

Om het kleine te waarderen...

**Een schets van nanotechnologie:
publiek debat, toepassingsgebieden
en maatschappelijke aandachtspunten**

© Rathenau Instituut, Den Haag, 2004

Rathenau Instituut
Koninginnegracht 56
Correspondentieadres:
Postbus 85525
2508 CE Den Haag

Telefoon 070 - 342 15 42
Fax 070 - 363 34 88
E-mail info@rathenau.nl
Website www.rathenau.nl

Uitgever: Rathenau Instituut
Eindredactie: Rathenau Instituut
Basisvormgeving: Hennie van der Zande, Amsterdam
Opmaak: Henny Scholten, Amsterdam
Grafische productie: Herbschleb & Slebos, Monnickendam
Pre-press en druk: Meboprint, Amsterdam
Bindwerk: Meeuwis, Amsterdam
Vertaling Summary: English Text Company, Den Haag

Dit boek is gedrukt op kringlooppapier

Eerste druk: maart 2004

ISBN 90 77364 05 6

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:
Est, Rinie van, Ineke Malsch & Arie Rip. *Om het kleine te waarderen... Een schets van nanotechnologie: publiek debat, toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten*. Den Haag: Rathenau Instituut, 2004; Werkdocument 93.

Preferred citation:
Est, Rinie van, Ineke Malsch & Arie Rip. *Om het kleine te waarderen... Een schets van nanotechnologie: publiek debat, toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten*. Den Haag: Rathenau Instituut, 2004; Working document 93.

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie of op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Rathenau Instituut.

No part of this book may be reproduced in any form, by print, photo-print, microfilm or any other means without prior written permission of the holder of the copyright.

Om het kleine te waarderen...

**Een schets van nanotechnologie:
publiek debat, toepassingsgebieden
en maatschappelijke aandachtspunten**

Auteurs:

dr.ir. Rinie van Est

drs. Ineke Malsch

prof.dr. Arie Rip

Projectleider:

dr.ir. Rinie van Est

Bestuur Rathenau Instituut

drs. W.G. van Velzen (voorzitter)

mw. prof.dr. I. de Beaufort

mr. dr. P.W. Kwant

mw. dr. B.E.C. Plesch

mw. mr. J.A. Schaap

prof.ir. E.J. Tuininga

prof.dr. W. van Vierssen

dr. D. van Zaane

Voorwoord

Tijdens het afgelopen decennium is 'nanotechnologie' uitgegroeid van een onbekend begrip tot een speerpunttechnologie (naast bijvoorbeeld ICT en genomics) die in de meeste westerse landen omvangrijke overheidssteun krijgt. Nederland investeert de komende jaren bijvoorbeeld 125 miljoen euro extra aan publieke gelden in nanotechnologie. Ondanks de fikse inspanningen op dit gebied heeft het grote publiek geen idee wat nanotechnologie is, laat staan dat het zich daarover een mening heeft gevormd. Dat geldt niet alleen voor de gewone burger. Op dit moment staat menig politicus, ambtenaar en sociaal wetenschapper die zich beroepshalve met technologie bezighoudt vrijwel onwetend tegenover nanotechnologie. Grote investeringen gaan aldus hand in hand met een gebrek aan kennis over de technische, economische en maatschappelijke betekenis van nanotechnologie.

Om deze kennislacune enigszins op te vullen heeft het Rathenau Instituut de oriënterende studie *Om het kleine te waarderen...* uitgevoerd. Deze studie beschrijft vanuit internationaal perspectief het publieke debat dat in verschillende landen over nanotechnologie wordt gevoerd en geeft een overzicht van de Technology Assessmentactiviteiten die op dit gebied in andere landen reeds zijn verricht. 'Nanotechnologie' is een paraplueterm voor een brede technologische trend, waarbinnen diverse ontwikkelingen plaatsvinden. Deze notitie beschrijft tal van relevante toepassingsgebieden. Op die manier wordt aan de lezer een divers beeld geschetst van wat nanotechnologie is. Per toepassingsdomein worden maatschappelijke aandachtspunten genoemd en wordt gekeken in hoeverre deze issues nieuw zijn of aansluiten bij bestaande maatschappelijke discussies.

