de verspreiding van nanodeeltjes in het milieu en de eventuele gevaren die hieraan verbonden zijn. Meer kennis van de ecotoxicologie van nanomaterialen is echter van groot belang gezien het feit dat veel losse nanodeeltjes, als agglomeraat/aggregaat in het afvalwater zullen komen na huishoudelijk en industrieel gebruik [23]. Ten aanzien van de afvalstroom bestaat er een aantal fundamentele vragen en zowel SCENIHR [24] als de Duitse Chemische Industrie [25] hebben een prioriteitenlijst gemaakt voor verder onderzoek. Hieronder vallen onder andere:

- het opzetten van simpele meetmethoden voor nanodeeltjes in complexe media;
- de interactie en verdeling van nanodeeltjes en verschillende omgevingen;
- Afbraak van nanodeeltjes en het effect op micro-organismen en hogere species.

Een aantal metaaloxides en zilver nanoparticles worden momenteel gebruikt als antibacteriële middelen, onder andere in textiel en plastics voor normale consumententoepassingen ²(Woodrow Wilson database, 2008). Het effect van deze nanodeeltjes op zogenaamde niet-target micro-organismen in de biogeochemische cyclus in de omgeving is bijzonder groot. De eerste studies hierover hebben laten zien dat fullerenen in staat zijn diverse pathogene organismen (*Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*) te doden. Daarnaast is van TiO₂-gecoate glasparels al aangetoond dat zij de fotosynthetische activiteit van cyanobacteriën en diatomeeën remmen, wat betekent dat zij kunnen worden ingezet om algengroei te remmen [26]. Van aluminium nanodeeltjes is aangetoond dat zij in staat zijn de wortelgroei van bepaalde planten te remmen hetgeen verklaard kan worden door de hogere biologische beschikbaarheid van aluminium vanuit aluminiumdeeltjes in nanovormen.

² Weblink : <http://www.nanotechproject.org/index.php?id=44&id=44&action=view&p=22>

Deze voorbeelden tonen aan dat naast een gewenste effectiviteit ook onverwachte nadelige effecten op flora en microbiologische constitutie kunnen optreden.

In het kader van dit rapport gaat het te ver om de beschikbare studies naar effecten van nanodeeltjes op (micro)organismen op te sommen. Het vóórkomen van deze effecten in de huidige praktijk en de gevolgen daarvan dienen nader in kaart te worden gebracht, zodat indien en waar noodzakelijk de regelgeving daarop kan worden aangepast.

1.4 OMGAAN MET NANODEELTJES- STAND VAN ZAKEN

Gezien bovenstaande ontwikkelingen en (gebrek aan) informatie over de toxiciteit van nanomaterialen zal het duidelijk zijn dat de preventie van eventuele gezondheidseffecten vooral gezocht moet worden in een veilige omgang met nanomaterialen. Immers het eventuele gezondheidsrisico is functie van zowel de toxiciteit als de blootstelling, en hiermee raken we de kern van het onderzoek dat in dit rapport staat beschreven:

$$(1) \quad \text{RISIKO (RISK)} = \text{Toxiciteit (HAZARD)} \times \text{Blootstelling (EXPOSURE)}$$

Bovenstaande vergelijking beschrijft impliciet de huidige aanpak binnen het risk management voor omgaan met nanomaterialen. Al in 2004, vlak na de eerste publicaties over potentiële gevaren van synthetische nanomaterials [27, 23] werden diverse consortia gevormd van bedrijven en kennisinstututen om te onderzoeken op welke wijze veilig kon worden omgegaan met vrije nanodeeltjes. In onderstaande Tabel 1.3 staat een aantal van deze consortia met hun primaire doelstellingen weergegeven. Opvallend is dat binnen de genoemde consortia, Nederlandse kennisinstellingen en bedrijven slechts een kleine rol spelen.

Tabel 1.3 *Overzicht van enkele consortia die zich bezighouden met goede praktijken in omgaan met nanomaterialen*

Naam	Type samenwerking	Doelstelling
NanoSafe ^{1,2}	Project KP5, KP6	Veilige productie en blootstelling
NOSH	Industrie partners	
NANOSH	Project KP6	Onderzoek naar effecten en goede praktijken
VCI-Dechema	Platform	Stimuleren duurzame nanomaterialen
NanoCare	Publiek-privaat	Onderzoek naar effecten
ICON	Platform van belanghebbenden (bv IBM, Swiss RE)	Communicatie van kansen en risico's naar alle belanghebbenden
HSE	Vrijwillig programma	Communicatie en inventarisatie

Genoemde namen zijn acronyemen voor lopende onderzoeksprogramma's of afkortingen voor bestaande organisaties. NOSH: Nanoparticle Occupational Safety & Health Consortium; ICON: International Council of Nanotechnology; HSE: Health & Safety Executive (UK); VCI: Verein der (deutschen) Chemische Industrie.

Op dit moment komen vanuit deze consortia de eerste rapporten en richtlijnen voor het veilig omgaan met nanomaterialen, als ook suggesties voor verder onderzoek en ontwikkeling. Het jongste rapport van **NanoSafe** (januari 2008) gaat in op de effectiviteit van filters, handschoenen en beschermende kleding ten aanzien van bescherming tegen nanodeeltjes. Een aantal industriële partners in dit consortium (o.a. Procter & Gamble) is ook onderdeel van **NOSH** (Nanoparticle Occupational Safety & Health Consortium), een consortium van 14 industriële partners dat in 2004 is gestart met o.a. de doelstelling een simpel maar effectief meetinstrument te ontwikkelen om blootstelling aan nanodeeltjes te kunnen meten. Ook andere resultaten zijn inmiddels beschikbaar en tijdens de uitvoering van dit onderzoek zijn de eerste resultaten uit NOSH al tijdens een workshop op 24 januari 2008 gepresenteerd door dr Keith Swain (Dupont). Het platform (Arbeitskreis) Responsible Production and Use of Nanomaterials, dat door **VCI/Dechema** is opgericht en wordt onderhouden, bestaat sinds 2003 en herbergt een brede groep stakeholders. Dit platform coördineert en communiceert niet alleen de belangrijkste ontwikkelingen en vragen binnen de Duitse Industrie maar ook richting Europese Unie in Brussel. Bovenstaande projecten en platforms doen veel aan het communiceren en stimuleren van onderzoek dat nodig is om veilig met nanodeeltjes om te gaan.

Nationale en **Europese overheden** zijn ook rond 2003 begonnen met het bestuderen van de effectiviteit van bestaande regelgeving en normstelling. Binnen de Europese Unie hebben vooral de departementen DG-SANCO en DG-Research gezorgd voor aandacht voor en versnelling van het debat over duurzame nanotechnologieën. Binnen REACH is een aparte werkgroep bezig om te verkennen, hoe het thema nanomaterialen het beste binnen deze nieuwe registratie- en informatieplicht kan worden opgenomen. Diverse expert groepen binnen de EU, zoals SCENIHR hebben in een tweetal rapporten [24,28] aangegeven welke aanpassingen nodig zijn in het huidige toelatingsbeleid voor chemische stoffen om nanomaterialen zorgvuldig te behandelen. Tot op heden vallen de meeste activiteiten echter binnen het segment hazard assessments (zie vergelijking 1), en zijn nog weinig tot geen richtlijnen voor omgaan met nanomaterialen gepubliceerd. Dit is wel het geval in de VS en het Verenigd Koninkrijk waar NIOSH [29] en HSE/BSI [30,31] richtlijnen voor het omgaan met nanomaterialen hebben opgesteld. Hetzelfde heeft ook de Duitse Bundesanstalt fuer Umwelt und Arbeit (BaUa) gedaan in een voorlopig document [32] dat medio 2008 zal worden bekrachtigd.

1.5 Goede praktijken in omgaan met nanomaterialen

In de laatste twee tot drie jaar is een aantal documenten verschenen die goede praktijken beschrijven voor de omgang met nanomaterialen op de werkvloer [29-34]. De mate van diepgang en concreetheid varieert sterk per document. Om enig overzicht te krijgen zijn hieronder voor verschillende onderdelen van een risico management systeem de oordelen gegeven van de verschillende instanties:

Premarket en toxicology testing

NIOSH [29]:

- Evalueer de toxicologische risico's op basis van de beschikbare fysisch-chemische eigenschappen en toxicologische effectstudies;

BSI, [31]:

- Betreft een essentiële stap in de risico-analyse. Indien weinig bekend is over het materiaal dan is het noodzakelijk om deze als (zeer) gevaarlijk te beschouwen;
- Als startpunt voor de hazard assessment kan een indeling in de volgende vier groepen bruikbaar zijn, waarbij het pakket van maatregelen per categorie anders kan zijn:
 - Vezelvormig en onoplosbaar;
 - Stoffen waarvan het 'moedermateriaal' bijzondere toxische eigenschappen heeft (carcinogeen, mutageen, reproductietoxisch of sensibiliserend);
 - Onoplosbaar (en niet in één van de voorgaande categorieën);
 - Oplosbaar (en niet in één van de voorgaande categorieën).

VCI, [32]:

- Verzamel zoveel mogelijk informatie over de eigenschappen van het product.

Schulte et al, 2008 [34]:

- Systematische benadering nodig voor testen nanotoxiciteit van materialen (twee referenties gegeven);
- Onwaarschijnlijk dat uitgebreide premarket testing mogelijk is voor alle nanomaterialen.

Algemene uitgangspunten

HSE, [30]

- Voor inhalatoire blootstelling zullen bestaande beheersmaatregelen en – methoden effectief kunnen worden ingezet om blootstelling aan nanodeeltjes te voorkomen;
- Voor dermale blootstelling zullen bestaande beheersmaatregelen en –methoden mogelijk niet zo effectief zijn als voor bestaande toepassingen.

NIOSH, [29]:

- Gezien de beperkte informatie over gezondheidsrisico's moet de blootstelling voor werknemers worden geminimaliseerd;
- De maatregelen om blootstelling te reduceren zijn vergelijkbaar met de maatregelen die voor andere toxische stoffen moeten worden genomen (inzet van gebruikelijke technieken en middelen);
- Nanodeeltjes kunnen een hoger brand- en explosierisico hebben dan het bulkmateriaal in grotere deeltjesgrootte.

BSI, [31]:

- Vanwege hiaten in kennis kan niet zonder meer worden aangenomen dat nanodeeltjes dezelfde toxische eigenschappen bezitten als het bulkmateriaal van dezelfde samenstelling. Hoe groter het kennishiaat, hoe meer veiligheidsmarge moet worden ingebouwd bij het implementeren van maatregelen;
- Op basis van de indeling van nanomaterialen in 4 categorieën (vezelvormig, CMR/sensibiliserend, onoplosbaar, oplosbaar) worden pragmatische suggesties gedaan om zogenaamde benchmark richtwaarden vast te stellen voor blootstelling;
- Nanodeeltjeshoudend afval moet als potentieel schadelijk worden beschouwd en kan daarom worden afgevoerd als chemisch afval;
- Er moet rekening worden gehouden met brand- en explosierisico's van nanodeeltjes.

VCI, [32]

- Onzekerheden moeten in het maatregelenpakket adequaat worden meegenomen;

- Minimaliseer de blootstelling aan nanodeeltjes zoveel als mogelijk tot meer specifieke grenswaarden beschikbaar komen;
- Neem in de risico-analyse ook brand- en explosierisico's in beschouwing;
- Zorg voor goede documentatie van de risico-analyse en alle genomen maatregelen voor gebruik in toekomstige evaluaties.

Schulte et al, [34]:

- Het pakket van maatregelen voor nanodeeltjes zou strenger moeten zijn dan voor grotere deeltjes, gezien de toxicologische onzekerheden.

Eliminatie en substitutie

NIOSH, [29]:

- Bij nanomaterialen in een matrix is er over het algemeen een lager risico op blootstelling aan nanodeeltjes dan bij nanodeeltjes in de gasfase of als poeder, hoewel bij bepaalde toepassingen blootstelling toch relevant kan zijn.

BSI, [31]:

- Gebruik waar mogelijk nanodeeltjes in een matrix (dispersies, pasta's of in palletvorm).

VCI, [32]:

- Gebruik zoveel als mogelijk dispersies, pasta's of composieten in plaats van nanopoeiders;
- Bij nanodeeltjes in granules, dispersies of composieten is het vrijkomen van individuele nanodeeltjes over het algemeen niet meer te verwachten.

Schulte et al, [34]:

- Coaten van de nanodeeltjes met minder gevaarlijke stof;
- Vormverandering: nanodeeltjes in een matrix.

Gesloten systeem

HSE, [30]:

- Aanbevolen als eerste maatregel; geen nadere specificaties.

NIOSH, [29]:

- Genoemd als belangrijke maatregel; geen nadere specificaties.

BSI, [31]:

- Gebruik waar mogelijk een gesloten systeem.

VCI, [32]:

- Gebruik waar mogelijk een gesloten systeem.

Schulte et al, [34]:

- Aanbevolen, maar geen concrete adviezen;
- Blijf aandacht houden voor speciale activiteiten zoals onderhoud en schoonmaak.

Ventilatie

HSE, [30]

- Nanodeeltjes bezitten geen traagheid en zullen zich daarom grotendeels als een gas gedragen;
- Nanodeeltjes zullen eenvoudig kunnen ontsnappen uit lekkages in ventilatiesystemen;
- Ventilatiesystemen moeten aan dezelfde kwaliteitscriteria voldoen als voor andere toxische stoffen;
- Filters zullen nanodeeltjes naar alle waarschijnlijkheid goed kunnen afvangen.

NIOSH, [29]:

- Een goed ontworpen ventilatiesysteem voorzien van HEPA-filters zullen nanodeeltjes effectief afvangen.

BSI, [31]:

- Alle processen waar nanomaterialen in potentie kunnen vrijkomen moeten worden voorzien van gerichte ventilatie;
- Ventilatiesystemen moeten goed worden onderhouden en regelmatig op effectiviteit worden beoordeeld;
- Geen luchtrecirculatie toepassen zonder zuivering van de retourlucht.

VCI, [32]

- Indien gesloten systeem niet mogelijk is, vang stof en aerosolen zoveel mogelijk dicht bij de bron op en zorg voor regelmatige controle van en onderhoud aan het ventilatiesysteem;
- Voorkom recirculatie van de lucht zonder zuivering van de retourlucht.

Schulte et al, [34]:

- Nanodeeltjes hebben vrijwel geen traagheid en zullen de luchtbewegingen (van de afzuiging) volgen;
- Een goed ontworpen ventilatiesysteem voorzien van HEPA-filters zullen nanodeeltjes effectief afvangen.

Organisatorische maatregelen

NIOSH, [29]:

- Maak werkplekken schoon aan het einde van de werkdag (gebruik HEPA-stofzuiger of natte reiniging);
- Voorkom gebruik van eten en drinken op de werkplek;
- Zorg voor goede omkleed- en wasgelegenheden.

BSI, [32]:

- Werkkleding moet apart worden opgeborgen en worden gewassen door de werkgever;
- De werkplek moet regelmatig worden schoongemaakt;
- Stel procedures op voor wijze van handelen in geval van lekkage of andere calamiteiten;
- Organisatorische maatregelen moeten de technische beheersmaatregelen aanvullen:
 - Beperk het aantal blootgestelde werknemers;
 - Beperk de duur dat werknemers kunnen worden blootgesteld;
 - Beperk de toegang tot ruimtes met potentiële blootstelling tot zo weinig mogelijk werknemers.

VCI, [32]

- Zorg ervoor dat het aantal blootgestelde werknemers zo laag mogelijk blijft;
- Zorg voor schone werkkleding die apart van de privé-kleding moet worden opgeslagen;
- Zorg voor een schone werkomgeving; gebruik bij schoonmaken geen perslucht, maar stofzuigers of natte reiniging.

Schulte et al, [34]

- Geen concrete suggesties. Genoemd worden verminderen van aantal blootgestelden en blootstellingsduur en het invoeren van goede praktijken.

Persoonlijke beschermings maatregelen

HSE, [29]:

- Filters zullen nanodeeltjes naar alle waarschijnlijkheid goed kunnen afvangen;
- Vanwege de hoge mobiliteit van nanodeeltjes kan eenvoudig lekkage optreden, vergelijkbaar zoals verwacht mag worden voor gassen;
- Vanwege onzekerheden over dermale opname van nanodeeltjes kan het noodzakelijk zijn om maatregelen te introduceren om huidblootstelling te voorkomen.

NIOSH, [29]:

- Op dit moment zijn nog geen richtlijnen beschikbaar voor de selectie van kleding en handschoenen;
- Voor ademhalingsbescherming wijst de tot nu toe beschikbare informatie erop dat bestaande filtermedia nanodeeltjes goed afvangen;
- Gebruikelijke ademhalingsbeschermingsmiddelen bieden voldoende bescherming indien goed geselecteerd en getest op lekken.

BSI, [31]:

- Bij het inzetten van ademhalingsbescherming moeten altijd P3-filters worden ingezet;
- Alle ademhalingsbeschermingsmiddelen moeten voor gebruik worden getest op lekkage en er moet worden toegezien op correct gebruik van deze middelen.

NanoSafe, [33]:

- HEPA-filters en maskers met vezelige filters zullen nanodeeltjes efficiënt afvangen;
- Het grootste risico is afkomstig van lekkage als gevolg van niet goed passende ademhalingsbescherming;
- Katoen geweven beschermende kleding biedt minder goede bescherming; luchtdichte kleding (bijv. Tyvek/Tychem) biedt betere bescherming;
- Nanodeeltjes kunnen door in de handel beschikbare handschoenen dringen; het advies is om twee paar handschoenen te dragen.

VCI, [32]:

- Indien andere maatregelen falen gebruik ademhalingsbescherming, bijvoorbeeld voorzien van P2 of P3 filters;
- Het kan noodzakelijk zijn om handschoenen, goggles en beschermende kleding te dragen. Gebruik geschikte materialen (niet nader gespecificeerd);
- Bij inzet van persoonlijke beschermingsmaatregelen: beperk de draagtijd en zorg voor periodieke preventieve medische controles (niet nader gespecificeerd);
- Effectiviteit van filters neemt toe naarmate de deeltjes kleiner worden.

Schulte et al, [34]:

- Gebruikelijke ademhalingsbeschermingsmiddelen bieden voldoende bescherming indien goed geselecteerd en getest op lekken;
- Over de effectiviteit van beschermende kleding is weinig bekend.

Instructie en voorlichting

NIOSH, [29]:

- Zorg voor adequate training van werknemers bij de werkzaamheden met nanomaterialen en instructie van goede praktijken (voorbeelden zie bij organisatorische maatregelen).

BSI, [31]:

- Werknemers moeten worden geïnstrueerd, waarbij een concrete lijst van items is weergegeven die daarbij relevant is.

VCI, [32]2008:

- Instrueer alle betrokken werknemers over de eigenschappen van de nanodeeltjes, de noodzaak voor speciale maatregelen en de potentiële lange termijn effecten.

Blootstellingsmonitoring

NIOSH, [29]:

- Identificeer alle taken en handelingen met een kans op blootstelling aan nanodeeltjes (voorbeelden gegeven);
- Metingen op basis van massa zijn voor nanodeeltjes minder geschikt.
Voorgestelde meetstrategie:

- Spoor bronnen op met een Condensation Particle Counter (CPC); zorg voor een goede bepaling van de achtergrondblootstelling zonder de activiteiten met nanodeeltjes;
- Transmissie Electronen Microscopie (TEM) kan specifieke deeltjes (bijv. op een filter) identificeren en de deeltjesgrootte helpen schatten;
- Zodra bron is geïdentificeerd, zet meetmethoden in om de oppervlakteconcentratie te bepalen en om deeltjesgrootte-verdeling te bepalen;
- Zet persoonlijke metingen in met filters of grids voor chemische analyse of analyse m.b.t. elektronenmicroscopie.

BSI, [31]:

- Identificeer en scoor (op duur, frequentie en aantallen werknemers) alle taken en handelingen met potentiële blootstelling aan nanodeeltjes (concrete suggesties beschikbaar);
- Concrete suggesties ten aanzien van de meetstrategie: bronopsporing met condensation particle counter en zodra bron is geïdentificeerd zet meetmethoden in om de oppervlakteconcentratie en deeltjesgrootte-verdeling te bepalen. Eventueel inzet van persoonlijke monsternamen met filters en grids met nadere chemische analyse of analyse m.b.t. elektronenmicroscopie.

VCI, [32]:

- Verzamel zoveel mogelijk informatie over de processtappen die tot blootstelling kunnen leiden;
- De effectiviteit van de maatregelen moet regelmatig worden geverifieerd met metingen;
- Het is op dit moment nog niet mogelijk om te definiëren hoe nanodeeltjes precies moeten worden gekarakteriseerd t.b.v. risico-analyses. Deeltjesmassa lijkt een minder relevante maat te zijn ten opzichte van deeltjesaantallen en oppervlakteconcentratie;
- Beschikbare meetmethoden: Condensation Particle Counter (CPC), en semi-kwantitatieve analyse, bijv. m.b.v. Nano-Aerosol Sampler (NAS), EDX en TEM/SEM.

Schulte et al, [34]:

- Identificeer alle taken en handelingen met een kans op blootstelling aan nanodeeltjes (voorbeelden gegeven);
- Identificeer alle situaties die buiten de normale procesvoering ook blootstelling aan nanodeeltjes kunnen geven (blootstellings-scena's opstellen);
- Bestaande grenswaarden voor bulkmaterialen zijn niet altijd relevant voor de nanodeeltjes;
- Metingen op basis van massa zijn voor nanodeeltjes minder geschikt.

Biologische monitoring

Schulte et al, [34]:

- Nog onvoldoende informatie beschikbaar om goede parameters voor nanodeeltjes te definiëren.

Gezondheidsmonitoring

NIOSH, [29]:

- Elke werkplek waar blootstelling aan nanodeeltjes relevant is, moet overwogen om een gezondheidsbewakingssysteem in te stellen;
- Er is onvoldoende informatie voor aanbeveling van specifieke medische screening voor werknemers blootgesteld aan nanodeeltjes;
- Overweeg de inzet van reeds gevestigde en geaccepteerde medische surveillancemethodieken om te bepalen of de ingezette maatregelen effectief

zijn en om snel nieuwe of nog niet (h)erkende gezondheidsrisico's te kunnen identificeren;

- Blootstellingsregistraties zijn een waardevol instrument voor de surveillance van nieuwe risico's om potentiële gezondheidseffecten te kunnen helpen detecteren en (retrospectief) analyseren.

BSI, [31]:

- Routinematige gezondheidsmonitoring moet indien nodig worden uitgevoerd. Er is op dit moment geen specifiek meetbaar gezondheidseffect door blootstelling aan nanodeeltjes wat suggereert dat medische surveillance op dit moment niet kan worden uitgevoerd;
- Vanuit het oogpunt van zorgvuldigheid, mede vanwege de onzekerheden omtrent de effecten, zou in ieder geval de beschikbare informatie over gebruikte materialen en blootstellingsduur worden verzameld voor het geval later gezondheidseffecten zouden worden waargenomen.

Schulte et al, [34]

- Nog moeilijk om de gezondheidseindpunten te definiëren t.b.v. gezondheidsmonitoring;
- Eén strategie wordt als potentiële optie genoemd: markers voor longinflammatie;
- Bijhouden van een blootstellingsregister van alle blootgestelde werknemers voor retrospectieve doeleinden zodra relevant gezondheidseindpunt bekend is.

1.6 DOELSTELLINGEN VAN HET ONDERZOEK.

Gelet op het bovenstaande, dient het onderzoek inzicht te geven in 1) de plaatsen en omstandigheden waarin er in Nederland met nanodeeltjes gewerkt wordt, 2) de maatregelen die daarbij op dit moment genomen (kunnen) worden, en 3) de verspreiding van deze zogenaamde goede praktijken³. Daarnaast dient het onderzoek ook een eerste inzicht te geven in de uitwisseling van gezondheids- en veiligheidsinformatie over nanodeeltjes, en in de omgang met "nanodeeltjeshoudend afval". Meer specifiek betekent dit dat dit onderzoek zich zal richten op de volgende deelvragen:

- 1) In welke situaties (branches/toepassingen) in Nederland wordt er gewerkt met synthetische, moeilijk afbreekbare nanodeeltjes en hoe groot is de groep potentieel blootgestelden?
- 2) Welke maatregelen nemen bedrijven en instellingen nu op de verschillende niveau's van de arbeidshygiëne om blootstelling te beheersen? Welke maatregelen neemt men om de toxiciteit te beheersen? In hoeverre brengt de RI&E de aandacht voor nano-risico's tot uiting?
- 3) Indien van toepassing, wat zijn de overwegingen voor bedrijven om geen (verdere) blootstellingbeperkende maatregelen te nemen?
- 4) Wat zijn de goede praktijken?
- 5) Wat is er te zeggen over de effectiviteit van huidige goede praktijken?
- 6) Hoe kan de kennis over goede praktijken het best worden verspreid?
- 7) Welke gezondheids- en veiligheidsinformatie over synthetische nanodeeltjes en/of producten die synthetische nanodeeltjes bevatten wordt er uitgewisseld in de keten?
- 8) Hoe gaan bedrijven die nanodeeltjes produceren en/of toepassen in (half-) fabrieken om met hun nanodeeltjeshoudend afval?

De resultaten van dit onderzoek zijn van belang voor zowel SZW/ARBO, VROM als AI. Tevens kunnen zij gebruikt worden in een adviestraject van de SER over het omgaan met risico's van nanotechnologieën. Daarnaast kan Nederland met deze survey aansluiten bij internationale verkenningen die in een aantal landen zijn uitgevoerd, en kan dit als een benchmark voor de Nederlandse situatie gelden.

³ Het begrip goede praktijken wordt gebruikt in de zin van goede werkwijzen zoals gedefinieerd door de SER bij het onderscheid tussen veilige en goede werkwijzen. Goede praktijken zijn conform stand der techniek en zonder validatie.

2. METHODEN VAN ONDERZOEK

- 2.1 INLEIDING
- 2.2 OPZET EN AFNAME INTERVIEWS
- 2.3 VASTSTELLEN ONDERZOEKSPOPULATIE
- 2.4 RESPONS EN NON-RESPONS
- 2.5 UITVOERING VAN ONDERZOEK EN INTERVIEWS

2.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk zal de methodiek zoals gebruikt in het onderzoek worden besproken. Het betreft de wijze waarop bedrijven zijn opgespoord en benaderd om deel te nemen aan het onderzoek, de wijze waarop en de onderbouwing van de interviews die bij bedrijven zijn gehouden en een nadere omschrijving van de bedrijven die niet aan het onderzoek hebben deelgenomen (non-respons).

2.2 OPZET EN AFNAME INTERVIEWS

De vragenlijst zoals gebruikt in het onderzoek is opgenomen in bijlage 6.1 van dit rapport. De inhoud van de vragenlijst is samengesteld op basis van:

1. Recente publicaties van het NIOSH [29] en de HSE [30] met richtlijnen voor het omgaan met nanomaterialen;
2. Een vragenlijst zoals gebruikt in een vergelijkbaar onderzoek van het Institut Universitaire Romand de Santé au Travail in Lausanne, Zwitserland: Fragebogen zur Telefonischen abfrage, verwendung von Nanopartikeln [33];
3. Een vragenlijst zoals gebruikt in een onderzoek in Duitsland van het Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA): Fragebogen zu Aspekten des Arbeitsschutzes bei der Herstellung und in Umgang mit synthetischen Nano-Materialien [32];
4. De onderzoeksvragen zoals gesteld door de ministeries van Sociale Zaken en VROM bij de start van dit onderzoek (zie paragraaf 1.5).

Een conceptvragenlijst is ter commentaar en toetsing voorgelegd aan de begeleidingscommissie en de klankbordgroep van het onderzoek (voor samenstelling van de begeleidingscommissie en klankbordgroep zie het voorwoord).

2.3 VASTSTELLEN ONDERZOEKSPOPULATIE

Gedurende het onderzoek is een database gemaakt van alle bedrijven waarvan bekend was of waarvan vermoed werd dat er met synthetische nanomaterialen werd gewerkt. Voor het samenstellen van deze database zijn de volgende bronnen gebruikt:

1. Een database van NanoHouse⁴ met contacten en bedrijven actief binnen de nano-technologie;

⁴ NanoHouse = Onafhankelijke Stichting met als doelstelling het bekend maken van Nanotechnologie binnen het bedrijfsleven en het onderwijs. Meer info: www.nanohouse.eu

2. Het persoonlijke netwerk van bedrijven van de uitvoerders van het onderzoek;
3. Alle bedrijfsartsen en arbeidshygiënisten binnen de Arbo Unie zijn benaderd met de vraag of zij bedrijven kenden die bezig waren met de introductie of toepassing van nanomaterialen;
4. De leden van de VNCI zijn via mail aangeschreven met de vraag of zij nanomaterialen toepassen binnen hun bedrijfsvoering;
5. Een 35-tal leden van MinacNed (een organisatie met als doel micro- en nanotechnologie in Nederland een impuls te geven) zijn via het bestuur van deze organisatie aangeschreven met een positief advies om deel te nemen aan het onderzoek;
6. Het Ministerie van Economische Zaken (Dhr. F. Couzy, directie innovatie) is benaderd voor een lijst van bedrijven ten behoeve van dit onderzoek. [Dit leverde een kort lijstje op van zes bedrijven.];
7. Beschikbaar materiaal uit octrooien en patenten is gescreend om bedrijven op te sporen die actief waren op het gebied van nanotechnologie en nanomaterialen;
8. Tijdens de interviews zijn de bedrijven gevraagd of ze andere bedrijven kenden in Nederland die bezig waren met de introductie of toepassing van nanomaterialen;
9. Enkele tips over bedrijven via de begeleidingscommissie en klankbordgroep van het onderzoek;
10. Tenslotte is in een laatste fase nog een beperkte Internet-search uitgevoerd om te kijken of nog aanvullende bedrijven konden worden opgespoord. De bedrijfsnamen die dit opleverde waren echter al via andere kanalen bekend.

De bronnen leverden in totaal een lijst op van 122 bedrijven die op grond van de eerste screening vermoedelijk tot de doelgroep van het onderzoek behoorden, waarbij er grote overlap bestond tussen de bovengenoemde informatiestromen.

Alle 122 bedrijven zijn door ons telefonisch benaderd waarin uitleg over doelstelling en werkwijze van het onderzoek werd gegeven en om medewerking aan het onderzoek werd verzocht. Via e-mail is achtergrondinformatie verstrekt aan de bedrijven (startnotitie met doelstelling van het onderzoek en de interview-items en verdere werkwijze in het onderzoek). Ook is alle bedrijven aangeboden om confidentiële informatie af te dekken met een non-disclosure agreement (NDA), die bij diverse bedrijven ook daadwerkelijk is afgesloten.

2.4 RESPONS EN NON-RESPONS

In totaal zijn 122 bedrijven opgespoord en telefonisch benaderd die vermoedelijk behoorden tot de doelgroep van het onderzoek en binnen hun bedrijfsvoering zouden kunnen werken met synthetische nanomaterialen. De benadering van bedrijven bleek een zeer tijdrovende bezigheid te zijn en vaak waren meerdere e-mails en meerdere telefonische benaderingen (vaak met een doorlooptijd van enkele weken) noodzakelijk ofwel om helder te krijgen of medewerking aan dit onderzoek zou worden verleend (na intern beraad binnen de bedrijven) ofwel om toegang te krijgen tot de juiste personen binnen deze bedrijven.

In figuur 2.1 is een stroomschema opgenomen waarin schematisch de resultaten van de bedrijfsbenadering is weergegeven. Van alle 122 bedrijven vielen 62 bedrijven (51%) af omdat die niet behoorden tot de doelgroep van het onderzoek. Een groot deel van de bedrijven (N=49) bleek wel werkzaam binnen de nanotechnologie, maar

binnen deze bedrijven was volgens deze bedrijven geen gebruik van (synthetische) nanomaterialen. Bij 8 bedrijven was gebruik van nanomaterialen wel relevant binnen de bedrijfsvoering, maar niet van toepassing binnen de Nederlandse landsgrenzen. Bij de overige bedrijven werd geen gebruik gemaakt van synthetische nanodeeltjes, maar konden in het proces in theorie wel kleine hoeveelheden nanodeeltjes ontstaan.

Van de 122 bedrijven bleken 60 bedrijven (49% van de benaderde bedrijven) daadwerkelijk te behoren tot de doelgroep van het onderzoek en op een of andere manier te werken met synthetische nanodeeltjes binnen de eigen bedrijfsvoering. Hiervan hebben uiteindelijk 37 bedrijven (62%) medewerking verleend aan het onderzoek.

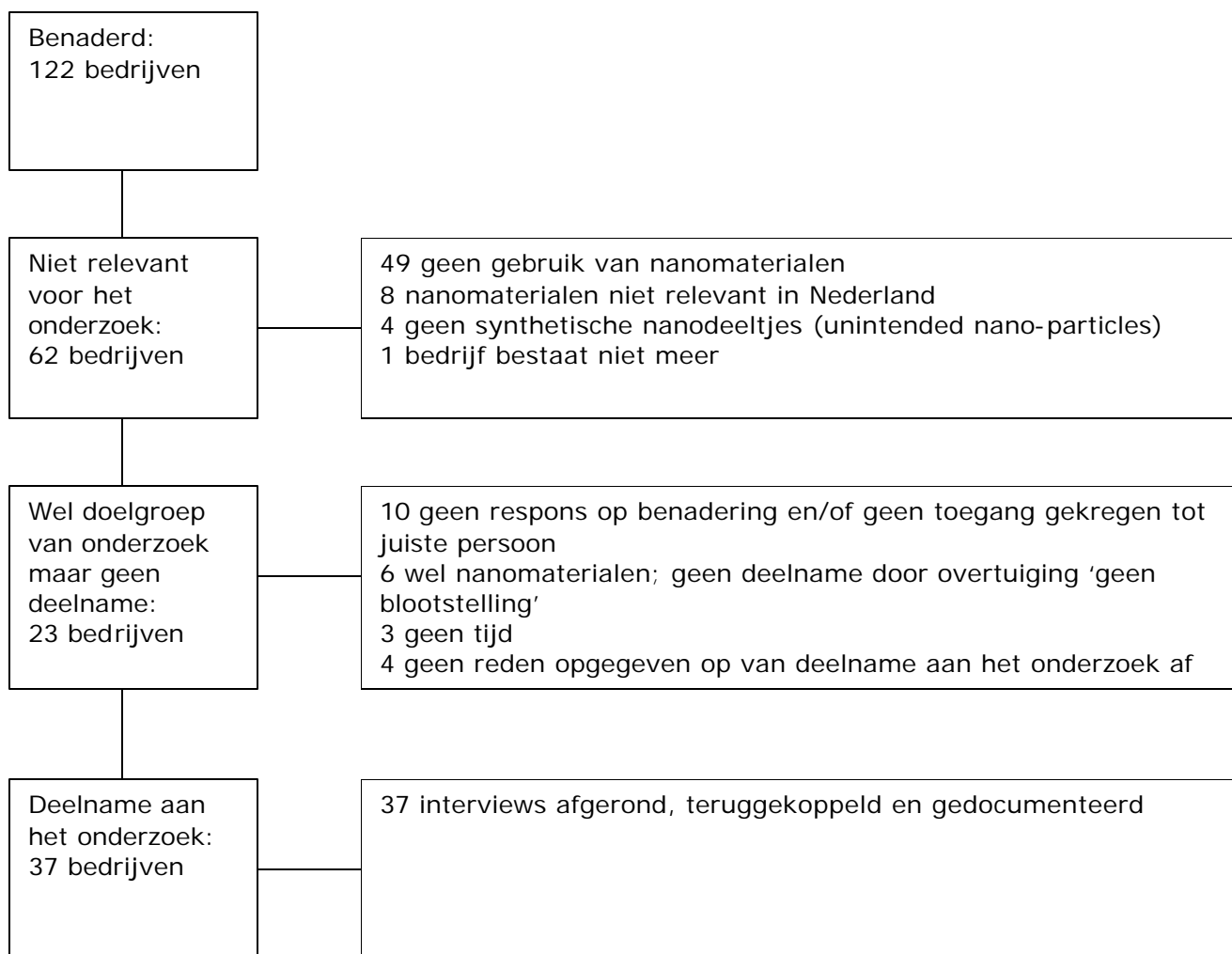
In totaal heeft 23 van de 60 gedetecteerde bedrijven (38%) niet aan het onderzoek deelgenomen. Tien van deze bedrijven heeft niet gereageerd op onze (herhaaldelijke) oproepen of het bleek niet mogelijk te zijn om toegang te krijgen tot de juiste persoon binnen het bedrijf. Zes bedrijven zagen af van deelname aan het onderzoek, omdat zij de overtuiging hadden dat er in hun bedrijfsvoering en bij hun toepassing geen kans bestond op blootstelling aan nanodeeltjes en om die reden niet wilden deelnemen aan het onderzoek of daarin tijd wilden investeren. Drie gaven aan wel met nanomaterialen te werken, maar geen tijd te hebben voor deelname aan het onderzoek. Eén bedrijf gaf aan geen interesse te hebben om aan het onderzoek deel te nemen en 3 bedrijven haakten af zonder daarbij een reden te geven om af te zien van deelname.

2.5 UITVOERING VAN ONDERZOEK EN INTERVIEWS

Bij alle bedrijven is een interview afgenomen waarbij alle items zoals omschreven in bijlage 6.1 van deze rapportage zijn doorlopen en besproken. Bij 26 van de 37 bedrijven (70%) zijn face-to-face interviews gehouden en heeft aansluitend aan het interview meestal ook een rondleiding plaatsgevonden op de afdeling(en) waar de werkzaamheden met nanomaterialen plaatsvonden. Bij de overige 11 bedrijven hebben uitsluitend telefonische interviews plaatsgevonden.

Bij alle bedrijven is aangeboden om een non-disclosure agreement (NDA) af te sluiten om confidentiële informatie indien nodig af te dekken. Bij zes bedrijven is er daadwerkelijk een NDA afgesloten. Bij de overige bedrijven werden de gedane (mondelijke) toezeggingen over vertrouwelijke omgang met de gegevens afdoende bevonden.

Van alle bedrijfsinterviews is een verslag gemaakt dat ter commentaar en toetsing aan de geïnterviewde bedrijven is voorgelegd. Inhoudelijk en/of tekstueel commentaar is verwerkt en de gegevens in de uiteindelijke bedrijfsverslagen zijn gebruikt en verwerkt in een Excel werkblad voor verdere analyse en rapportage. De elektronische bedrijfsverslagen zijn beveiligd met een password en ook binnen de eigen organisaties alleen toegankelijk voor de uitvoerders van het onderzoek.



Figuur 2.1 *Stroomschema van benaderde bedrijven en omschrijving van non-respons*

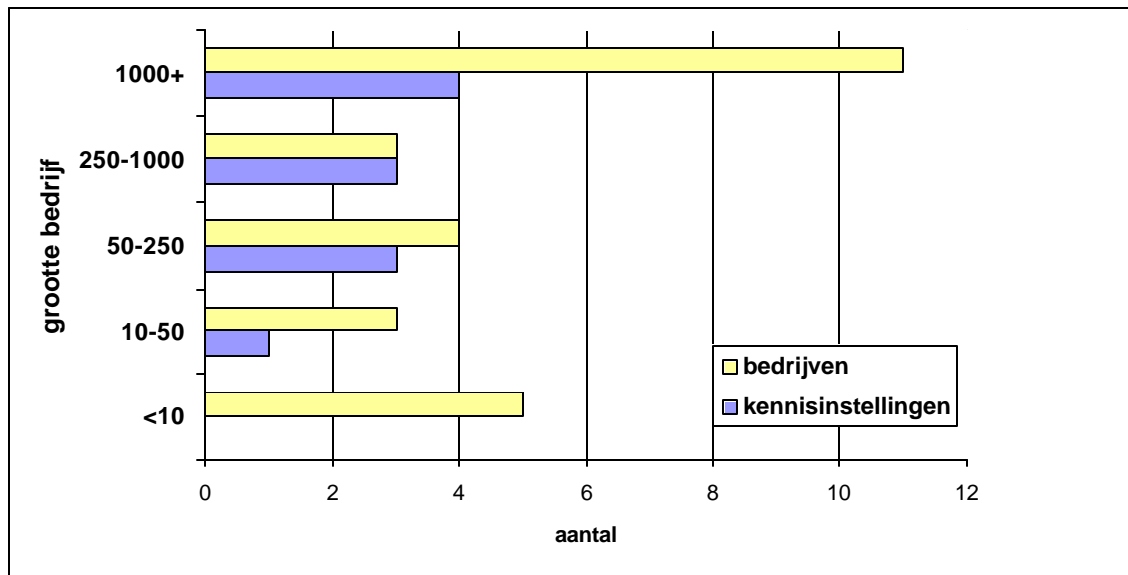
3. RESULTATEN

- 3.1 BESCHRIJVING ONDERZOEKSGROEP
- 3.2 BESCHRIJVING GEBRUIKTE NANOMATERIALEN EN POPULATIE
- 3.3 GEBRUIKTE BEHEERSINGSMATREGELEN
- 3.4 GOEDE PRAKTIJKEN EN EFFECTIVITEIT
- 3.5 UITWISSELING INFORMATIE IN DE KETEN
- 3.6 OMGAAN MET NANODEELTJES-HOUDEND AFVAL

De resultaten in dit hoofdstuk zijn gebaseerd op de inhoud van de mondeling afgenomen enquêtes tijdens bedrijfsbezoek, daarnaast zijn enkele interviews per telefoon afgenomen, soms via een deskundige tussenpersoon. Per bedrijf is een uitvoerige rapportage samengesteld, en deze is ook steeds met het bedrijf teruggekoppeld. Een van de afspraken met de bedrijven is, dat gegevens niet terug te voeren mogen zijn naar individuele bedrijven. Daarom is gekozen voor een overzicht waarbij de gegevens geaggregeerd staan weergegeven.