Om het kleine te waarderen... levert daarmee een eerste conceptagenda voor een Nederlandse publieke discussie over nanotechnologie. Het stuk wordt als achtergrondnotitie gebruikt bij de voorbereiding van een publieke hoorzitting over nanotechnologie die het Rathenau Instituut voor of net na de zomervakantie van 2004 zal organiseren. Het doel daarvan is te komen tot een breed gedragen publieke agenda, op basis waarvan verdere debat- of onderzoeksactiviteiten op het gebied van nanotechnologie worden vastgesteld.



Mr. drs. Jan Staman
Directeur Rathenau Instituut

Inhoud

Voorwoord	5
Samenvatting	9
Inleiding	15
1 Publieke discussie	21
1.1 De Nieuwe Wereld – Noord-Amerika	21
1.2 De Oude Wereld – Europa	24
2 TA en nanotechnologie	27
3 Nanotechnologie in Nederland	31
4 Toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten	33
4.1 Gezondheidseffecten van nanomaterialen	34
4.2 Nano-elektronica	36
4.3 Bio-elektronica	39
4.4 Nanotechnologie (en gentechnologie) in medische en farmaceutische sfeer	44
4.5 Militaire technologie	49
4.6 Andere toepassingsgebieden	51
4.7 Overzicht van maatschappelijke aandachtspunten	53
5 Een nuchtere visie op nanotechnologie als inzet voor het maatschappelijk debat	57

Summary	63
Literatuur	69
Noten	75
Over de auteurs	83

Samenvatting

Het Rathenau Instituut verkent de behoefte aan een maatschappelijk debat over nanotechnologie. *Om het kleine te waarderen...* is een oriënterende studie waarin een overzicht wordt gegeven van de huidige internationale publieke discussie, toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten van nanotechnologie.

Definities van nanotechnologie

Er bestaat op dit moment geen eenduidige, algemeen gebruikte definitie van nanotechnologie. Alle definities verwijzen wel naar de schaal van de technologie. Nanotechnologie werkt op nanoschaal, dat wil zeggen op afmetingen van onder de honderd nanometer in ten minste één dimensie (een nanometer (nm) = een miljardste meter). Sommige definities refereren aan nieuwe verschijnselen en materiële eigenschappen die zich openbaren op nanometerschaal. Anderen verwijzen naar de manier (top-down en bottom-up) waarop producten op die schaal worden gemaakt. Top-down verwijst naar het bereiken van nanoschaal door verkleining. Bottom-up verwijst naar processen op nanoschaal die bestudeerd worden en tot nieuwe verschijnselen en producten leiden.

Publieke discussie

Het publieke debat over nanotechnologie staat duidelijk nog in de kinderschoenen. Dit debat wordt op gang gebracht door een combinatie van sterke groei van publieke financiering en patenten, hoge wetenschappelijke verwachtingen en daaraan gekoppeld maatschappelijke wensen en zorgen. Deze ontwikkelingen trekken steeds meer de aandacht van de media, investeerders, belangengroepen, enzovoorts. Sommigen spreken zelfs van een hype.

Het debat over de maatschappelijke implicaties van nanotechnologie is in Noord-Amerika het verst gevorderd. In 2003 is in de Verenigde Staten de *21st Century Nanotechnology R&D Act* ingevoerd, die onder meer om onderzoek vraagt om sociale en ethische aspecten te signaleren. Tijdens de voorbereiding van deze wet is een hoorzitting gehouden over de maatschappelijke aspecten van nanotechnologie.

In de loop van 2003 heeft de publieke discussie over nanotechnologie in Europa een sterke impuls gekregen. Het rapport *The Big Down* van de Canadese milieuorganisatie ETC Group heeft daarbij een initiërende rol gespeeld. Dit rapport stelt het gebrek aan kennis over de gezondheidseffecten van nanodeeltjes aan de kaak. Daarnaast heeft het aandacht voor de convergentie van nanotechnologie, biotechnologie, informatietechnologie en cognitieve wetenschappen, afgekort als NBIC. De idee van technologische convergentie leidt enerzijds tot allerlei 'optimistische' toekomstbeelden met ongekende technologische mogelijkheden en anderzijds tot doemscenario's. Het meest bekende is het zogenaamde *Grey Goo*-scenario, waarin zelfreplicerende nanorobots in het milieu ontsnappen en alle levende materie omzetten in dode 'grijze massa'.