3.1 Beschrijving van de onderzoeksgroep.

Een namenlijst van de bedrijven en kennisinstellingen die hebben deelgenomen aan het onderzoek staat vermeld in bijlage 6.2. Een totaal van 26 bedrijven en 11 kennisinstellingen namen deel aan het onderzoek. Het totale aantal werknemers bij deze deelnemers samen is rond de 43.000 maar zijn verdeeld over een aantal grote bedrijven en kennisinstellingen, en een aantal kleinere MKB-bedrijven (n= 11).



Figuur 3.1 De verdeling van de 37 deelnemers naar grootte en achtergrond (bedrijf, n=26 of kennisinstellingen, n=11).

Binnen de groep MKB-ers vinden we met name kleine start-ups die nanomaterialen maken (n= 5) en een aantal die nanomaterialen toepassen (n= 6).

De toepassingen en activiteiten waarin alle deelnemers zich bewegen variëren van klassieke toepassingen zoals in verven, inkten, toners en coatings tot (nieuwe) cosmetica, textiel, katalyse en micro-elektronica. In Figuur 3.2 staan voor zeven toepassingen (zie ook hoofdstuk 1) de verdeling van bedrijven en kennisinstellingen weergegeven.

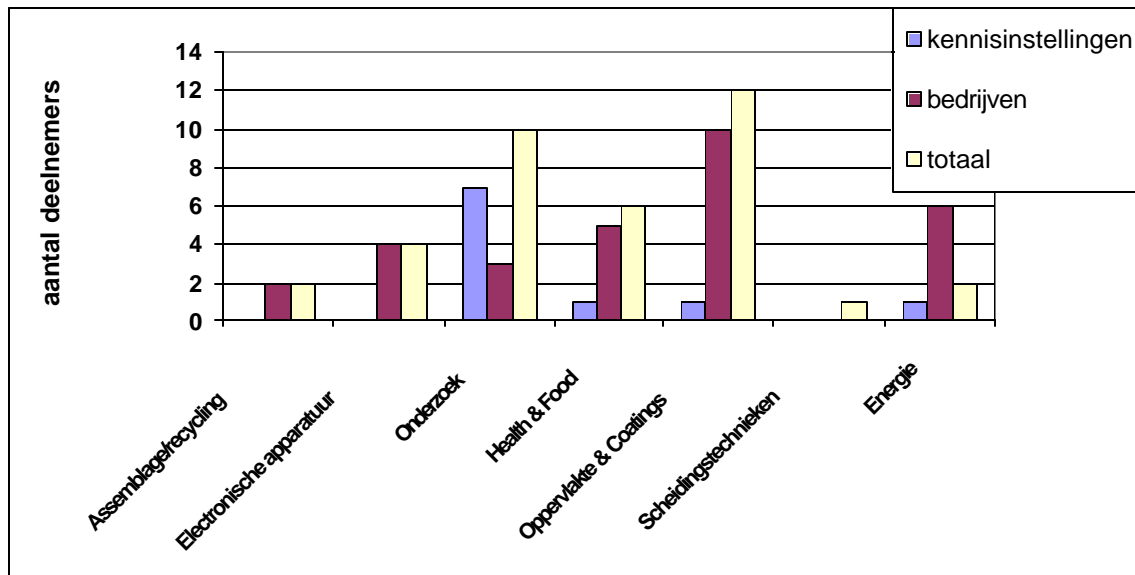


Fig.3.2 *Overzicht van deelnemers (verdeeld in bedrijven en kennisinstellingen) over de toepassingsgebieden van nanotechnologie zoals ook onderscheiden in de indeling van de overheidssubsidies voor speur- en ontwikkelingswerk (WBSO).*

Opvallend in deze verdeling is dat het grootste aantal toepassingen van met name bedrijven ligt binnen het segment oppervlaktebehandeling en coatings, waarbij het substraat varieert van textiel, metaal, kunststoffen tot en met glas. Zowel kleine als grote bedrijven houden zich met dit thema bezig. Deze verdeling komt ook zeker niet overeen met de gemaakte R & D loonkosten binnen deze segmenten in Nederland over de afgelopen jaren [34]. In deze verdeling nemen de toepassingen assemblage en elektronische apparatuur (nanotechnologie <-> nanomaterialen!) de belangrijkste loonkostensubsidie voor hun rekening. Toepassingen binnen deze gebieden werden in deze survey nauwelijks teruggevonden.

In figuur 3.3 zijn de activiteiten gerangschikt naar technologiegebied. Hieruit blijkt duidelijk dat vooral het deelgebied materialen een zeer groot onderdeel uitmaakt (15/37) van de activiteiten binnen zowel bedrijven als kennisinstellingen. Daarna volgen elektronica & ICT (3), fabricage (3) en een duidelijk grotere categorie die niet in de eerdere valt (n=6). Dit laatste wordt voornamelijk veroorzaakt door research toepassingen op het gebied van diagnostiek en pharma, dat niet in de deelgebieden is opgenomen.

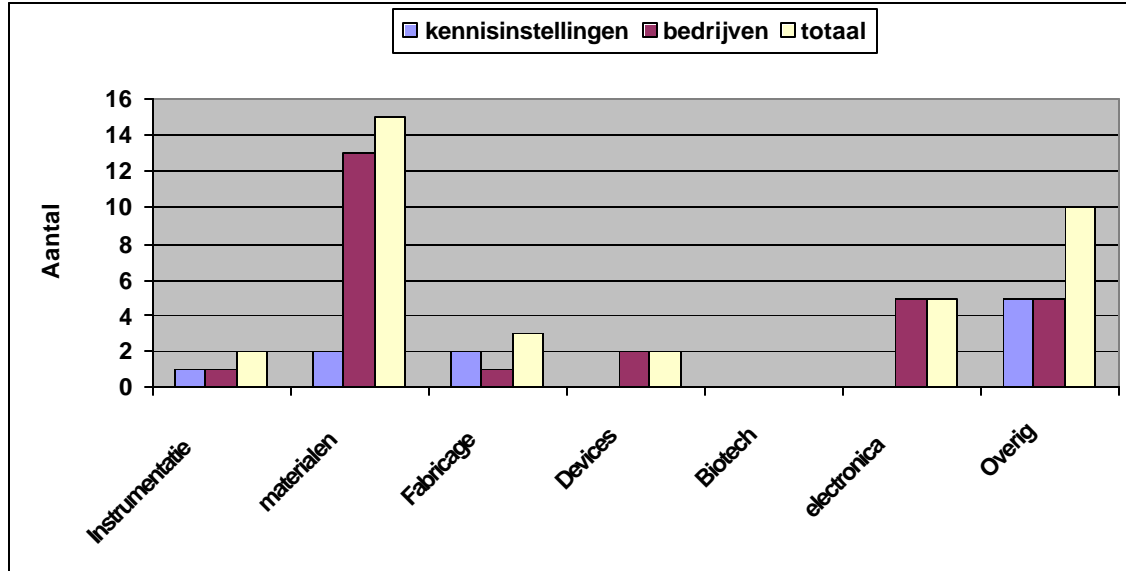


Fig. 3.3 Verdeling van deelnemers aan het onderzoek (n=37) per technologiegebied als totaal en uitgesplitst naar bedrijven en kennisinstellingen.

3.2 BESCHRIJVING VAN DE GEBRUIKTE NANOMATERIALEN EN POPULATIE.

De meeste instellingen in Nederland gebruiken nanomaterialen die worden ingekocht en voor een klein deel zelf worden gesynthetiseerd. Slecht een klein aantal producenten maakt zelf nanodeeltjes (n=7), waarvan 3 voor onderzoek en 2 voor eigen gebruik. De variatie in type nanomaterialen komt tot uiting in Tabel 3.1

De nanodeeltjes die in de grootste hoeveelheden worden gebruikt zijn carbon black, (amorf) silica en aluminiumoxides. Deze worden gebruikt als toevoeging aan organische of waterige matrices zoals binders (toners), verf, coatings of voor het direct opbrengen op oppervlakten zoals silica. Het gebruik van deze nanodeeltjes bedraagt meerdere tonnen per jaar, en dit is waarschijnlijk al vele jaren het geval. Alle andere nanodeeltjes worden in kleinere hoeveelheden gebruikt dan wel geproduceerd, waarbij we onderscheid moeten maken tussen (a) die nanodeeltjes die (al dan niet experimenteel) in producten worden toegepast binnen bedrijven, en (b) nanodeeltjes die in zeer kleine hoeveelheden in kennisinstellingen worden onderzocht.

Hoewel veel bedrijven zich goed bewust zijn van de eigenschappen van gebruikte nanodeeltjes - of de vorming van nanodeeltjes in hun processen, zijn er ook wel degelijk gebruikers die noch via toeleveranciers noch via eigen analyse, mogelijkheden hebben om na te gaan of ze werkelijk vrije nanodeeltjes in hun grondstoffen en of producten hebben. Dit is het geval bij 5 bedrijven (3 MKB, 2 groot) en dat geeft aan dat de informatie door leverancier en/of kennis binnenshuis vaak onvoldoende is om te beoordelen of producten nanodeeltjes bevatten.

Tabel 3.1 *Overzicht van het type en de geschatte hoeveelheid van gebruikte nanomaterialen per toepassingsgebied, waarbij ook aangegeven is bij hoeveel kennisinstellingen en bedrijven dit plaatsvindt.*

Toepassingsgebied (1)	instellingen	Bedrijven	Nanodeeltjes	Gebruik/Productie
	<i>aantal</i>	<i>aantal</i>	<i>chemische identiteit</i>	<i>kg/jaar</i>
Assemblage/recycling		2	Carbon black CNT	2000 0.1- 1
Electronische apparatuur		3	Titaannitride SiO2	onbekend 100-1000
Onderzoek	6		Metals (Au, Ag, Pd) Clays CNT-C60	0.1-1 1 0.1-10
Health & Food		4	FeO, SiO2 fullerenes (C60)	10-100 10-100
Oppervlakte & Coatings (incl textiel, inks and toners)	12	1	TiO2 SiO2 Antimoon-oxide Carbon black Tin oxide aluminium oxides	100-1000 10,000 50-100 100,000 2,000 100-200
Scheidingstechnieken		1	CB	(zie 1)
Energie	1	1		10-100
Transport (luchtvaart)				

Bovenstaande Tabel (3.1) laat zien dat het gebruik van nanodeeltjes vooral in de toepassing oppervlaktebehandeling en coatings valt. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de grootste hoeveelheden nanodeeltjes worden ingezet bij de productie van inkt en toners. Hierbij gaat het voornamelijk om carbon black, amorf silica en tinoxide. Te verwachten valt echter dat in de nabije toekomst het gebruik van titaandioxide en aluminiumoxides in coatings fors zal toenemen, door het grote aantal nieuwe producten in de consumentenrange. Verder wordt een groot aantal nanodeeltjes verkend voor toepassing in toekomstige producten, zoals carbon nanotubes in vele mogelijke toepassingen, of nanoklei (dat overigens geen syntetisch nanomateriaal is) voor toepassingen in composietmaterialen (menging met polymeren).

De kennisinstellingen en een klein aantal MKB-ers werken aan de ontwikkeling en/of toepassing van een andere klasse hoogwaardige nanomaterialen, voor toepassingen die nog wat verder weg liggen (Tabel 3.2). Het gaat hierbij om specifieke vormen van ceriumoxide, antimoonoxide, goud, lanthaniden, titaniumnitride en andere hoogwaardige, engineered nanoparticles. Pas bij gebleken toegevoegde waarde in (consumenten)-producten zullen deze in hoeveelheden gaan stijgen. Opvallend is verder dat nanozilver (Tabel 3.2), dat volgens vele bronnen in zeer veel

consumentenproducten wordt verwerkt, in deze survey alleen werd teruggevonden binnen enkele kennisinstellingen voor onderwijs en onderzoek.

Tabel 3.2 *Overzicht van voorkomen en gebruik van specifieke nanomaterialen binnen de Nederlandse industrie en kennisinstellingen, evenals een schatting van het aantal potentieel blootgestelde werknemers door de deelnemers zelf.*

Nanodeeltjes ^a	aantal	Potentieel Blootgesteld	Hoeveelheid (/jaar)	Voornaamste Toepassing
<i>Nanozilver (Ag)</i>	3	55	1- 10 gram	Onderzoek
<i>Aluminiumoxides</i>	3	25	100-1000 kg	Coatings
<i>Carbon black</i>	3	90	> 100 ton	Toners
<i>Carbon Nanotubes</i>	4	20-30	1- 10 kg	
<i>Clays</i>	2	< 10	1-10 gram	Textiel
<i>Ijzeroxides</i>	3	< 10	10- 100 gram	Farma
<i>Silica (amorf)</i>	10	99	10-100 ton	Overall
<i>Titaandioxide^b</i>	8	79	100- 1000 kg	Coatings
<i>Tinoxide (SnO₂)</i>	1	10	2000 kg	NC
<i>Zinkoxide (ZnO)</i>	2	< 10	10-100 gram	
<i>Divers</i>	8	< 10		
CoO, lanthanide, goud (Au)	1		grammen	Divers
C ₆₀ (fullerenes)	2		10 kg	Cosmetica
Ceriumoxide	1		onbekend	
Antimoonoxide	1		50-100 kg	
Polymeren	2		1 -10 gram	

a) Dezelfde werknemer kan zijn blootgesteld aan meerdere nanodeeltjes, en derhalve is de som van de aantallen niet gelijk aan het totaal aantal blootgestelde werknemers (ca 350).

b) Commercieel verkrijgbaar TiO₂ is meestal gecoat met een dun laagje silica, hetgeen de hanteerbaarheid ten goede komt en clustervorming voorkomt.

Opvallend is dat binnen de totale populatie van werknemers die is gescreend (rond de 41.000) ongeveer 400 mensen (= 1 %) concreet werkzaamheden verrichten met nanodeeltjes. Een groot deel daarvan betreft enkele bedrijven waar **carbon black**, **amorf silica** en **metaaloxiden** in bulk wordt verwerkt. In Tabel 3.2 is te zien dat voor een groep van ca. 200 mensen redelijk duidelijk is met welke nanodeeltjes ze omgaan. Het is evident dat het percentage blootgestelde werknemers groter is bij de kleinere bedrijven. Voor bedrijven kleiner dan 10 werknemers is dit 35 %, terwijl dit bij 1000+ bedrijven 0.5 % is. Helaas heeft niet elk bedrijf in kaart hoeveel mensen

er potentieel zijn blootgesteld en zijn deze gegevens slechts beschikbaar van 27 deelnemers.

Ongeveer evenveel blootgestelde werknemers werken met nanodeeltjes onder de term "user", namelijk 145 personen, als user and producer, namelijk 168 personen. Slechts 17 mensen zijn alleen met de productie van nanodeeltjes betrokken, maar hierin zijn de kennisinstellingen niet vertegenwoordigd. De verdeling van blootgestelde werknemers over bedrijven (n=220) en kennisinstellingen (n=137) sluit aan bij het feit dat de meeste nanoprodukten en nanodeeltjes zich nog in researchfase bevinden. Deze 137 medewerkers vormen veruit het grootste deel van het totale aantal werknemers (n=152) dat voor onderzoeksdoeleinden met nanodeeltjes omgaat. Toch is vooral bij de kennisinstellingen onduidelijk welke onderzoekers en docenten omgaan met welke nanodeeltjes in het kader van hun onderzoek.

3.3 GEBRUIKTE BEHEERSINGSMATREGELEN

In **Tabel 3.3** zijn de beheersmaatregelen weergegeven die bedrijven nemen om de blootstelling aan nanodeeltjes te beheersen. Weergegeven zijn het aantal en het percentage bedrijven, dat maatregelen neemt op elk van de niveau's binnen de arbeidshygiënische strategie. Bedrijven met de meest vergaande beheersmaatregelen staan steeds bovenaan de lijst, bedrijven met de minste maatregelen staan onderaan de lijst.

Substitutie door totale vervanging van (schadelijke) stoffen wordt door geen enkel bedrijf toegepast. In veel gevallen betreft het juist nieuwe toepassingen die nog in ontwikkeling zijn of recent in gebruik zijn genomen. Substitutie kan ook betekenen dat de stof in een andere vorm wordt gebruikt, bijvoorbeeld nanodeeltjes niet in poedervorm, maar in een dispersie of in een pasta (in een matrix). Nanodeeltjes in een matrix worden door diverse bedrijven gebruikt, maar inzet van deze vormen is niet altijd het gevolg van een bewuste beheersmaatregel, maar kan ook aan het type toepassing gebonden zijn. Om die reden is het gebruik van een andere verschijningsvorm in deze tabel niet als beheersmaatregel gekenmerkt, maar is daarom wel een opsplitsing gemaakt naar beheersmaatregelen per verschijningsvorm.

Ongeveer de helft van de bedrijven die nanodeeltjes geheel of gedeeltelijk in poedervorm gebruiken doen dat in een zoveel mogelijk gesloten systeem. In 9 gevallen werd het proces waarbij nanodeeltjes werden gebruikt in een gesloten systeem toegepast, soms in combinatie met compartimentering van ruimten; in 6 gevallen betrof het werken in cleanrooms. Bij de andere helft van de bedrijven die poedervormige nanomaterialen gebruikten was lokale ventilatie de belangrijkste beheersmaatregel. Bij kennisinstellingen betekende dit meestal dat deze werkzaamheden werden uitgevoerd in een zuurkast.

Tabel 3.3 *Arbeidshygiënische maatregelen bij de bedrijven, overall en per verschijningsvorm van de nanodeeltjes.*

	Substitutie	Gesloten systeem	Ventilatie	Organisatorisch	Pbm's	Instructie & voorlichting
Overall (N=37)	0 (0%)	15 (41%)	29 (78%)	5 (14%)	24 (65%)	23 (62%)
Bedrijven met nanodeeltjes uitsluitend als poeder (N=14)	0 (0%)	7 (50%)	13 (93%)	4 (29%)	11 (79%)	12 (86%)
3 bedrijven		x	x	X	x	x
2 bedrijven		x	x		x	x
1 bedrijf		x	x		x	
1 bedrijf		x				x
1 bedrijf			x	X	x	x
3 bedrijven			x		x	x
1 bedrijf			x		x	
2 bedrijven			x			x
Bedrijven met nanodeeltjes zowel als poeder en in een matrix (N=7)	0 (0%)	4 (57%)	7 (100%)	0 (0%)	5 (71%)	5 (71%)
1 bedrijf		x	x		x	x
1 bedrijf		x	x		x	
1 bedrijf		x	x			x
1 bedrijf		x	x			
3 bedrijven			x		x	x
Bedrijven met uitsluitend nanodeeltjes in een matrix (N=16)	0 (0%)	4 (25%)	9 (56%)	1 (6%)	8 (50%)	6 (38%)
1 bedrijf		x	x	X	x	x
1 bedrijf		x	x		x	x
1 bedrijf		x	x			x
1 bedrijf		x				
2 bedrijven			x		x	x
2 bedrijven			x		x	
2 bedrijven			x			
2 bedrijven					x	
1 bedrijf						x
3 bedrijven						

Over de hele lijn blijkt ventilatie de meest toegepaste beheersmaatregel te zijn. In 19 gevallen betekende dit dat de werkzaamheden werden uitgevoerd in een zuurkast, in 9 gevallen werd lokale ventilatie rondom de toepassing gebruikt en in één geval werd algemene ruimteventilatie ingezet. In het laatste geval betrof het ventilatie van gecompartmenteerde ruimten, waarbij het doel was te voorkomen dat stof buiten deze ruimten kon komen (binnen de afgescheiden ruimte werden er wel werkzaamheden verricht door werknemers). Bij de bedrijven die geheel of gedeeltelijk met nanomaterialen in poedervorm werken gebruiken 20 van de 21 (95%) bedrijven (gerichte) ventilatie. Slechts in één geval werd geen ventilatie ingezet, omdat het proces zodanig gesloten was dat ventilatie geen toegevoegde waarde zou hebben gehad.