Dit scenario kreeg in Groot-Brittannië veel media-aandacht toen prins Charles in april 2003 zijn zorgen uitsprak over nanotechnologie. Hierdoor aangespoord heeft de Britse regering de Royal Society en de Royal Academy of Engineering gevraagd de mogelijke voordelen en problemen te onderzoeken die samenhangen met nanotechnologie. De studie werd aangekondigd op 11 juni 2003, de dag waarop de ETC Group tezamen met de Groenen in het Europese Parlement een seminar over bovengenoemd onderwerp organiseerde. Daarmee arriveerde de publieke discussie over de maatschappelijke consequenties van nanotechnologie in het 'continentale' Europa.

Nanotechnologie in Nederland

In Nederland investeert de overheid fiks in nanowetenschap. Dit gebeurt vooral in het kader van het grootschalige onderzoeksprogramma NanoNed en de voorloper daarvan, NanoImpuls. De publieke discussie in Nederland is vooralsnog gericht op kennisnemen van wat er gaande is en wat de verwachtingen zijn. De media tonen nog weinig interesse.

Aangespoord door de ontwikkelingen in Groot-Brittannië is, op verzoek van de minister van OCW, in het najaar van 2003 de KNAW-werkgroep Gevolgen Nanotechnologie ingesteld om de stand van zaken en toekomstige ontwikkelingen en maatschappelijke gevolgen van nanotechnologie te inventariseren. Op basis van de rapportage van deze werkgroep zal de minister bezien of het wenselijk is om verdere stappen te zetten, zoals een verzoek aan het Rathenau Instituut om zorg te dragen voor materiaal waarmee een maatschappelijk debat over nanotechnologie op gang gebracht kan worden.

Toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten

Gezondheidseffecten van nanomaterialen

Het meest actuele onderwerp in de discussie rondom nanotechnologie betreft de veiligheid van nanodeeltjes voor milieu en mens. De aandacht voor deze problematiek neemt internationaal toe.

Nano-elektronica en privacy

Al ruim dertig jaar worden elektronische apparaten kleiner, goedkoper, sneller en 'slimmer'. Deze tendens staat bekend als de wet van Moore. Spraken we in de jaren zeventig van de opkomst van de micro-elektronica, op dit moment ontwikkelt de relevante technologie zich op het grensvlak van micro- en nanotechnologie richting nano-elektronica. Deze ontwikkeling roept een beeld op dat in de toekomst computers zo klein zullen zijn dat mensen ze vierentwintig uur per dag zullen dragen, en dat de meeste producten (van sleutels tot broeken en auto's) intelligentie zullen bevatten. Producten en mensen zijn in dit zogenoemde *ambient intelligence*-scenario voortdurend online, en wereldwijd aan elkaar gekoppeld door draadloze communicatie. Dergelijke uitgebreide technische mogelijkheden tot detectie, lokalisatie en communicatie hebben duidelijk privacy-implicaties en consequenties voor veiligheid, economie, scholing, werkgelegenheid, verantwoordelijkheden en rollen, enzovoorts.

Bio-elektronica en maakbaarheid van mensen

De bio-elektronica richt zich op de ontwikkeling van elektronische zintuigen en de koppeling van zenuwcellen en elektronica. De snelle ontwikkeling – vooral miniaturisatie – op het terrein van chips levert uitzicht op een breed scala van toepassingen, zoals de verkleining van pacemakers, bionische ogen en behandeling van dwarslaesie. Er wordt gespeculeerd over de directe koppeling van hersenfuncties aan chips en zelfs het internet. Dit soort ontwikkelingen roept ethische vragen op over de maakbaarheid van de mens (de relatie tussen mens en machine) en de grens tussen leven en niet-leven.