Organisatorische maatregelen (het beperken van het aantal werknemers of het beperken van de blootstellingsduur) werd slechts in enkele bedrijven toegepast als bewuste maatregel. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat de toepassing van nanodeeltjes zich in veel gevallen nog in een experimenteel stadium bevond, waardoor er in ieder geval nog maar weinig blootgestelde medewerkers waren.

Bedrijven die uitsluitend nanomaterialen in een matrix gebruiken nemen over de gehele lijn de minste maatregelen, zoals zichtbaar is in figuur 3.4. In deze categorie wordt 'slechts' in 25% van de gevallen in gesloten systemen gewerkt en werd in 56% van de gevallen ventilatie gebruikt. Bij 3 bedrijven werden geen maatregelen ingezet, met als motivatie dat het ofwel om heel kleine hoeveelheden ging ofwel omdat er geen relevant moment van blootstelling was.

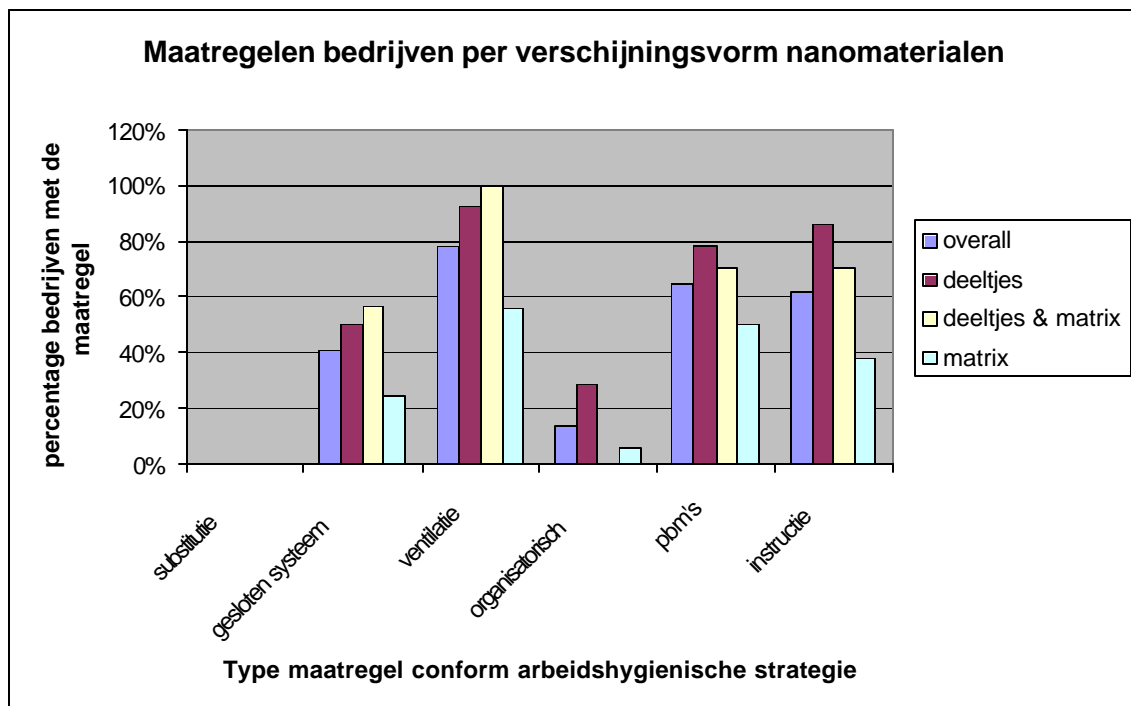


Fig. 3.3 *Overzicht van type beheersmaatregelen bij bedrijven per verschijningsvorm van nanomaterialen*

In de **Tabellen 3.4 t/m 3.6** en de bijbehorende **figuren 3.4 t/m 3.6** staan de genomen beheersmaatregelen bij bedrijven opgesplitst naar type bedrijf, verbruikte hoeveelheden nanomaterialen en grootte van de bedrijven.

Tabel 3.4 Arbeidshygiënische maatregelen bij de bedrijven, overall en per type bedrijf

	Substitutie	Gesloten systeem	Ventilatie	Organisatorisch	Pbm's	Instructie & voorlichting
Kennisinstellingen (N=11)	0 (0%)	6 (55%)	10 (91%)	1 (9%)	8 (73%)	9 (82%)
Bedrijven (N=26)	0 (0%)	9 (35%)	19 (73%)	4 (15%)	16 (62%)	14 (54%)

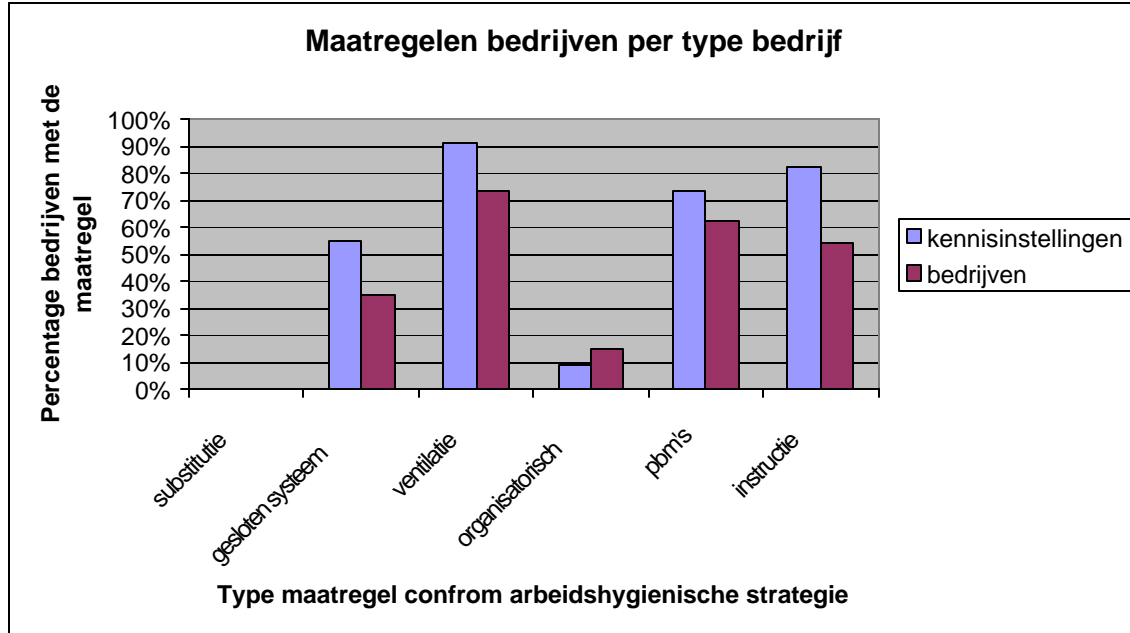


Fig. 3.4. Overzicht van type beheersmaatregelen bij bedrijven per type bedrijf

Er zitten geen echt grote verschillen tussen kennisinstellingen en bedrijven, al nemen de kennisinstellingen over het algemeen iets meer maatregelen. Eén van de mogelijke verklaringen is dat binnen de kennisinstellingen vaker 'nieuwe' typen nanomaterialen worden ingezet en uitgetest, waarbij een extra veiligheidsmarge relevant wordt geacht. Het grootste verschil tussen kennisinstellingen en bedrijven is zichtbaar bij de voorlichting en instructie aan werknemers. Over de hele linie worden echter dezelfde type maatregelen ingezet.

Tabel 3.5 *Arbeidshygiënische maatregelen bij de bedrijven, overall en per hoeveelheid verbruikte nanomaterialen*

	Substitutie	Gesloten systeem	Ventilatie	Organisatorisch	Pbm's	Instructie & voorlichting
Hoeveelheid nanomaterialen < 100 gram/jaar (N=22)	0 (0%)	8 (36%)	19 (86%)	3 (14%)	16 (73%)	14 (64%)
Hoeveelheid nanomaterialen 100 gram – 1000 kg/jaar (N=8)	0 (0%)	4 (50%)	5 (63%)	1 (13%)	4 (50%)	4 (50%)
Hoeveelheid nanomaterialen > 1000 kg/jaar (N=3)	0 (0%)	0 (0%)	3 (100%)	0 (0%)	2 (67%)	2 (67%)
Onbekende hoeveelheden (N=4)	0	3	2	1	2	3

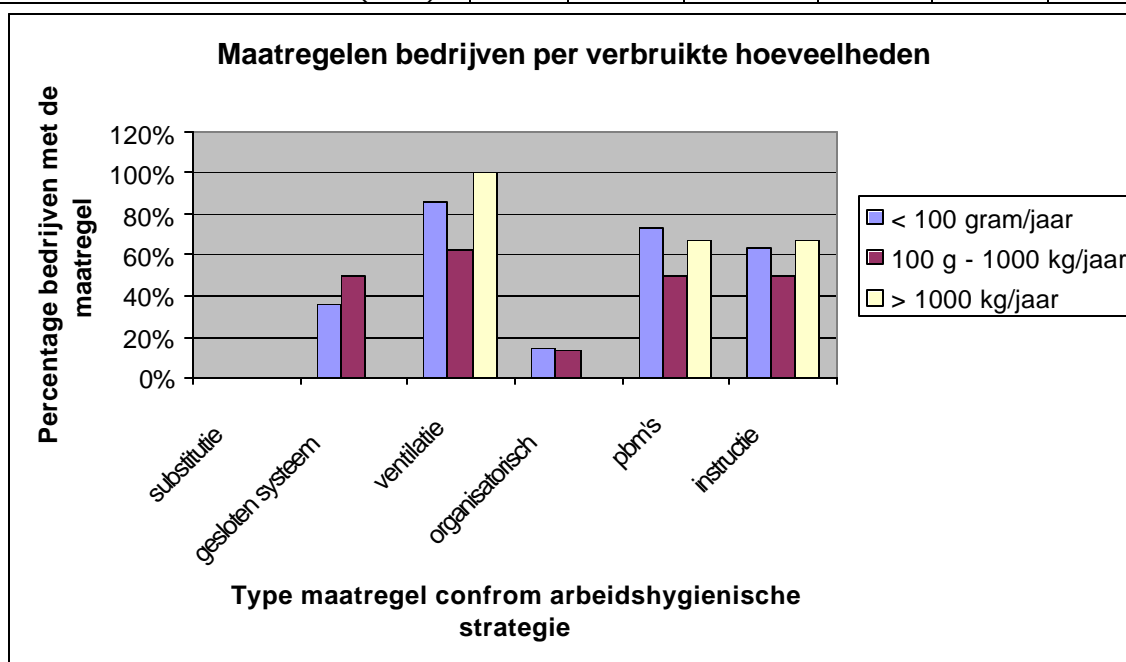


Fig. 3.5 *Overzicht van type beheersmaatregelen bij bedrijven per hoeveelheid verbruikte nanomaterialen*

De gebruikte hoeveelheden blijken evenmin een sterk bepalende factor te zijn voor typen beheersmaatregelen die worden ingezet. Enige uitzondering vormen de bedrijven die materialen gebruiken in meer dan 1000 kg/jaar. Dit betreft in alle gevallen de meer klassieke toepassingen van nanomaterialen (bijvoorbeeld toner), waarbij ventilatie de bepalende beheersmaatregel is, in combinatie met de inzet van persoonlijke beschermingsmiddelen en voorlichting en instructie aan de werknemers.

Tabel 3.6 Arbeidshygiënische maatregelen bij de bedrijven, overall en per grootte van het bedrijf

	Substitutie	Gesloten systeem	Ventilatie	Organisatorisch	Pbm's	Instructie & voorlichting
Bedrijven < 50 werknemers (N=9)	0 (0%)	1 (11%)	6 (67%)	1 (11%)	5 (56%)	5 (56%)
Bedrijven 50 – 1000 werknemers (N=13)	0 (0%)	7 (54%)	10 (77%)	1 (8%)	8 (62%)	8 (62%)
Bedrijven > 1000 werknemers (N=15)	0 (0%)	7 (47%)	13 (87%)	3 (20%)	11 (73%)	10 (67%)

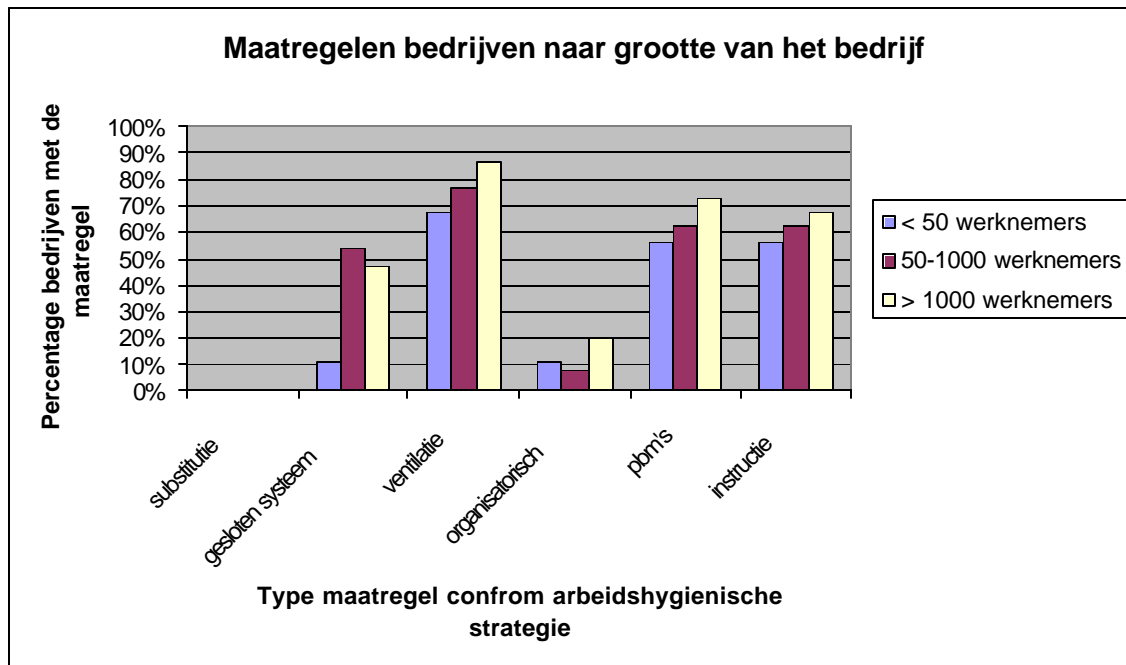


Fig. 3.6 Overzicht van type beheersmaatregelen bij bedrijven per grootte van het bedrijf

Uit tabel 3.6 en figuur 3.6 blijkt dat grotere bedrijven over de hele linie meer maatregelen nemen. Heel groot zijn de verschillen echter meestal niet. Uitzondering is dat bedrijven met minder dan 50 werknemers nauwelijks gesloten systemen gebruiken. In deze categorie wordt bij gebruik van synthetische nanodeeltjes wel altijd lokale/gerichte ventilatie ingezet.

3.4 GOEDE PRAKTIJKEN EN EFFECTIVITEIT

Een goede praktijk bestaat uit een praktijk waarbij geen risico's optreden voor de gezondheid van werknemers en op effectiviteit getoetst is door middel van metingen. De eerste vraag is dus in hoeverre bedrijven een risicoanalyse hebben uitgevoerd en op welke manier dat is gebeurd.

In tabel 3.7 is een overzicht weergegeven van de manier waarop bedrijven de risicoanalyse m.b.t. nanodeeltjes binnen hun bedrijf hebben vormgegeven. Bij 3 bedrijven (8%) is geen specifieke risico analyse voor nanomaterialen uitgevoerd en is er feitelijk dus (nog) geen oordeel over de aan- of afwezigheid van risico's van nanomaterialen. Bij alle andere bedrijven (n=34; 92%) is wel een aparte risicoanalyse uitgevoerd m.b.t. het gebruik van en de omgang met nanodeeltjes. 25 bedrijven (68%) hebben deze risicoanalyse uitgevoerd, gericht op een bepaalde specifieke toepassing. Er is echter ook een aantal bedrijven (n=9; 24%) dat de risicoanalyse veel breder heeft uitgevoerd naar alle toepassingen met nanodeeltjes binnen hun bedrijf en deze heeft vertaald in meer algemene beleidsprincipes

Tabel 3.7 *Wijze waarop de risico-analyse binnen de 37 bedrijven is vormgegeven*

Wijze van risico analyse	Aantal bedrijven	Oordeel risico-analyse
Geen risico analyse	3 (8%)	Geen oordeel bekend,
Risico analyse in RI&E of per project	25 (68%)	Oordeel varieert per project (zie tabel 3.8)
Risico analyse via beleidsprincipes	9 (24%)	Risico's afgedekt via de gestelde beleidsprincipes

De uitkomst van de risicobeoordeling bij de 25 bedrijven die de risico-analyse projectmatig heeft uitgevoerd staat in tabel 3.8. Hoewel er dus in al deze gevallen wel een specifieke risico-analyse is uitgevoerd voor nanodeeltjes staat deze niet altijd formeel op schrift. In zeven gevallen was de risico-analyse onderdeel van de formele RI&E. Er is een aantal redenen waarom de risico-analyse nog niet altijd formeel in de RI&E is verwerkt: (1) in sommige gevallen betreft het een project in de researchfase op kleine schaal in het lab, waarbij de nanomaterialen één van de vaak vele gevaarlijke stoffen zijn die binnen de laboratoria worden gebruikt en waarvoor meer algemeen opgestelde regels geldend zijn; (2) in sommige gevallen wisselen de toepassingen zo snel, dat een risico-analyse per project de meest pragmatische werkwijze is, zonder dat al deze risico-analyses worden verwerkt in de RI&E.

Tabel 3.8 *Uitkomst van de risico-analyse bij de 25 bedrijven die een uitsluitend projectmatige aanpak hebben*

Oordeel	Aantal bedrijven
Geen risico bij huidige bedrijfsvoering	20 (80%)
Oordeelsvorming nog niet afgerond	5 (20%)
Wel risico bij huidige bedrijfsvoering; aanvullende maatregelen zijn noodzakelijk	0

Twintig (13 bedrijven en 7 kennisinstellingen) van de 25 bedrijven (80%) geeft aan dat er geen risico's zijn voor medewerkers bij de huidige bedrijfsvoering en maatregelen rondom de inzet van nanomaterialen. Bij slechts 3 bedrijven is dit oordeel onderbouwd met behulp van blootstellingsmetingen, terwijl bij 1 bedrijf de uitvoering van deze metingen nog lopende is. Bij vijf bedrijven loopt de risico-analyse nog en is de oordeelsvorming dus nog niet afgerond. Bij 1 van deze bedrijven vormen blootstellingsmetingen een onderdeel van deze oordeelsvorming. Bij de andere bedrijven worden nog geen metingen uitgevoerd of overwogen.

Tabel 3.9 Omschrijving van de beleidsprincipes per bedrijf (n=9)

B/K*	Beleidsprincipes
K	<ol style="list-style-type: none"> 1. Geen gebruik van bekende zeer toxische stoffen 2. Indien mogelijk in gesloten systeem, anders werken in zuurkast met gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen
B	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nanodeeltjes worden beschouwd als toxische stof 2. Altijd werken in gesloten systeem, anders werken in zuurkast 3. Geen nanopoeiders; uitsluitend nanodeeltjes in een matrix 4. Geen spray processen toegestaan met nanodeeltjes in een matrix
B	<ol style="list-style-type: none"> 1. Geen gebruik van bekende zeer toxische stoffen 2. Nanodeeltjes moeten afbreekbaar zijn; alleen duurzame nanodeeltjes op de markt brengen 3. Geen nanopoeiders; uitsluitend nanodeeltjes in een matrix 4. Geen spray processen toegestaan met nanodeeltjes in een matrix
B	<ol style="list-style-type: none"> 1. Geen nanopoeiders; uitsluitend nanodeeltjes in een matrix 2. Beleid gericht op nul-blootstelling
B	<ol style="list-style-type: none"> 1. Geen nanopoeiders; uitsluitend nanodeeltjes in een matrix
K	<ol style="list-style-type: none"> 1. Altijd werken in een gesloten systeem 2. Strenge beperking van het aantal werknemers aanwezig in ruimten waar met nanomaterialen wordt gewerkt 3. Systeem zodanig ingericht dat schoonmaken zo eenvoudig mogelijk is
B	<ol style="list-style-type: none"> 1. Geen nanopoeiders; uitsluitend nanodeeltjes in een matrix 2. Geen spray processen toegestaan met nanodeeltjes in een matrix
B	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nanodeeltjes worden beschouwd als toxische stof en de procedures voor werken met kankerverwekkende stoffen zijn tevens van toepassing op het werken met nanomaterialen.
K	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nanodeeltjes worden beschouwd als toxische stof 2. Nanopoeiders zo snel mogelijk in dispersie brengen en verder uitsluitend liquid handling

* B= bedrijf, K = kennisinstelling

In tabel 3.9 is een overzicht gegeven van de uitgangspunten of beleidsprincipes die worden gehanteerd bij de 9 bedrijven die een meer algemeen standpunt hebben ingenomen over het gebruik van nanomaterialen binnen hun bedrijfsvoering. Wat opvalt, is dat de benaderingen die door deze bedrijven worden gehanteerd verschillend zijn. De belangrijkste elementen/peilers lijken de volgende te zijn:

1. Keuzes vooraf over de aard van de nanomaterialen die (mogen)worden ingezet;
2. Nanomaterialen in algemene zin beschouwen als toxische stof (er wordt dus een soort veiligheidsmarge ingebouwd als gevolg van de toxicologische onzekerheden);
3. Keuzes over de verschijningsvorm van de nanomaterialen.

De keuze om nanomaterialen niet in poedervorm te gebruiken, maar uitsluitend in een matrix of om de nanomaterialen zo snel mogelijk in dispersie te brengen, blijkt een van de belangrijkste peilers in het beleid van de bedrijven te zijn.

Van alle 37 bedrijven zijn er slechts 8 (22%) die blootstellingsmetingen hebben uitgevoerd als onderdeel van de risico-analyse.

- Bij 2 bedrijven zijn uitgebreide metingen uitgevoerd als onderdeel van de RI&E, maar uitsluitend gravimetrische metingen en geen metingen naar nanodeeltjes;
- Bij 1 bedrijf zijn geen metingen uitgevoerd specifiek naar nanodeeltjes, maar betreft het een organische stof die chemisch analytisch te bepalen is. Middels veegproeven op oppervlakken en high-volume sampling wordt de betreffende stof gemeten, waarbij het uitgangspunt is dat de stof in principe niet mag voorkomen;
- Bij 5 bedrijven worden metingen naar nanodeeltjes uitgevoerd, ofwel met behulp van een Condensation Particle Counter (CPC) ofwel analyse van stof- en luchtmonsters met behulp van electronenmicroscopie (SEM of TEM). In de meeste gevallen is de primaire vraag bij deze metingen of nanodeeltjes kunnen worden gemeten en dus mogelijk relevant zijn als blootstelling op de werkplek. Deze metingen dienen vervolgens ter onderbouwing van de risicobeoordeling.

Bij het overgrote deel van de bedrijven (78%) is de risicobeoordeling dus niet geobjectiveerd met behulp van metingen.

3.5 UITWISSELING INFORMATIE IN DE KETEN

In tabel 3.10 is de communicatie weergegeven die in de keten plaatsvindt over de risico's van nanomaterialen. Bij de helft van de bedrijven vindt geen enkele informatieverstrekking plaats in de keten over de aanwezigheid van nanodeeltjes, noch vanuit leveranciers, noch naar de klanten. Bij slechts 18 bedrijven (49%) vindt enige mate van communicatie plaats. Hierbij is in tabel 3.10 ook een opsplitsing gemaakt naar ondersteuning door leveranciers en communicatie naar de eigen klanten. Deze twee communicatierichtingen waren echter niet altijd van toepassing. Voor producenten van nanomaterialen is uitsluitend de communicatie naar de eigen klanten van belang en bij sommige gebruikers vindt de toepassing (nog) geen weg naar klanten. Tabel 3.10 maakt ook duidelijk dat er niet altijd in twee richtingen (vanuit leveranciers en richting klanten) wordt gecommuniceerd.

Een veelgemaakte opmerking bij de bedrijven/instellingen is dat het veiligheidsinformatieblad of MSDS in de meeste gevallen niets zegt over de risico's van nanodeeltjes. Er staat zelfs vaak niet in of nanomaterialen onderdeel uitmaken van het product. Het gaat dus vaak al mis bij de basis, omdat nanodeeltjes onvoldoende herkenbaar en identificeerbaar zijn.

In een beperkt aantal gevallen zijn er echter ook leveranciers die een zeer actieve houding hebben naar de afnemers van hun product, waarbij de afnemers ofwel actief worden gewezen op de onzekerheden rondom de risico's van nanomaterialen of waarbij actief wordt meegedacht hoe de toepassing binnen een bedrijf zo goed mogelijk kan worden vormgegeven.

Tabel 3.10 *Overzicht van de communicatie in de keten bij de 37 bedrijven*

Communicatie in de keten	Aantal bedrijven
In het geheel geen communicatie in de keten	19 (51%)
Wel enige mate van communicatie in de keten	18 (49%)
Aard van de communicatie in de keten bij de 18 bedrijven	
Ondersteuning door leveranciers	Niet van toepassing: 3 (17%) Ja: 7 (39%) Wel relevant maar wordt niet gedaan: 8 (44%)
Communicatie naar eigen klanten	Niet van toepassing: 1 (6%) Ja: 12 (67%) Wel relevant maar wordt niet gedaan: 5 (28%)

3.6 OMGAAN MET NANODEELTJES-HOUDEND AFVAL

Bij vrijwel alle bedrijven (34/37 = 92%) wordt nanodeeltjeshoudend afval afgevoerd binnen de reguliere bedrijfsafvalstromen en wordt vooralsnog niet als aparte afvalstroom beschouwd. De aard van het (nano)materiaal en/of de aard van de matrix waarin de nanomaterialen zitten, bepalen met welke afvalstroom het materiaal meegaat (nanodeeltjes die in een organisch oplosmiddel zitten worden dus afgevoerd met en als organisch oplosmiddel)

Bij slechts 3 bedrijven is sprake van een afwijkende praktijk of standpunt. Bij 2 bedrijven worden nanohoudende materialen op dit moment al wel als aparte afvalstroom binnen het bedrijf gezien en ook apart ingezameld. Vooralsnog wordt het echter nog afgevoerd als een reguliere afvalstroom, omdat onbekend is wat er anders met dit materiaal moet gebeuren. De intentie om het materiaal als aparte afvalstroom af te voeren kan om pragmatische redenen dus nog niet worden uitgevoerd. Bij 1 bedrijf is een tweetal afvalstromen waarin nanodeeltjes kunnen zitten te weten het afvalwater en de HEPA filters van de afzuiging. Het afvalwater van het proces met nanodeeltjes wordt apart ingezameld en krijgt een aparte behandeling met als doel alle materialen in het afvalwater te laten 'vlokken' tot grotere deeltjes vergelijkbaar met de procesvoering in waterzuiveringsinstallaties. De HEPA filters worden verwijderd door een daartoe gespecialiseerd bedrijf, waarbij de methode zodanig is vormgegeven dat er geen enkel contact met de filters mogelijk is.

4. DISCUSSIE & CONCLUSIES

- 4.1 GOEDE PRAKTIJKEN IN NEDERLAND
- 4.2 VOORSTEL VOOR BEST-PRACTICES RICHTLIJN
- 4.3 OVERZICHT ANDERE SURVEYS IN EUROPA
- 4.4 REPRESENTATIVITEIT GROEP EN UITKOMSTEN
- 4.5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het huidige rapport is het meest uitgebreide onderzoek in Nederland naar het voorkomen en gebruik van synthetische, moeilijk afbreekbare nanodeeltjes. De survey geeft een indruk van de aard en hoeveelheden van nanodeeltjes zoals die in Nederland worden gebruikt en ontwikkeld. In tegenstelling tot alle surveys die tot nu toe zijn gepubliceerd, zijn bijna alle bedrijven en instellingen ook bezocht door de onderzoekers, met als primair doel het interview te kunnen "toetsen" via een werkplekbezoek. Dit heeft zeker geleid tot een vertraging van de uitvoering, maar tegelijkertijd geleid tot een kwaliteitsverbetering van de gegevens. In eerder onderzoek in Nederland door TNO [37] werden 92 bedrijven en 6 afdelingen van Universiteiten telefonisch benaderd. Daarvan zijn uiteindelijk 8 ingevulde vragenlijsten ontvangen. Hoewel hier wel een eerste inzicht werd verkregen in de omgang met en de hoeveelheden nanomaterialen, is het beeld dat hiermee werd verkregen verre van volledig. In het huidige onderzoek zijn 122 organisaties benaderd, waarvan het merendeel bedrijven. Uiteindelijk hebben 37 deelnemers (26 bedrijven, 11 kennisinstellingen) meegedaan. De meeste bedrijven/kennisinstellingen zijn door de onderzoekers bezocht voor een interview en werkplekbezoek. De interviewlijst was uitgebreid en naast de aard van de nanomaterialen en het potentieel aantal blootgestelde werknemers, voornamelijk gericht op de organisatorische en beheersmaatregelen, en communicatie van risico's binnen bedrijf en keten.

4.1 GOEDE PRAKTIJKEN IN NEDERLAND

Het onderhavige onderzoek heeft laten zien dat net zoals in andere landen er een bewustzijn is bij bedrijven en kennisinstellingen ten aanzien van eventuele risico's van nanodeeltjes en dat bijna alle onderzochte bedrijven aandacht aan dit thema besteden. De manier waarop dit gebeurt, verschilt aanzienlijk en lijkt gedreven door de aard en omvang van de werkzaamheden, de grootte en het type bedrijf. Slechts 3 bedrijven (8 %) hebben geen specifieke risicoanalyse uitgevoerd. De andere 34 hebben dat wel, waarbij dit in 9 (24 % van totaal) gevallen gebaseerd is op duidelijke algemene beleidsprincipes voor het gebruik van nanomaterialen in het algemeen. De overige 25 deelnemers hebben wel een risicoanalyse uitgevoerd maar deze is gericht op een specifiek bedrijfsonderdeel of een specifiek project. Aangezien de RIE instemmingsplichtig is, hebben de werknemers daarmee in de meeste gevallen formeel via een ondernemingsraad medezeggenschap kunnen hebben. Hoewel dit geen onderdeel van het onderzoek was, hebben wij de indruk dat er binnen de bedrijven die hebben deelgenomen voortdurend aandacht is voor het thema nanodeeltjes. Ook waar dit formeel niet aan de orde is, zoals vanwege ontbreken RIE, werden deze afwegingen met werknemers binnen het bedrijfsonderdeel besproken."

Net zoals in twee andere surveys [35, 38] lijkt de perceptie van en de maatregelen waarmee wordt gewerkt afhankelijk van de aard van voorkomen van het

nanomateriaal. Deelnemers die voornamelijk met nanodeeltjes als poeder werken (n=14) nemen over gehele linie iets meer maatregelen en geven meer voorlichting, dan bedrijven die met nanodeeltjes in een matrix (dispersie, pasta, coating) werken (zie figuur 4.1). De meest toegepaste arbeidshygiënische strategie om blootstelling te voorkomen is een combinatie van ventilatie, persoonlijke beschermingsmiddelen en voorlichting over de risico's. Organisatorische maatregelen worden nog weinig toegepast.

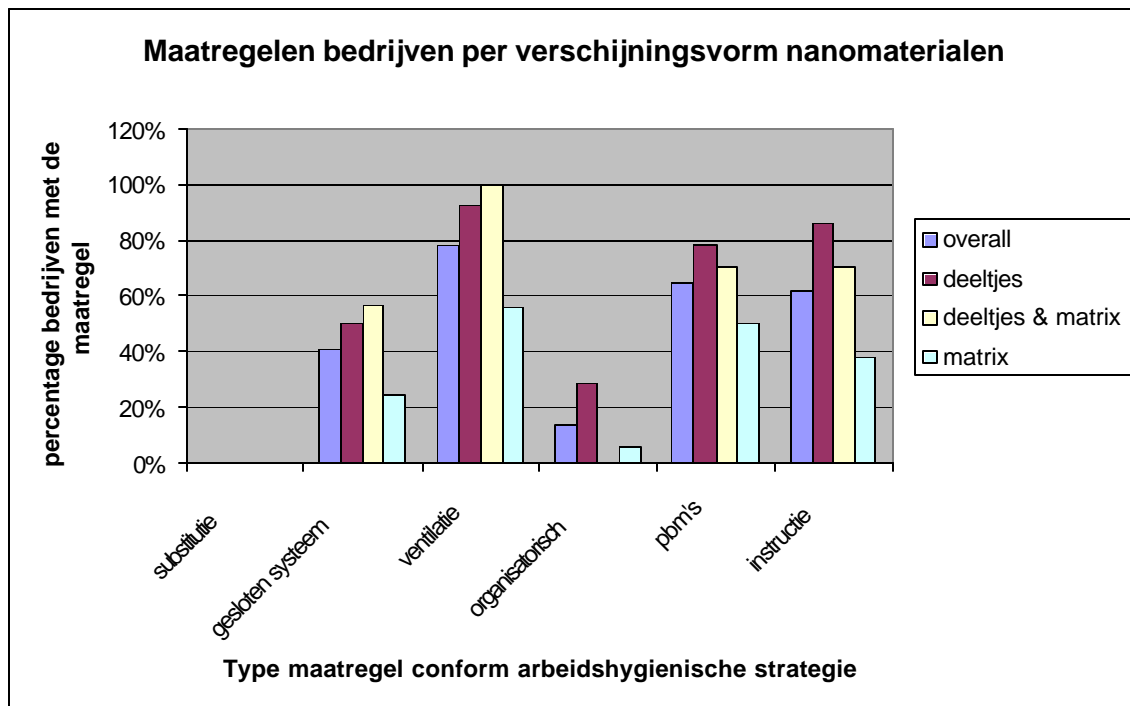


Fig. 4.1 Arbeidshygiënische maatregelen door deelnemers aan de survey in relatie tot het werken met nanodeeltjes

Uiteraard is het logisch dat een dergelijke invloed van de verschijningsvorm van de nanodeeltjes op het type maatregelen wordt gezien. Dit is immers een onmiddellijke vertaling van risicoperceptie naar maatregelen op de werkvloer. Het vermijden van werken met nanodeeltjes in poedervorm (nanopoeders) staat vaak ook nadrukkelijk in de beleidsprincipes genoemd van bedrijven die deze principes (n = 9) hanteren. Toch is het opvallend dat in slechts weinig gevallen de lagere kans op blootstelling door werken met dispersie is bevestigd door blootstellingsmetingen. Bij 5 bedrijven zijn metingen uitgevoerd waar gekeken is naar deeltjesaantallen. Het ging hierbij meestal om de vraag of er wel of geen nanodeeltjes vrijkomen tijdens specifieke activiteiten. Daarmee is de vraag of nanodeeltjes uit matrix vrijkomen, en bijvoorbeeld als aërosol kunnen worden ingeademd in vrijwel geen enkel geval onderzocht. De meeste deelnemers geven ook aan dat men hier eigen expertise en creativiteit inzet om blootstelling te bewaken, maar dat er wel behoefte is aan externe ondersteuning en advies.

De **aard van de maatregelen** verschilt niet echt tussen bedrijven en kennisinstellingen, hoewel opvalt dat kennisinstellingen iets meer aandacht besteden aan arbeidshygiënische maatregelen, maar vooral in voorlichting (82 %) vergeleken

met bedrijven (54 %). Ook de grootte van het bedrijf speelt geen rol in de aard van de maatregelen, maar wel is duidelijk zichtbaar dat grotere bedrijven meer interne maatregelen treffen. Kleine bedrijven hanteren echter slechts zelden (11 %) een gesloten systeem in vergelijking met grotere bedrijven (ca 50 %), en dit zou gezien de sterk wisselende aard van activiteiten en materialen geen overbodige luxe zijn. Ook de hoeveelheid gebruikte nanomaterialen per jaar heeft geen echte invloed op de aard van de maatregelen. De verklaring hiervoor is tweeledig. Ten eerste betreft het bij grotere hoeveelheden al langer bestaande producten van bulk nanoparticles. Ten tweede worden bulk nanomaterialen vaak via een matrix toegepast.

Wat opvalt, is de gebrekkige communicatie over gezondheids- en veiligheidsinformatie in de keten. In de helft van de gevallen (n=19, 51 %) is er in het geheel geen communicatie in de keten. In de andere helft (n= 18) is de aard van de communicatie vooral naar klanten (12/18, 67 %) en minder via ondersteuning door leveranciers (7/12, 39 %). Ook de veiligheidsbladen en product informatie waaronder MSDS-en beschrijven vaak alleen de chemische samenstelling en niet de aanwezigheid van nanodeeltjes of voorschriften voor het omgaan met het specifieke product. De motivatie voor het wel communiceren is in een enkel geval gestart door de leverancier van het nanomateriaal (CNT) op basis van beschikbare toxicologische informatie uit proefdierstudies. De voornaamste reden om niet te communiceren is ontbrekende kennis op dit gebied en ontbrekende wetgeving. Daarmee wordt communicatie volledig overgelaten aan de heersende bedrijfsvoering.

Ook een opvallend punt is het omgaan met nanodeeltjeshoudend afval. Bij vrijwel alle deelnemers (92 %) wordt het afval op conventionele wijze afgevoerd. Dat wil zeggen het wordt afgevoerd in de beschikbare afvalstromen zoals er zijn voor chemisch afval: organische oplosmiddelen, zware metalen en waterige oplossingen. In slechts 3 gevallen hebben we gezien dat nanodeeltjeshoudende materialen als afvalstroom apart worden ingezameld (n=3), maar eigenlijk tot slot toch in de conventionele afvalstroom terecht komen en door verbranding worden vernietigd. De voornaamste reden voor deze uitkomst lijken te liggen in 1) de beschikbaarheid en indeling van huidige, conventionele stromen en voorzieningen, 2) het ontbreken van wettelijke voorschriften op dit gebied, 3) het lage bewustzijn van mogelijke extra risico's van nanodeeltjes. Wel gaven enkele deelnemers aan dat afvalverwerkende bedrijven het thema al onderzoeken voor recycling van kostbare componenten.

Er zijn in totaal 9 bedrijven die algemene uitgangspunten hanteren voor de introductie van of de omgang met nanodeeltjeshoudende materialen binnen hun bedrijfsvoering. De vraag is of een van deze beleidsuitgangspunten met bijbehorende maatregelen kan worden beschouwd als goede praktijk. Wat opvalt, is echter dat de uitgangspunten per bedrijf zeer verschillend zijn. Bij alle bedrijven is het plausibel om aan te nemen dat de risico's als gevolg van het instellen van deze beleidsuitgangspunten verlaagd zullen zijn. Belangrijke constatering is echter dat ook hier in de meeste gevallen geen metingen zijn uitgevoerd om de beleidsuitgangspunten te toetsen op doelmatigheid. Er is dus, exclusief uitgaande van de in dit onderzoek gedane waarnemingen in de Nederlandse bedrijven, niet één algemene of gevalideerde goede praktijk te destilleren voor de omgang met nanodeeltjes houdende materialen.

4.2 VOORSTEL VOOR BEST-PRACTICES RICHTLIJN

Op basis van de gerapporteerde praktijken én informatie zoals aangeboden in internationale richtlijnen komen wij wel tot de volgende praktische richtlijn:

1. **Hazard assessment:**

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

- a. Voorkom het gebruik van nanomaterialen waarvan bekend is dat ze (of het uitgangsmateriaal) zeer toxicologische eigenschappen bezit;
- b. Indien weinig informatie bekend is of achterhaald kan worden over de toxicologische eigenschappen van een stof, behandel dit nanomateriaal dan als een zeer toxische stof. Naarmate het kennishiaat groter is en dus de onzekerheid over de risico's groter is, moet een grotere veiligheidsmarge worden ingebouwd en moeten er dus meer maatregelen worden genomen om de blootstelling te voorkomen (zie hieronder);
- c. Als startpunt voor de hazard assessment kan een indeling worden gemaakt in de volgende vier groepen. Hoe hoger op de lijst, hoe meer maatregelen moeten worden genomen om de blootstelling te voorkomen (zie hieronder)
 - i. Vezelvormig en onoplosbaar;
 - ii. Stoffen waarvan het 'uitgangsmateriaal' bijzondere eigenschappen heeft (carcinogeen, mutageen, reproductietoxisch, sensibiliserend);
 - iii. Onoplosbaar (en niet in één van de voorgaande categorieën);
 - iv. Oplosbaar en niet in één van de voorgaande categorieën).