Nanotechnologie (en gentechnologie) in medische en farmaceutische sfeer

De medische wereld – van onderzoek, ontwikkeling en diagnose tot het toedienen van medicijnen en het volgen van de gezondheidstoestand van de mogelijke toekomstige patiënt – wordt overspoeld door innovaties. Die innovaties hebben hun oorsprong in de groeiende kennis van het menselijk genoom en het vervolg van *genomics* in *proteo-*

mics, en de binnen dat onderzoeksgebied ontwikkelde technieken zoals DNA-chips en *lab-on-a-chip*-systemen. Voor het vervaardigen van dergelijke chips is micro- of nanotechnologie nodig. Nanotechnologie speelt ook een rol bij het ontwikkelen van *drug delivery systems* of het maken van contrastvloeistoffen die het mogelijk maken om ziekteprocessen op moleculair niveau in beeld te brengen. Voor het laatste wordt ook gebruikgemaakt van zogenaamde biomarkers, die via genomics- en proteomicsonderzoek in snel tempo worden ontdekt. Deze ontwikkelingen roepen vragen op die bekend zijn uit de discussie over 'voorspellende geneeskunde'. Belangrijke aspecten zijn: aanvaardbaarheid van vroege diagnostiek bij gebrek aan therapie, betaalbaarheid, recht op niet-weten, gevolgen voor relaties, misbruik van genetische informatie. Nanotechnologie vergroot de mogelijkheden en jaagt in die zin de discussie verder aan.

Militaire technologie

Staatsveiligheid is een voorname drijvende kracht achter de ontwikkeling van nanotechnologie in de Verenigde Staten. Ook in Europa investeren verschillende landen, zoals Groot-Brittannië en Zweden, in defensietoepassingen van nanotechnologie. Een van de uitdagingen is nanotechnologie in te zetten voor de detectie van en bescherming tegen chemische en biologische wapens, radioactieve straling en explosieven. Nanotechnologie kan ook ingezet worden voor de verdere invulling van het concept van de onbemande oorlog, dat een nieuwe fase in lijkt te gaan met de ontwikkeling van autonome gevechtssystemen of zogenoemde *killer robots*. Daarnaast wordt nanotechnologie aangewend om de veiligheid en prestaties van gevechtssoldaten te verhogen. Deze ontwikkeling roept tal van vragen op, zoals vragen omtrent nieuwe wapens en een nieuwe wapenwedloop, ethiek van de onbemande oorlog en de maakbaarheid van mensen.

Een nuchtere visie op nanotechnologie als inzet voor een maatschappelijk debat

De combinatie van een beloftevolle technologie en gebrek aan publieke kennis over de maatschappelijke implicaties daarvan kan leiden tot publiek wantrouwen en oppositie. Een publieke discussie over nanotechnologie is van belang om een breed publiek op de hoogte te stellen van ontwikkelingen op dit gebied en maatschappelijke aspecten daarvan zichtbaar te maken.

Het Rathenau Instituut doet zeven samenhangende voorstellen om de publieke discussie over nanotechnologie te verbreden, verrijken en verdiepen:

- Bied in het debat ruimte aan speculaties en nuchterheid;
- Zet in het debat maatschappelijke wensen en zorgen centraal;
- Om dat te verwezenlijken zijn continue, open interacties tussen overheid, wetenschap, bedrijfsleven en overige maatschappelijke actoren van groot belang;
- Voer het debat over nanotechnologie per toepassingsgebied;
- En niet los van bestaande internationale technologische trends en maatschappelijke discussies;
- Wees je er daarbij van bewust dat nanotechnologie zowel nieuwe als oude issues oplevert;
- Ten slotte: werk op korte termijn toe naar een breed gedragen publieke agenda.

Om een bijdrage te leveren aan de totstandkoming van een breed gedragen publieke agenda op basis waarvan de publieke discussie over nanotechnologie verder richting, vorm en inhoud gegeven kan worden, is het Rathenau Instituut van plan om voor of kort na de zomervakantie van 2004 een publieke hoorzitting te organiseren. *Om het kleine te waarden...* wordt gebruikt als achtergrondnotitie bij de voorbereiding van die publieke hoorzitting. Deze notitie biedt een eerste conceptagenda voor een publieke discussie. Het betreft dus 'werk in uitvoering'. De lezer wordt daarom van harte uitgenodigd in de aanloop naar de hoorzitting commentaar te geven en aanvullende informatie te leveren aan de auteurs.