2. **Keuze verschijningsvorm:**

Voorkom zoveel mogelijk het gebruik van nanomaterialen als poeder of in de gasfase, maar gebruik waar mogelijk nanodeeltjes in een matrix (dispersies, pasta's, in palletvorm of ingekapseld).

- a. Bij nanomaterialen als poeder of in de gasfase:
 - i. Gebruik altijd een gesloten systeem;
 - ii. Hou naast de toxicologische risico's ook rekening met brand- en explosierisico's. Een nanopoeier heeft een enorm oppervlak.
- b. Bij nanodeeltjes in een matrix:
 - i. Voorkom sproeien of andere handelingen waarbij makkelijk aerosolvorming kan plaatsvinden.

3. **Identificeer en scoor alle taken en handelingen met potentiële blootstelling** en rangschik deze op hoogte van blootstelling (op basis van duur, frequentie en aantallen blootgestelde medewerkers).

- a. Verzamel zoveel mogelijk informatie over de processtappen die tot blootstelling kunnen leiden.
- b. Identificeer daarnaast ook alle taken en handelingen die buiten de normale procesvoering ook blootstelling aan nanodeeltjes kunnen geven (blootstellingsscenario's opstellen).

4. Neem voor elk (potentieel) contactmoment **maatregelen** om de blootstelling aan nanodeeltjes zoveel mogelijk te voorkomen volgens de

arbeidshygiënische strategie, waarbij de volgende zaken in ogenschouw moeten worden genomen met betrekking tot nanodeeltjes:

- a. Het pakket van maatregelen voor nanodeeltjes zou strenger moeten zijn dan voor grotere deeltjes, gezien de onzekerheden over de toxicologische effecten van nanodeeltjes
- b. De aard van de maatregelen om blootstelling te reduceren voor nanodeeltjes zijn over het algemeen echter wel vergelijkbaar met de maatregelen die voor andere toxische stoffen moeten worden genomen.

- i. Gebruik waar mogelijk een **gesloten systeem**, vooral indien nanomaterialen als poeder of in de gasfase worden gebruikt
- ii. Indien gesloten systeem niet mogelijk is zet **lokale/gerichte ventilatie** in om de blootstelling bij de bron af te vangen:
 1. Een goed ontworpen ventilatiesysteem voorzien van HEPA-filters zal nanodeeltjes effectief afvangen (ventilatiesystemen moeten aan dezelfde kwaliteitscriteria voldoen als voor andere toxische stoffen);
 2. Nanodeeltjes zullen zich grotendeels als gas gedragen en dus eenvoudig kunnen ontsnappen uit lekkages;
 3. Ventilatiesystemen moeten goed worden onderhouden en regelmatig op effectiviteit worden beoordeeld (zie ook validatiestap bij punt 5);
 4. Voorkom recirculatie van de lucht zonder zuivering van de retourlucht.
- iii. **Organisatorische maatregelen** kunnen de technische beheersmaatregelen aanvullen:
 1. Beperk het aantal blootgestelde werknemers. Beperk (bijvoorbeeld) de toegang tot ruimtes met potentiële blootstelling;
 2. Beperk de duur van de blootstelling;
 3. Beperk de toegang tot ruimtes met potentiële blootstelling.
- iv. Indien de blootstelling niet adequaat kan worden vermeden, zet dan als uiterste middel persoonlijke beschermingsmiddelen in bij een beperkt aantal taken of handelingen:
 1. Beperk de draagtijd van de persoonlijke beschermingsmiddelen;
 2. Voor ademhalingsbescherming wijst de tot nu toe beschikbare informatie erop dat bestaande filtermedia nanodeeltjes goed afvangen. Gebruik minimaal een P2-filter;
 3. Het grootste risico is afkomstig van lekkage als gevolg van niet goed passende ademhalingsbescherming (nanodeeltjes zullen zich immers als een gas gedragen). Alle ademhalingsbeschermingsmiddelen moeten daarom voor gebruik worden getest op lekkage bij elke individuele werknemer;
 4. Voor huidbescherming wijst de tot nu toe beschikbare informatie erop dat katoen geweven kleding minder goede bescherming biedt dan luchtdichte kleding (bijv. Tyvek/Tychem).

5. Voor handschoenen wijst de tot nu toe beschikbare informatie erop dat nanodeeltjes door commercieel beschikbare handschoenen dringen. Geadviseerd wordt daarom om twee paar handschoenen te dragen.
5. **Valideer de effectiviteit van de maatregelen** door de blootstelling aan nanodeeltjes te meten:
 - a. Spoor bronnen op met een daartoe geschikt continu meetinstrument, zoals een Condensation Particle Counter (CPC); zorg voor een goede bepaling van de achtergrondblootstelling zonder de activiteiten met nanodeeltjes.
 - b. Zodra een bron is geïdentificeerd: zet meetmethoden in om meer informatie over de blootstelling te krijgen (bijvoorbeeld om deeltjesgrootteverdeling te bepalen of semi-kwantitatieve analyse, bijvoorbeeld met behulp van Aerosol Sampler geschikt voor nanodeeltjes (NMPS), of elektronenmicroscopie (SEM/TEM) gecombineerd met een analytische module (EDX).
6. Verzorg **voorlichting en training** aan de medewerkers. Instrueer alle betrokken werknemers over de eigenschappen van de nanodeeltjes, de noodzaak voor speciale maatregelen en zorg voor adequate training van de werknemers.
7. **Gezondheidsmonitoring:**

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

4.3 OVERZICHT ANDERE SURVEYS

Eerdere studies in Zwitserland [35], Europa/VS/Asia [38] en Denemarken [39], en Duitsland en Zwitserland [40] hebben laten zien dat nanodeeltjes gebruikt worden in een grote verscheidenheid aan toepassingen en industrieën. In Zwitserland namen uit een steekproef van 197 bedrijven, 43 deelnemers deel aan een survey waarbij vooral nanozilver, en metaal (aluminium-, ijzer-, titaan-, zink) oxides en silica de voornaamste gebruikte producten waren. De sectoren waarin dit voornamelijk gebeurde waren cosmetica, voedsel, verven, poeders en coatings. De onderzoekers gaven aan dat de veiligheidsmaatregelen sterker waren op plaatsen waar met nanopoeiers werd gewerkt, in vergelijking tot nanodeeltjes in vloeistof. De meeste deelnemers hadden echter vele open vragen met betrekking tot goede praktijken [35].

Een andere studie onder 40 nano-bedrijven in Zwitserland en Duitsland [40] gaf aan dat 65 % van de bedrijven geen risico-evaluatie toepaste op het werken met nanomaterialen, terwijl 33 % dit soms of altijd deed. Ook kreeg de problematiek van het afval en eventuele release vanuit producten weinig aandacht, en de onderzoekers concludeerden dan ook dat het noodzakelijk is om risicomanagementsystemen voor de omgang met nanomaterialen te maken, om te borgen dat bedrijven de eventuele risico's in kaart brengen en serieus nemen.

In Denemarken werd in 2007 door het Danisch Technological Institute [39] een survey uitgevoerd in opdracht van de overheid. Men verstuurde een vragenlijst naar 165 Deense bedrijven, waarvan 24 bedrijven aangaven te werken met nanomaterialen. Van deze 24 waren er 16 die met nanodeeltjes werkten en deze categorie werd vervolgend telefonisch geïnterviewd. De meest gebruikte materialen (> 100 kg/jaar) waren metaaloxides, silica, polymeren en carbon black. De studie gaf verder aan dat er weinig tot geen (1 bedrijf) informatie in de keten wordt uitgewisseld over toxische eigenschappen van nanodeeltjes. Metingen van potentiële blootstelling, waren net zoals in de onderhavige studie, zeldzaam en de meeste bedrijven maken onderscheid in omgaan met poeders of nanodeeltjes in vloeistof. Opvallend is dat ook hier de afvalstromen van nanomaterialen via de reguliere kanalen (water, oplosmiddelen) hun weg vinden. Bedrijven gaven ook aan dat op dit gebied geen indicaties voor gevaar zijn, en dat met de actuele regelgeving wordt gewerkt.

Een van de eerste studies naar omgang met nanomaterialen werd uitgevoerd door de Universiteit van California, Santa Barbara in opdracht van de International Council on Nanotechnology (ICON)⁵ en gepubliceerd als ICON rapport [38]. Van de 337 organisaties die werden uitgenodigd om deel te nemen, namen er 64 (19 %) deel aan het onderzoek via een telefonisch interview en een internet-vragenlijst. De deelnemers waren verspreid over Noord-Amerika (25), Azië (25), de EU (11) en Australië (3), waarbij de response het hoogste was in Azië en Australië. Slechts 4 van de bedrijven waren lid van ICON, en 80 % van de deelnemers waren bedrijven uit de private sector, en 9 % waren laboratoria binnen kennisinstellingen. Een groot deel van de bedrijven (27) gebruikte de materialen in onderzoek & ontwikkeling. Een opvallend verschil met de Europese surveys is dat bijna de helft van de bedrijven (n=29) nanodeeltjes produceert ofwel als intermediair of als eindproduct (n=17). De

⁵ ICON is an international, multi-stakeholder organisatie, met als missie de ontwikkeling en communicatie van mogelijke risico's voor gezondheid en omgeving van nanomaterialen, met als doel mogelijke risico's te reduceren en maatschappelijke voordelen te stimuleren: icon.rice.edu

voornaamste technologische toepassingen waren R&D, elektronica, coatings en energie. Opvallend is wel dat ook in andere toepassingen (auto-industrie, plastics, defensie, bouw, cosmetica, landbouw) duidelijke aantallen zichtbaar waren. Aangezien geen hoeveelheden zijn vrijgegeven, is het gebruik van specifieke nanomaterialen alleen af te leiden uit het percentage bedrijven dat bepaalde materialen gebruikt. Het gebruik van organische materialen op basis van koolstof (CNT, fullerenen, polymeren) stond hier bovenaan met 34 %, terwijl de metaal-oxides en metalen een goede tweede (30 %) en derde (29 %) vormden. Opvallend is hier de plaats van de eerste categorie die in de Europese surveys met name in onderzoek & ontwikkeling een rol speelt.

Het ICON-onderzoek is zeer gedetailleerd in gegevens over omgang met nanomaterialen. Opvallend is dat 72 en 52 % van de respondenten uit de VS en Azië aangeven dat men een nano-specifiek Environment-Health & Safety programma heeft; dit is echter met name bij bedrijven en veel minder bij kennisinstellingen. Bij de kleinere bedrijven (< 50 werknemers) heeft de helft een specifiek beleid t.a.v nanomaterialen, en bij de grotere (50-250, en groter dan 250) is dit 80 %. Dit is beduidend meer dan wat we in de Nederlandse survey hebben aangetroffen, waar maar 24% van de bedrijven een specifiek beleid heeft opgesteld m.b.t. de introductie van en omgang met nanomaterialen binnen hun bedrijfsvoering. De voornaamste motivatie hiervoor blijkt dat men gelooft dat er risico's zijn verbonden aan het werken met nanomaterialen en in mindere mate met de omvang van de activiteiten in volume. De acties zelf blijken voornamelijk te bestaan uit training en voorlichting van personeel (vooral VS) over risico's van nanomaterialen.

Tabel 4.2 Overzicht van surveys naar type en gebruik van nanomaterialen in Europa en rest van de wereld.

Land	Target /response ¹	Voornaamste Materialen	B/KI ²	Specifiek Nano-HSE ³	Referentie
World	337/64	Koolstofbasis Metaal oxides	64/0	37	38
Denemarken	165/11	Metaal oxides Silica, polymeren Carbon black	6/5	1	39
Zwitserland	197/43	Silica, TiO ₂ Metaal oxides, Ag Carbon black	43/0	N.D	35
Zwitserland & Duitsland	?/40	Geen info	40/0	13	40
UK	? /9	Geen info	7/2	N.D.	41
Nederland (TNO)	98/8	Geen info	5/3	N.D	37
Nederland	122/37	Carbon black metaal oxides silica	30/8	9	Dit rapport

Legenda: ¹Target/Response geeft de verdeling aan van het aantal benaderde instellingen (target) en diegenen die uiteindelijk de vragenlijst of interview hebben ingevuld. De ratio B/KI ² geeft aan hoeveel bedrijven (B) en kennisinstellingen (KI) hebben deelgenomen. Bij Nano-HSE³ wordt bedoeld bedrijven die een specifiek beleidsprincipe hanteren om met nanomaterialen te werken.

Via een klein aantal respondenten uit het ICON onderzoek (18/64) werd duidelijk dat deze subgroep substitutie, engineering, goede praktijken en persoonlijke bescherming gebruikt om blootstelling en opname te voorkomen. De technische beheersmaatregelen die men het meest frequent tegenkwam zijn zuurkasten (43), glove-box (32), cleanrooms (23), gesloten systeem (20), laminaire flow kast (15), drukverschil (18) of werken in gesloten zakken (12). Het rapport bevat zeer waardevolle informatie over bestaande praktijken en kan als basis gelden voor vergelijking van Nederlandse data, als ook als nulmeting richting goede praktijken in de toekomst.

Het Voluntary Reporting Scheme (VRS) in de UK voor Manufactured Nanomaterials is gestart op 22 september 2006 [41]. Producenten van nanomaterialen kunnen via een afgeschermd website gegevens aanleveren over gebruik, toxische eigenschappen, omgaan met afvalstromen en risk management t.a.v. de door hen gebruikte en/of geproduceerde nanomaterialen. Gedurende de eerste 15 maanden van het project zijn slechts 9 deelnemers aan het project ingeschreven, waarvan 7 industriële partners en 2 uit de academische wereld. Eén van de belangrijkste redenen voor de lage respons, lijkt te zijn dat bedrijven hun gegevens niet naar buiten willen brengen, ook niet als het publieke belang daar om vraagt. Ook in ons onderhavige onderzoek was in een beperkt aantal gevallen slechts deelname mogelijk na ondertekening van een vertrouwelijkheidverklaring. In vele andere gevallen was onze verklaring voldoende dat de data niet tot individueel bedrijf traceerbaar zouden zijn. De deelnemers hadden hiertoe ook inzicht in het rapport voor uiteindelijke publicatie. De VRS pilot-studie loopt in september 2008 af.

In 2007 verscheen vanuit de Scandinavische landen een rapport dat het midden houdt tussen een literatuur survey en huidige stand van zaken in de industrie in Noord-Europa [42]. Met voorbeelden van toepassingen van nanomaterialen in de industrie in Denemarken, Finland, IJsland, Noorwegen en Zweden beoogt het rapport aan te geven waar en welke nanomaterialen worden gebruikt. Diverse bedrijven en producten worden besproken, maar helaas wordt niet ingegaan op goede praktijken en het aantal blootgestelde werknemers. Wel krijgt het thema MSDS sheets aparte aandacht in hun rapport. Dertig MSDS sheets werden gevonden via de websites van producenten (silica, 11; carbon nanotubes, 11; quantum dots, 3) en onderzocht via instructies in de Europese regelgeving voor het opstellen van MSDS sheets (EG directive 2001/58/EC). In slechts enkele gevallen was het duidelijk dat het om een product met nanomaterialen ging, gezien de commerciële naam van het product. De meeste producten met carbon nanotubes werden beschreven als grafiet. Voor de quantum dots werd gerelateerd aan de toxiciteit van de metaal (cadmium, selenium)-componenten en niet naar de vorm. In sommige gevallen werd wel aangegeven dat de toxiciteit van de nanomaterialen meer of minder kon zijn dan de respectievelijke chemische componenten deden vermoeden. Het lijkt dus zeker tijd voor aangepaste regelgeving rondom MSDS sheets. In Maart 2008 publiceerde de Vereniging van de Duitse Chemische Industrieën (VCI) een speciaal document om informatie in de keten door te geven over goede praktijken en toxiciteit van Nanomaterialen via Material Safety Data Sheets [43], waarbij in definities wordt aangesloten bij het ISO Technical Committee 229 "Nanotechnologies" en de werkdefinitie van engineered nanomaterialen van de OECD Werkgroep "Manufactured Nanomaterials".

Naast de bovengenoemde studies is er onlangs een conceptrapport verschenen van het European Agency for Safety and Health at Work getiteld "Expert forecast on Emerging Chemical Risks related to Occupational Safety and Health" [44], en daarin wordt op basis van een systematische expertbevraging (N=152) het thema nanoparticles en ultrafijn stof als het meest belangrijke nieuwe risico op de werkplek genoemd. Hoewel het rapport nog niet definitief en wellicht ook een reflectie is van de huidige risicoperceptie bij experts, geeft het wel aan dat hiermee de problematiek bovenaan in de prioriteitenlijstjes voor onderzoek en regelgeving zal komen. Het rapport geeft een aantal duidelijke situaties aan waar kans op blootstelling aan nanodeeltjes aanwezig is, waaronder het werken aan vloeistoffen met nanodeeltjes zonder handschoenen of andere maatregelen. Daarnaast wordt ook werken met nanopoeiders en nanoparticles in aërosol vorm genoemd. De experts schatten dat de meeste kans op blootstelling aanwezig is bij a) de primaire ontwikkeling, zoals in universiteiten en spin-offs, b) processen waarbij nanopoeiders worden gebruikt zoals in de productie van verf, pigmenten en cement, c) lassen, en d) andere processen waar ultrafijne deeltjes een bijproduct zijn. Het is belangrijk om aan te geven dat in deze analyse ultrafijn stof (meestal onopzettelijke bijproduct) en nanodeeltjes (meestal speciaal ontwikkeld) in dezelfde categorie zijn meegenomen. Daarnaast lijkt het dat de expert assessment voor een deel is gevoed door vele onzekerheden en onderzoeksvragen gedreven door de hazard en mechanisme.

4.4 REPRESENTATIVITEIT GROEP EN UITKOMSTEN

Er waren duidelijke problemen zowel met het vinden en overtuigen van bedrijven om mee te doen aan dit onderzoek. Opvallend is dat geen enkele organisatie of regelgever blijkt te beschikken over een registratie of lijst van bedrijven die met nanomaterialen werken. Alle eerder vermelde studies, inclusief deze, maakten gebruik van websites, artikelen, presentaties of congressen, abstracts en contacten met bedrijven om hun target lijst samen te stellen. In de UK wordt gebruik gemaakt van een vrijwillig rapportage systeem. Het probleem wordt veroorzaakt door de "enabling" eigenschappen van een technologie die het mogelijk maakt dwars door alle sectoren heen, materialen te vernieuwen of producten aan te passen. Daarmee blijft ondanks de veelheid aan onderzoeken nog steeds onduidelijk hoe groot de penetratiegraad van nanotechnologie in het bedrijfsleven eigenlijk is. Ook bij de samenstelling van de target populatie in Nederland hebben we dankbaar gebruik gemaakt van de diverse, fragmentarische overzichten en lijsten die er bestaan bij diverse ministeries en Senter Novem. De meeste input werd ook hier gegeven door bestaande relaties, kennis van de markt en consortia zoals MinacNed en NanoNed.

Een aantal zaken hebben een rol gespeeld bij het overtuigen van deelnemers om mee toe doen aan het onderzoek. Ten eerste speelden verschillen over de definitie van nanodeeltjes een rol. Er is een discrepantie tussen deze gegevens en het belangrijkste inclusie criterium bij van dit onderzoek: *werken met synthetische, moeilijk afbreekbare nanodeeltjes*. Vaak was het eerste telefoongesprek er één waar definities van nanodeeltjes en of het bedrijf wel of niet tot de doelgroep behoorde, aan de orde kwamen. Zo maakt een bedrijf als PepScan wel synthetische peptides in de nanorange, maar deze kunnen niet als moeilijk afbreekbaar worden beschouwd. Ook bleek het vaak essentieel om tot op hoog niveau door te vragen (Hoofd R&D) om een juist antwoord op de vraag te krijgen. Zo geven bedrijven als ASML en Medtronic (geen deelnemers) aan dat de componenten die zij hanteren of

assembleren simpelweg door andere bedrijven buiten Nederland worden gemaakt of in elkaar worden gezet. Een bedrijf als Umicore, een belangrijke producent van pigmenten, maakt pigmenten net over de grens en geeft aan dat alleen verzending via Nederland plaatsvindt. Dit bevestigt de conclusie van voorgaande onderzoeken, dat voor een goede indruk van de stand van zaken in Europa, het noodzakelijk zal zijn om de survey op Europees niveau uit te voeren. Daarnaast hebben we de indruk gekregen dat (1) veel bedrijven niet wilden meedoen omdat men meende de situatie volledig onder controle te hebben en de juiste praktijken hanteerde, of (2) uit concurrentieoverwegingen geen gegevens naar andere partijen wil loslaten.

In ons onderzoek hebben we de mogelijkheid gehad om gegevens van non-responders te toetsen aan gegevens die beschikbaar zijn uit octrooiaanvragen [45] en aan bedrijfsgegevens bekend uit de subsidieregeling speur- en ontwikkelingswerk (WBSO), waarbij nanotechnologie als kernthema is genoemd [36]. Hoewel deze analyse niet op het hele databestand is uitgevoerd, springen onmiddellijk een aantal zaken in het oog. ASML is niet in de database opgenomen, omdat zij naar eigen zeggen (ASML) niet met vrije nanodeeltjes werken. ASML en Philips zijn twee bedrijven die zeer sterk zijn in octrooien binnen de nanotechnologie en nemen een flink stuk van de R&D loonkosten binnen de assemblage en elektrische apparatuur voor hun rekening. Philips is volgens de octrooianalyse [45] de grootste speler in Nederland op het gebied van de nanotechnologie, maar helaas geen deelnemer in ons onderzoek. Ook laat de eerdergenoemde octrooianalyse [45] zien dat nanomaterialen en nano-ICT in Nederland de sterkste takken zijn. Hoewel ICT wel degelijk een behoorlijke omvang heeft in onze survey is zij zeker niet het belangrijkste segment. Voor nanomaterialen wordt dit beeld wel duidelijk bevestigd.

Veel kan men ook leren uit de grote onderzoeksprogramma's zoals CTMM, NanoImpuls, NanoNed en privaatpublieke samenwerkingen als het Dutch Polymer Institute (DPI). Hieruit wordt onmiddellijk duidelijk dat veel meer partijen met nanodeeltjes werken bijvoorbeeld in imaging en diagnostiek. Deze partijen werden echter niet zichtbaar via onze gehanteerde stapsgewijze benadering. Het DPI als schakelpunt tussen industrie en kennisinstellingen gaf aan wel een overzicht te hebben van gebruikte nanomaterialen, maar dit niet kunnen delen met de onderzoekers, aangezien zij niet de aangewezen rechtspersoon is om dat te kunnen doen.

Van andere bedrijven kan men via de wetenschappelijke kanalen zien dat er gewerkt wordt aan bepaalde toepassingen waarin mengsels van polymeren met nanodeeltjes (meestal klei) worden gemaakt. Sommige staan ook bovenaan in de R&D loonkosten op het gebied van nanotechnologie. Toch geven deze bedrijven aan zich niet relevant te vinden voor deze studie. Van de bedrijven die in de periode 2005-2006 in de top 25 staan van R&D kosten op het gebied van nanotechnologie, hebben we van 7 telefonische informatie over gebruik van nanodeeltjes binnen hun bedrijf. Daarbij bleken er 2 inderdaad niet met slecht afbreekbare nanodeeltjes te werken, en de andere 5 zijn ingesloten in het onderzoek. Al met al bevestigt dit het vermoeden dat er meer bedrijven nanodeeltjes gebruiken dan deze studie heeft kunnen meten. Van de kennisinstellingen hebben we de indruk dat de voornaamste researchinstellingen hebben deelgenomen. Daarnaast blijken ook twee hogescholen met onderzoek en onderwijs in nanomaterialen bezig zijn.

Uiteraard heeft dit ook betekenis voor de schatting van het blootgestelde aantal werknemers (n=357) en voor de verschillende materialen. Waarschijnlijk zijn ook hier de aantallen vrijwel zeker flink onderschat, maar is een betere schatting alleen met grote aannames te geven. Zo is de populatie werknemers die met het onderzoek is afgedekt rond de 41.000. Via een lineaire extrapolatie naar het totaal aantal werknemers binnen bedrijven en kennisinstellingen zou men dan een maximaal aantal werknemers kunnen berekenen dat in Nederland met nanomaterialen omgaan. Daarnaast kunnen in het bijzonder de kennisinstellingen niet precies aangeven wie van het totaal (n= 137) met welke materialen werkt. In deze groep verdient het daarom aanbeveling om aio's en analisten, werkzaam binnen nano-projecten in de kennisinstellingen als potentieel blootgestelde groep te oormerken en verder te onderzoeken. Hiervoor bieden de overzichten van het Nederlands Nano Initiatief (NNI), het Dutch Polymer Instituut (DPI) dan wel de onderzoeksprogramma's NanoImpuls, NanoNed, MicroNed, Biomade en Holst center een goede ingang.

Onze huidige studie geeft aan dat de hoeveelheid nanomaterialen vooral wordt bepaald door een klein aantal grootgebruikers in nauwkeurig gedefinieerde toepassingen en producten. Daarbij valt op dat de aard van de materialen en de orde van grootte van gebruik nagenoeg gelijk is aan die in andere Europese landen. Hierbij gaat het vooral om klassieke nanodeeltjes die al jaren op de markt zijn, zoals carbon black, metaaloxiden en amorf silica. Aan de andere kant zien we in de Zwitserse survey veel gebruik van nanozilver, en in de ICON survey de nieuwe generatie op koolstof gebaseerde nanomaterialen een vlucht nemen. Hiermee worden koolstofnanobuisjes (CNT) en fullerenen bedoeld. Ook in ons land worden deze materialen gebruikt, maar vooral in R&D toepassingen, en betreft het een enkel product. Zo worden fullerenen (C₆₀) in cosmetica verwerkt als antioxidant. Uiteraard moeten de gerapporteerde hoeveelheden van moeilijk afbreekbare nanodeeltjes met enige voorzichtigheid worden tegemoet getreden. Enerzijds omdat schattingen erg moeilijk te geven zijn en afhankelijk zijn van de persoon aan wie de informatie wordt gevraagd. Daarnaast was het onmogelijk om deze informatie te valideren via een derde partij.

4.5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In Nederland blijkt geen eenduidig inzicht te zijn in de bedrijven en instellingen die in de Nanotechnologie actief zijn, doch in dit onderzoek zijn 122 instellingen benaderd die eventueel met nanodeeltjes werken. Daarvan vielen 62 bedrijven af voor een groot deel omdat ze wel werkzaam waren binnen de nanotechnologie, maar in het geheel geen synthetische nanodeeltjes gebruikten en dus niet tot de doelgroep van het onderzoek behoorden (n=49), en deels omdat men geen nanodeeltjes binnen de Nederlandse vestiging gebruikte (n=8). Zestig bedrijven behoorden wel tot de doelgroep, waarvan uiteindelijk 37 (26 bedrijven en 11 kennisinstellingen) medewerking verleend hebben aan bedrijfsbezoek plus interview. Het aantal MKB binnen de bedrijven was 11 op 26 (42 %), waarbij zowel producenten (n=5) als gebruikers(n=6) zaten. De meeste toepassingen werden gevonden in oppervlakten en coatings met onderzoek als een goede tweede. Veruit het belangrijkste toepassingsgebied blijkt materialen te zijn (15/37).

De nanodeeltjes die in de grootste hoeveelheden worden gebruikt zijn carbon black, amorf silica en aluminium oxides. Het gebruik van deze klassieke, synthetische nanodeeltjes bedraagt meerdere tonnen per jaar. Alle andere nanodeeltjes (o.a. nanotubes, nanozilver, ijzeroxides) worden in kleinere hoeveelheden gebruikt dan wel geproduceerd. Binnen de totaal betrokken populatie werknemers in de survey (41.000) verrichten naar schatting rond de 400 werknemers regelmatig werkzaamheden met nanodeeltjes in verschillende vormen. Ongeveer de helft hiervan werkt bij bedrijven waar carbon black, amorf silica en metaaloxiden worden verwerkt. In de kennisinstellingen werken 137 mensen met diverse nanoprodukten meestal in de ontwikkelingsfase. De hoeveelheden van experimentele, synthetische nanodeeltjes liggen tussen 1 en 100 gram per jaar.

Een opvallende uitkomst van het onderzoek is dat de informatie-uitwisseling in de keten zeer gebrekkig is. Bij de helft van de bedrijven vindt geen enkele informatieverstrekking plaats in de keten over de aanwezigheid en risico's van nanodeeltjes, noch vanuit leveranciers, noch naar de klanten. Daartegenover staan weer leveranciers die een zeer actieve houding hebben naar afnemers van hun product rondom eventuele risico's van nanodeeltjes. De combinatie van toepassingen in coatings en de gebrekkige informatie-uitwisseling zou kunnen betekenen dat de downstream gebruikers van deze producten bijvoorbeeld in de bouw, garages en toepassing van verven een onvermoed risico op blootstelling en dus effecten kunnen lopen. Dit is niet onderzocht maar kan een aandachtspunt voor verder onderzoek zijn.

Bij de meeste deelnemers aan dit onderzoek (68 %) is er aandacht voor omgaan met nanodeeltjes bij het opstellen van de risico-inventarisatie en evaluatie (RI & E) of in betreffende projectbeschrijving. Als reden voor keuze voor het laatste wordt genoemd het onderzoeks karakter van de werkzaamheden en de snelle wisseling van (project) werkzaamheden. Bij 5 van deze bedrijven (20 %) is de oordeelvorming nog niet afgerond, en de rest geeft aan dat er geen risico's zijn bij de huidige bedrijfsvoering. Bij slechts 3 bedrijven is dit onderdeel echter onderbouwd via blootstellingsmetingen. Bijna een kwart van de bedrijven geeft aan dat men risico's afdekt via gestelde beleidsprincipes. De benaderingen die door deze bedrijven worden gehanteerd zijn echter behoorlijk verschillend en lijken gebaseerd op

- Keuzes vooraf over de aard van de nanomaterialen die worden ingezet,
- Nanomaterialen in algemene zin beschouwen als toxische stof, en
- Keuzes over de verschijningsvorm van de nanomaterialen.

De keuze om nanomaterialen niet in poedervorm te gebruiken, maar uitsluitend in een matrix of om de nanomaterialen zo snel mogelijk in dispersie te brengen, blijkt een van de belangrijkste peilers in het beleid van bedrijven te zijn. Ten aanzien van beheersmaatregelen en goede praktijken blijkt het volgende:

- Er is bij de bedrijven een bewustzijn ten aanzien van eventuele risico's van nanodeeltjes en bijna alle onderzochte bedrijven (92%) hebben voor nanomaterialen een risicoanalyse uitgevoerd. Deze risicoanalyse is in lang niet alle gevallen formeel vastgelegd in de RI&E.
- De meeste bedrijven en instellingen voeren de risicoanalyse uit op het niveau van concrete toepassingen en projecten. Een aantal bedrijven (n=9; 24%) heeft meer algemene uitgangspunten opgesteld voor de introductie en het gebruik van nanomaterialen binnen de bedrijfsvoering.

- de aard van de arbeidshygiënische beheersmaatregelen hangt samen met het voorkomen en de vorm van de nanodeeltjes. Bedrijven die nanodeeltjes geheel of gedeeltelijk in poedervorm gebruiken doen dit in de helft van de gevallen in een zoveel mogelijk gesloten systeem. Daarnaast was lokale ventilatie de belangrijkste maatregel.
- Over de gehele linie is ventilatie de meest toegepaste beheersmaatregel, waarbij in zowel zuurkasten (n=19) als andere vormen van lokale ventilatie (n=9) worden toegepast.
- Organisatorische maatregelen, zoals het beperken van het aantal werknemers of het beperken van de blootstellingsduur, wordt slechts bij 5 bedrijven actief toegepast als beheersmaatregel.
- Bedrijven die uitsluitend nanomaterialen in en matrix gebruiken nemen over de gehele linie minder arbeidshygiënische maatregelen, dan bedrijven die met nanopoeiders werken. Bij deze bedrijven werd in 25% van de gevallen in gesloten systemen gewerkt en werd in 56% van de gevallen ventilatie gebruikt.
- Er zijn geen grote verschillen zichtbaar in maatregelen tussen bedrijven en kennisinstellingen. Het grootste verschil tussen beiden is zichtbaar bij de voorlichting en instructie aan werknemers. Over de hele linie worden echter dezelfde type maatregelen ingezet.
- Over de effectiviteit van de gebruikte maatregelen is weinig bekend aangezien er nauwelijks systematisch wordt gemeten. De beschikbaarheid van goedkope apparatuur en toegang tot geavanceerde meetapparatuur speelt hier een rol.
- In slechts een klein aantal gevallen gaat de risicoanalyse gepaard met het uitvoeren van metingen naar nanodeeltjes. De risicobeoordeling is dus in veel gevallen niet onderbouwd met metingen. Slechts 3 (8%) bedrijven hebben op één of andere manier blootstellingsmetingen uitgevoerd.
- Er is duidelijke behoefte aan informatie over best-practices over het werken met nanodeeltjes in andere landen en/of sectoren. Informatie over effectiviteit van ventilatie, filters, persoonlijke beschermingsmiddelen is in de loop van het onderzoek beschikbaar gekomen (NanoSafe) en aan de deelnemers doorgestuurd.
- De meeste deelnemers geven aan dat de veiligheidsinformatiebladen in de meeste gevallen niets over de aanwezigheid dan wel de risico's van nanodeeltjes in het product melden en daarmee zijn nanodeeltjes onvoldoende herkenbaar en identificeerbaar.
- Bij vrijwel alle bedrijven (92%) wordt nanodeeltjeshoudend afval afgevoerd binnen de reguliere bedrijfsafvalstromen en wordt vooralsnog niet als aparte afvalstroom beschouwd. De aard van het nanomateriaal en/of de aard van de matrix waarin de nanomaterialen zitten bepalen met welke afvalstroom het materiaal meegaat.

Belangrijk voor de toekomst en specifiek beleid ten aanzien van nanomaterialen, is de vraag hoe de productie en het aantal blootgestelde werknemers op de middellange termijn zich zal ontwikkelen. Dit in het bijzonder omdat de penetratie van producten met nanodeeltjes via productketens snel zal gaan. Drie bedrijven geven aan dat wanneer de onderzoeksfase is afgesloten, en tot productie wordt overgegaan, de hoeveelheden en aantal blootgestelde werknemers zeer snel zullen stijgen. Internationaal worden grote productievolumes verwacht voor cosmetica, textiel, coatings en verven. Dit toekomstbeeld sluit goed aan bij Nederland waar toepassingen in textiel, de auto-industrie en keramische toepassingen snel vele duizenden kilo's (synthetische) nanomaterialen zal betreffen binnen 5 jaar. In de periode daarna (2012-2017) wordt de toepassing van nanomaterialen verwacht in brandstofcellen, zonnecellen, en slimme oppervlakken [43,44]. De toepassing van nanomaterialen zal verder uitbreiden naar vele andere sectoren via toepassing van verven, coatings, lakken en bouwmaterialen. Daarom zal naast het gebruikte volume, ook de proportie blootgestelde werknemers in de industrie behoorlijk toenemen. Wat beide effecten betekenen in termen van hoeveelheid nanomaterialen en aantallen werknemers is moeilijk te zeggen.

In ieder geval is een ontwikkeling in gang gezet waarbij nieuwe, synthetische nanodeeltjes worden toegepast in materialen en toepassingen die binnen enkele jaren in vele consumentenproducten worden toegepast. Daarnaast is er ontwikkeling te zien van een snelle penetratie van producten met nanodeeltjes downstream in de keten. Zoals eerder vermeld kan dit vooral in sectoren waar de functionele coatings worden toegepast of aangebracht (bouw, garages, schilders) leiden tot onvermoede blootstelling. Voor één bedrijf in het onderzoek, dat nanocoatings gebruikte bij behandeling van voertuigen en meubilair, is dit al reden geweest om te stoppen met activiteiten zolang de samenstelling en risico's van aangeleverde producten niet worden aangeleverd.

Tenslotte willen we dit rapport besluiten met een aantal bevindingen die ons gedurende de uitvoering van dit onderzoek zijn opgevallen.

1. De interviews en follow-up hebben aangegeven dat dit een momentopname is in een zeer dynamisch veld. Al in de terugkoppeling met deelnemers en niet-deelnemers hebben we gezien dat zaken snel veranderen. Gezien de snelle groei van toepassingen van nanomaterialen en de penetratie van de markt kan een regelmatige follow-up van de deelnemers een indruk geven van deze ontwikkelingen. Daarnaast is deze populatie een doelgroep bij gerichte voorlichting en evaluatie van methoden.
2. Het niet beschikbaar zijn van goedkope en betrouwbare meetmethoden om blootstelling aan en emissie van nanodeeltjes te meten is een bron van onzekerheid voor zowel gebruiker als beleidsmakers. Het pakket van maatregelen dat bij de deelnemende bedrijven is opgesteld om de blootstelling aan nanodeeltjes te reduceren, is nauwelijks onderbouwd met metingen om de effectiviteit van de beheersmaatregelen te toetsen. Goed arbo-beleid wordt getoetst en bijgesteld, maar de instrumenten hiervoor ontbreken vooralsnog.

REFERENTIES

1. van Est R, Malsch I, Rip A. Om het kleine te waarderen... Een schets van nanotechnologie: publiek debat, toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten. Den Haag: Rathenau Instituut; 2004: Werkdocument 93.
2. Kampers F. Potentiële risico's van bio-nanotechnologie voor mens en milieu. Oriëntatierapport in opdracht van de COGEM. Wageningen: Wageningen UR; 2004.
3. Koeman JH, Dekker C, Nolte RJM, Reinhoudt DN, Rip A, Robillard GT e.a. Hoe groot kan klein zijn? Enkele kanttekeningen bij onderzoek op nanometerschaal en mogelijke gevolgen van nanotechnologie. Den Haag: KNAW, Werkgroep Nanotechnologie; 2004.
4. de Jong WH, Roszek B, Geertsma RE. Nanotechnology in medical applications: possible risks for human health. Bilthoven: RIVM; 2005: 265001002.
5. Roszek B, de Jong WH, Geertsma RE. Nanotechnology in medical applications: state-of-the-art in materials and devices. Bilthoven: RIVM; 2005: 265001001.
6. Bijker W, de Beaufort I, van den Berg, Borm PJA, Oyen W, Robillard G, Van Dijk H (2006) Betekenis Nanotechnologieën voor de gezondheid. Rapport 2006/06, Den Haag,
7. Baumgartner W, Jäckli B, Schmithüsen B, Weber F. Nanotechnologie in der Medizin. Bern: TA Swiss; 11-2003: TA 47/2003.
8. Malsch I. Benefits, risks, ethical, legal and social aspects of nanotechnology. Second Edition. NanoForum; 2005.
9. Wagner V, Wechsler D. Nanobiotechnologie II: Anwendungen in der Medizin und Pharmazie. Düsseldorf: Zukünftige Technologien Consulting, VDI Technologiezentrum GmbH; 2004.
10. Royal Society & Royal Academy of Engineering (2004). Nanoscience and Nanotechnologies. Opportunities and uncertainties. Londen: Royal Society & Royal Academy of Engineering.
11. Friends of the Earth (2007) Nanotechnology & Sunscreens: A consumer guide for avoiding nano-sunscreens. Available http://www.foe.org/nano_sunscreens_guide/Nano_Sunscreens.pdf.
12. Arnall AH (2003) Future technologies, today's choices. Greenpeace environmental trust, London, ISBN 1-903907-0505.
13. Senter Novem rapportage " Zicht op Nanotechnologie in Nederland 2002-2004"
14. Donaldson K, Tran L, Jimenez LA, Duffin R, Newby DE, Mills N, MacNee W, Stone V: Combustion-derived nanoparticles: a review of their toxicology following inhalation exposure. Part. Fibre Toxicol. 2005 ; 21, 2-10.
15. Borm PJ, Robbins D, Haubold S, Kuhlbusch T, Fissan H, Donaldson K, Schins R, Stone V, Kreyling W, Lademann J, Krutmann J, Warheit D, Oberdorster E. The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC. Part Fibre Toxicol. 2006 Aug 14;3:11.
16. Oberdorster G, Oberdorster E, Oberdorster J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. Environ Health Perspect. 2005 Jul;113(7):823-39. Review.
17. Oberdorster G, Sharp Z, Atudorei V, Elder A, Gelein R, Kreyling W, Cox C: Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. Inhal. Toxicol. 2004; 16, 437- 445
18. Calderon-Garciduenas L, Reed W, Maronpot RR. Brain inflammation and Alzheimer's-like pathology in individuals exposed to severe air pollution. Toxicol. Pathol. 2004: 32 (6), 650-658.

19. Cruts B, van Etten L, Tornqvist H, Blomberg A, Sandstrom T, Mills NL, Borm PJ. Exposure to diesel exhaust induces changes in EEG in human volunteers. Part Fibre Toxicol. 2008 Mar 11;5(1):4
20. Nel A, Xia T, Madler L, Li N. Toxic potential of materials at the nanolevel. Science 2006;311 (5761), 622-627.
21. Oberdörster G, Maynard A, Donaldson K, Castranova V, Fitzpatrick J, Ausman K, Carter J, Karn B, Kreyling W, Lai D, Olin S, Monteiro-Riviere N, Warheit D, Yang H; ILSI Research Foundation/Risk Science Institute Nanomaterial Toxicity Screening Working Group. Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. Part Fibre Toxicol. 2005 Oct 6;2:8.
22. Maynard AD, Aitken RJ, Butz T, Colvin V, Donaldson K, Oberdörster G, Philbert MA, Ryan J, Seaton A, Stone V, Tinkle SS, Tran L, Walker NJ, Warheit DB. Safe handling of nanotechnology. Nature. 444(7117):267-9.
23. Colvin VL. The potential environmental impact of engineered nanomaterials. Nat Biotechnol. 2003 Oct;21(10):1166-70. Erratum in: Nat Biotechnol. 2004 Jun;22(6):760.
24. SCENIHR (2007) Scientific committee on emerging and newly identified health risks (scenihr) opinion on The appropriateness of the risk assessment methodology in accordance with the technical guidance documents for new and existing substances for assessing the risks of nanomaterials, adopted on 21-22 June 2007 after public consultation.<http://ec.europa.eu/health/>
25. VCI and Dechema (2007). Environmental aspects of nanoparticles- with a priority list for the European 7th R&D Framework programme and national research programmes. 21 september 2007, communication.
26. Kim SC, Lee DK. Inactivation of algal blooms in eutrophic water of drinking water supplies with the photocatalysis of TiO₂ thin film on hollow glass beads. Water Sci Technol. 2005;52(9):145-52.
27. Borm PJ. Particle toxicology: from coal mining to nanotechnology. Inhal Toxicol. 2002 Mar;14(3):311-24. Review
28. SCENIHR. 2005. Request for a Scientific Opinion on the Appropriateness of Existing Methodologies to Assess the Potential Risks Associated with engineered and Adventitious Nanotechnologies. SCENIHR/002/05. Brussels: European Commission, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks.
29. Approaches to Safe Nanotechnology: An Information Exchange with NIOSH. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, National Personal Protective Technology Laboratory, Pittsburgh, PA. <http://www.cdc.gov/niosh>
30. RJ Aitken, KS Creely, CL Tran (2004). Nanoparticles: An occupational hygiene review. HSE Books, Norwich, ISBN 0 7176 2908 2.
31. BSI (2007) Nanotechnologies – PD 6699-2:2007, Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials. ISBN 978 0 580 60832 2
32. BaUa and VCI (2007). Guidance for Handling and Use of Nanomaterials at the Workplace. Berlin/Dortmund/Frankfurt, August 2007.
33. NanoSafe (2008) Efficiency of fibrous filters and personal protective equipment against nanoaerosols. Dissemination report January 2008, www.nanosafe.org
34. Schulte P, Geraci C, Zumwalde R, Hoover M, Kuempel E (2008) Occupational risk management of engineered nanoparticles. J Occup Environ Hyg. 5(4):239-49. Review.
35. Schmid K, Riediker M (2008) Use of nanoparticles in Swiss Industry: a targeted survey. Environ Sci Technology, in press.

36. Berg, P van den, Goetheer A, Visman R (2007) Aanvulling op Nanotechnologie rapport 2005 voor 200r 2005-2006. Beleidsinteractie rapport 2007-15.
37. Mikkers J, Brouwers DH, Haandel MJH (2007) Nieuwe arbeidsgebonden chemische gezondheidsrisico's van nanodeeltjes: een inventarisatie van de arbeidssituatie in Nederland. TNO rapport V6908, pp 15.
38. Gerritzen G, Huang LC, Killpack K, Mircheva M, Conti J (2006) A review of current practices in the Nanotechnology Industry. Phase two report: survey of current practices in the Nanotechnology workplace. ICON Report, available at <http://icon.rice.edu>, pp 125.
39. Tønning K, Poulsen M (2007) Nanotechnology in the Danish Industry. Danish Ministry of the Environment, Environmental project No. 1206-2007.
40. Helland A, Scheringer M, Siegrist M, Kastenholz HG, Wiek A, Scholz RW (2008) Risk assessment of engineered nanomaterials: a survey of industrial approaches. Environ Sci Technol 42: 640- 646.
41. The UK Voluntary Reporting Scheme for engineered nanoscale materials: fifth quarterly report. 22 December 2007, Department for Environment, Food and Rural Affairs.
42. Schneider et al (2007) Evaluation and control of occupational health risks of nanoparticles. TemaNord 2007: 581. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2007.
43. VCI (2008) Guidance for the Passing on of Information along the Supply Chain in the Handling of Nanomaterials via Safety Data Sheets, March 2008.
44. European Agency for Safety and Health at Work "Expert forecast on merging Chemical Risks related to Occupational Safety and Health".
45. Braun M, Winnink J (2007) Nanotechnologie. Beeld uit octrooiaanvragen (1995-2005). Cluster Kennisontwikkeling en Beleidsinteractie, pp. 24.
46. Friedrichs S, Schulte J. (2007) Environmental health and safety aspects of nanotechnology—implications for the R&D in (small) companies. Science and Technology of Advanced Materials 8:12–18.
47. Oakdene Hollins (2007) Environmentally beneficial Nanotechnologies- Barriers and Opportunities. A report for the Uk Department for Environment, Food and Rural affairs, pp. 95.

6. BIJLAGEN

6.1 VRAGENLIJST (Interview)

Interviews nano-project:

Versie 2.3

Datum 1 oktober 2007

Basisinformatie:

Datum interview:	
Bedrijf:	
Gesproken met:	

1. Inleiding

- a. Achtergrond project
- b. Doelstellingen project
 - i. Wat is het beeld in het werkveld van de risico's van (synthetische) nanodeeltjes en hoe gaat men hiermee om?
 - ii. Welke informatiebehoefte is er in het werkveld rondom risico's en beheersmaatregelen rondom dit onderwerp?
 - iii. Wat zijn goede praktijken en hoe kan informatie hierover het best worden verspreid?
- c. Afsluiting met workshops met aanbieders en vragers van kennis rondom het veilig werken met nanodeeltjes

2. Basisinformatie (voor zover niet confidentieel; geheimhoudingsverklaring) [onderzoeksvraag 1 SZW/VROM]

- a. Grootte van het bedrijf en aantal werknemers
 - i. MKB
 - ii. (onderdeel van) Multinational
 - iii. (onderdeel van) Onderzoeksinstituut/Universiteit
- b. Type nanobedrijf
 - i. Onderzoekslaboratorium
 - ii. Productielocatie
 - iii. Afnemer/verwerker van nanomaterialen
- c. Aard van de nanodeeltjes
 - i. Grootte (deeltjesgrootte bekend?; D_{50}):
 1. < 20 nm
 2. 20 – 50 nm
 3. 50 – 100 nm
 4. > 100 nm
 - ii. Samenstelling (checklijstje van meest gangbare toepassingen)
 1. Aluminiumoxide
 2. Carbon black
 3. Chroom(III)-oxide
 4. Kieselzuur
 5. Kleurpigmenten (organisch/anorganisch)
 6. Metaalpoeder
 7. Nikkeloxide

- 8. Pharmacologische toepassing
- 9. Polymeren
- 10. Silicaten (SiO₂)
- 11. Titaniumoxide
- 12. Vitaminen
- 13. IJzeroxide
- 14. Zinkoxide
- 15. Andere?
- iii. Toxiciteit
- iv. Vorm (stofvormig, vloeibaar, anders)
- v. In matrix of ongebonden?
- vi. Toepassingsdoel
 - 1. Coatings / oppervlakte behandeling
 - 2. Cosmetica
 - 3. Pigmenten (bijv verf)
 - 4. Poeder productie
 - 5. UV-bescherming
 - 6. Voedsel
- vii. Hoeveelheden

3. Bewustwording potentiële risico's van nanodeeltjes

- a. Worden nanodeeltjes als een mogelijk gezondheidsrisico gezien binnen het bedrijf?
- b. Welke informatiebehoefte bestaat er bij de deelnemer om verantwoord met nanodeeltjes te kunnen werken?
- c. Wanneer zijn nanodeeltjes geïdentificeerd als potentiële vorm van risico?
- d. Indien bekendheid met (potentiële) risico's: hoe zijn ze er achter gekomen?
- e. Welke informatie verstrekt de leverancier van nanodeeltjes over de potentiële risico's [*onderzoeksvraag 7 SZW/VROM*]
 - i. Incidenteel/structureel
 - ii. Relevantie van de informatie
 - iii. Is deze informatie gekwantificeerd?
 - iv. Is producent een Nederlands bedrijf?
- f. Werkgever: bewustwording en risicoperceptie
- g. Werknemers: bewustwording en risicoperceptie

4. Huidige beleid rondom risico's van nanodeeltjes [*onderzoeksvraag 2c SZW/VROM*]

- a. Op welk niveau wordt het beleid rondom veiligheid van nanodeeltjes vormgegeven?
 - i. Corporate niveau
 - ii. Lokale management (hoogste niveau?)
 - iii. Arbo-verantwoordelijke
- b. Onderdeel van de RI&E?
- c. Uitkomst van de RI&E?
- d. Communicatie over risico's intern (hoe?, hoe vaak?)
- e. Communicatie over risico's naar klanten (indien relevant) [*onderzoeksvraag 7 SZW/VROM*]

5. Potentiële blootstellingsmomenten

- a. Blootstelling bij welke werkzaamheden?

- b. Aard van de blootstelling bij deze werkzaamheden?
 - i. Aard van de nanodeeltjes (stofvormig, vloeibaar; zie ook hiervoor)
 - ii. Wijze van blootstelling (inhalatie, dermaal, oraal)
- c. Mate van blootstelling bij deze werkzaamheden (semi-kwantitatief)?
- d. Duur en frequentie van blootstelling bij deze werkzaamheden?
- e. Hoeveel werknemers blootgesteld?

6. Beschikbare metingen naar nanodeeltjes (relevant?)

- a. Ooit metingen uitgevoerd?
- b. Hoe vaak (éénmalig, periodiek)?
- c. Meetmethode (welke deeltjesfractie gemeten)
 - i. Gravimetrisch?
 - ii. Impactoren?
 - iii. Condensatietellers?
 - iv. Andere?
- d. Uitkomst (risico-oordeel, conclusie)?

7. Huidige maatregelen om blootstelling te beheersen [onderzoeksvraag 2a SZW/VROM]

- a. (Worden er nog maatregelen genomen om de toxiciteit te beheersen)? [onderzoeksvraag 2b SZW/VROM]
- b. Welke organisatorische maatregelen?
 - i. Scheiding bron, mens
 - ii. Beperking blootstellingsduur
- c. Welke technische maatregelen (mede afhankelijk van blootstellingsvorm: stof/vloeistof)?
 - i. Gesloten systemen, luchtsluizen, drukverschillen?
 - ii. Natbereiding?
 - iii. Afzuiging, filters?
 - 1. Filtertype?
 - 2. Retourlucht mo gelijk?
 - 3. Filters verwisselen (hoe vaak, door wie, maatregelen)?
 - iv. Persoonlijke beschermingsmaatregelen (inademing, dermaal)?
- d. Onderbouwing van de technische maatregelen?
- e. (Medische screening als onderdeel risicomanagement)?
- f. Effectiviteit van de set van maatregelen? [relatie met onderzoeksvraag 4 SZW/VROM]
- g. Indien geen maatregelen, wat zijn de overwegingen om geen (verdere) blootstellingsbeperkende maatregelen te nemen? [onderzoeksvraag 3 SZW/VROM]

8. Wat gebeurt er met nanodeeltjeshoudend afval? [onderzoeksvraag 8 SZW/VROM]

- a. Is er nanodeeltjes-houdend afval binnen het bedrijf?
- b. Wordt dit apart gekwalificeerd?
- c. Wordt dit verder verwerkt?
- d. Wordt er nog gezondheids- en veiligheidsinformatie uitgewisseld m.b.t. dit afval?

9. Hoe intensief wordt de berichtgeving over mogelijke risico's van nanodeeltjes gevolgd? [onderzoeksvraag 6 SZW/VROM]

- a. Hoe vaak een update van kennis?

- b. Op welke wijze?
- c. Via welke kanalen?

10. Kent u andere bedrijven in uw sector die (synthetische) nanodeeltjes gebruiken of produceren?

11. Heeft u interesse om deel te nemen aan de workshop in januari?

- a. Uitleg doel en opzet
- b. Datum

12. Wilt u in de toekomst nog eens meewerken aan dit of vergelijkbaar onderzoek?

6.2 DEELNEMERS AAN HET ONDERZOEK

Artikona Supplies Maastricht
Anoniem 1^a
Corus Ceranic Centre
DAF Trucks
Drost Coating
DSM research
Encapson
FEI
Fuji Tilburg
Magnamedics Diagnostics BV
Koninklijke Mosa NV
Nano specials-Krya materials
NanoCoating Europe BV i.o
NanoTie
NXP
Oce-Technologies B.V.
Organon
SABIC
Schaepman Lakken
Sentron Europe BV
Solenne BV
Sirris
TC Advanced composites
Tejin Aramid BV
Ten Cate textiel
Anoniem 2^a
Yageo Europe BV
DelftChemTech
Hogeschool Zeeland
Hogeschool Zuyd
NanoLab Nijmegen
TNO Eindhoven
TU Eindhoven
TU Twente-MESA+
Zernike, prof.dr Palstra
Zernike, prof. Rudolf
TNO Industrie & Techniek

a) Twee bedrijven hebben uitdrukkelijk verzocht om niet met naam in dit rapport vermeld te staan, en deze zijn gekenmerkt met Anoniem 1 en 2.

Nanomaterials at the Workplace: best practices Workshop 24th January 2008, Eindhoven (NL)

PROGRAM WORKSHOP BEST-PRACTICES NANOMATERIALS

12.00 – 12. 30 uur	Welcome
12.30 – 12:45 uur	Opening and targets of the workshop Prof.dr. Paul Borm, director of CEL and supervisor of the Survey on Nanomaterials
12.45 – 13.15 uur	Sampling and and measurement of ultrafine particles in workplace air. Possibilities and limitations Dr. Thomas Kuhlbusch, IUTA e.V, Duisburg (Germany)
13:15 – 13: 30	<i>Plenary questions</i>
13.30 – 14:00 uur	A glance into DuPont's Stewardship program on Nanoscale science & engineering and Nanoparticle Occupational Safety & Health Consortium. Mr Keith Swain, Sr Consultant HSE Dupont, Wilmington, Delaware (USA)
14.00 – 14:15 uur	<i>Plenary questions</i>
14.15 – 14: 30	DSM's workplace safety approaches for nanoscale materials. ir. Fenneke Linker, Manager Occupational Hygiene & Toxicology, DSM, Geleen (NL)
14.15 – 14: 45	Short break and organization into sub-groups
14.45 – 17:00	General discussion and exchange of information

A short report by Paul J.A. Borm

Background

The centre of Expertise in Life sciences (CEL) in collaboration with ArboUnie and DSM Arbodienst are conducting a survey in the Netherlands to explore which nanomaterials are used in Dutch Industry and Research, and which best-practices for worker protection are being used. In addition, the survey focuses on the fate of nanomaterial waste and the operating procedures on nanomaterials.

During the first 5 months of interviews it was apparent that most users and/or producers of nanomaterials had a distinct need to know whether their procedures were state of the art, or subject to improvement. This was the reason to organize a workshop in best practices, with the primary target to exchange information on best-practices in research and engineering of nanoscale materials with experts or in a business-to-business environment. The event was organized in a week where the Dutch FNV Union released a press-communication about lack of know-how on this issue (Trouw, January 21st) and questions in parliament were asked about this matter. The week before several consumer organizations announced a boycott of products with nanoparticles in it.

Outcomes

After setting the stage and background for this workshop by *Paul Borm*, presentations were given by three experts. *Thomas Kuhlbusch*, discussed the value of current particle measurement technique developments, measurements of Nanoparticles and ultrafine particles at different working places, identification of their sources, as well as chemical and physical characterization for toxicological studies



After that *Keith A. Swain* (Senior Consultant Safety, Health and Environmental (SHE) at DuPont presented DuPont's Nanoscale Science & Engineering Safety, Health and Environmental Stewardship policies, procedures and practices. He also shared the major outcomes of the Nanoparticle Occupational Health & Safety Consortium (NOSH) which was started in 2004 to resolve a number of questions on best-practices in industrial hygiene measures to work with unbound nanoparticles. The Nano Risk Framework helps DuPont to refine management procedures and identify questions for nano applications before commercialization. Until valid EHS data is obtained, DuPont operates based on the very conservative assumption that all samples are potentially hazardous. DuPont uses written Standard Operating Procedures (SOPs), facilities w/engineering controls, work practices and PPE for all ultrafine powder handling and clean up, with risk mitigation safeguards developed over long experience with highly hazardous materials

Mrs. Fenneke Linker, Manager Occupational Hygiene & Toxicology at DSM (Geleen, NL) elucidated the working policies with nanomaterials within DSM. This procedure

includes specific guidelines on nanomaterials, and the intention to develop a sustainable Nanotechnology. Both Dupont and DSM have an active, transparent policy with regard to internal and external communication of risks. Both companies are active in international gremia (ISO, ICON etc) and have well-defined procedures for handling of Nanotechnology. As it appeared it there is now lots of information available on best-practices with regard to nanomaterials, and these can be best accessed through the websites of HSE, NIOSH and Woodrow-Wilson.

Philippe LeCourt (Sirris-Luik, Belgium) finally showed briefly how nanopowder production is done in his company at low-scale with plasma torch, with batch sizes up to 10 kg of new materials. An extensive system of under pressure cabins, separate ventilation and waste recycling was build recently to enable this production. The model was actually taken from pharmaceutical industry, i.e. production of vaccines and its quality control.

The NOSH program

Existing ventilation equipment has been tested rigorously in the NOSH program, and HEPA filters appear to function quite well in line exhaust filtration system is effective in trapping aerosolized powders. Disposable respirator with P100 HEPA Filter media are recommended for broad applications, and where applicable disposable Personal Protective Equipment is recommended. Some insights from their research, which will be made available soon:

- Test methods to measure filtration efficiency of commercially available media to aerosol nanoparticle exposure have been developed.
- Prolonged usage beyond manufacturers recommended lifetime of filter media may reduce filtration efficiency, e.g. stored overnight, though still performing to stated efficiency.
- Increasing relative humidity appears to enhance particle capture of filter media in the range 0 – 20% RH.
- Aerosol particles $dp > 40\text{nm}$ may not behave as gases.
- Smaller particles $dp < 20\text{nm}$ can be made to aggregate by placing obstructions in the aerosol pathway.
- Bulk powder can become aerosolized, via drop test. Size range was 0 – 900nm and a significant portion was $< 100\text{nm}$.

Measurement devices for nanoparticles

Property	Sampling	Instrumentation Analysis	Conti.	Personal/ Portable
Number concentration		CPC / CNC	Yes	Yes
Number size distribution		SMPS, FMPS	Yes	No (Yes)
Sum of diameter ($d^{1.3}$)		EAD	Yes	No
Surface area concentration*		LQ 1 DC	Yes	Yes
Surface area deposited in different regions of lung		NSAM	Yes	Yes
Size dependent chemical composition		AMS	Yes	No
Hygroscopic growth		Tandem DMA/SMPS	Yes	No
(relative) Number size distr. morphology, chemistry	Thermal precip. ESP / NAS	SEM, EDX, ESCA	No	Yes