Inleiding

"Nanotechnology cannot be defined in terms of dimensions alone. In fact, it represents a convergence of the traditional disciplines of physics, chemistry and biology at a common research frontier."
Philippe Busquin (2000), Europese Commissaris Onderzoek

Nanos is een Oudgrieks woord dat 'dwerg' betekent. 'Dwergtechnologie' verwijst naar elke technologie die werkt op nanoschaal, dat wil zeggen op afmetingen van onder de honderd nanometer in ten minste één dimensie (een nanometer (nm) = een miljardste meter). Het ontstaan van nanotechnologie hangt samen met twee ontwikkelingen: de langlopende trend van verkleining en miniaturisering die 'top-down' in de richting van de nanoschaal gaat, en verschillende nieuwe mogelijkheden op nanoschaal, zoals supramoleculaire zelforganisaties, *scanning probe*-microscopen, *quantum dots*, nieuwe (reusachtige) magnetische weerstanden die 'bottom-up' tot nieuwe verschijnselen leiden. In de loop van de jaren negentig is het etiket nanotechnologie geëvolueerd van een curiosum naar een gebied dat omvangrijke steun krijgt van regeringen, zoals in het National Nanotechnology Initiative in de Verenigde Staten en NanoNed in Nederland. Nanotechnologie wordt nu gezien als een belofte, al zijn er ook zorgen om mogelijke risico's, waardoor sommigen een maatschappelijke discussie wenselijk wordt achten.

Nanotechnologie is dus niet zonder meer een apart gebied van onderzoek en ontwikkeling, al wordt zij in overheidsprioritering en -financiering wel zo opgevoerd. Nanotechnologie is een paraplueterm voor een brede technologische trend, waarbinnen diverse ontwikkelingen plaatsvinden. Dit blijkt ook uit de moeilijkheid om een eenduidige definitie van nanotechnologie te geven (zie kader).

Definities van nanotechnologie

Er bestaat op dit moment geen eenduidige, algemeen gebruikte definitie van nanotechnologie (Decker 2003). Verschillende definities zijn in omloop. Alle definities verwijzen expliciet naar de schaal van de technologie. In de begrippenlijst van www.nanoforum.org bijvoorbeeld wordt nanotechnologie gedefinieerd als "areas of technology where dimensions and tolerances in the range of 0.1 nm to 100 nm play a critical role".

Sommige definities refereren aan nieuwe verschijnselen en materiële eigenschappen die zich openbaren op nanometerschaal. Andere verwijzen naar de manier waarop producten worden gemaakt. Het onderscheid tussen de zogenaamde bottom-up- en top-down-aanpak is daarbij van belang. Top-down verwijst naar het bereiken van nanoschaal door verkleining, o.a. het steeds fijner bewerken en afwerken van materialen (Wolde 1998). Verdergaande miniaturisering maakt dan de overgang mogelijk van microsystemen naar nanosystemen. Van nu al bestaande mems (micro-elektromechanische systemen) gaat men dan naar nems (nano-elektromechanische systemen). Bottom-up verwijst naar processen op nanoschaal die bestudeerd worden en tot nieuwe verschijnselen en producten leiden, van quantum dots tot het direct manipuleren van atomen. 'Shaping the world atom by atom' is een van de slogans, en sommigen spreken van molecular manufacturing. Dat betreft de synthese (bottom-up) van nanostructuren met precieze beheersing van de driedimensionale positie van individuele atomen en moleculen.¹ De top-downbenadering sluit aan bij ontwikkelingen in de mechanica en elektronica en de microsysteemtechnologie. De bottom-upbenadering heeft zijn wortels in de kwantumfysica, chemie en tot op zekere hoogte biologie. Het samenkomen van de top-down- en bottom-upaanpak op de nanometerschaal brengt tevens de verschillende vakgebieden bij elkaar. Met zijn definitie van nanotechnologie (zie begincitaat) verwijst Europees Commissaris Philippe Busquin naar die convergerende ontwikkeling.

Definities worden meestal gegeven met een specifiek doel voor ogen. De definitie die bijvoorbeeld Busquin hanteert, is een definitie van een Europese politicus die niet alleen de convergentie van vakgebieden signaleert, maar deze ook wil stimuleren. De definitie die gehanteerd wordt bakent het object van onderzoek en discussie af en geeft zodoende aan waar men wel, maar ook waar men niet over mag praten. Ook de definitie van nanotechnologie die in dit stuk wordt gehanteerd is niet neutraal en zal daarom ook niet onomstreden zijn. Daarom maken we graag expliciet welke definitie we gebruiken en met welk doel. Ons doel is een breed algemeen publiek kennis te laten nemen van ontwikkelingen in de wetenschap die gerelateerd kunnen worden aan nanotechnologie. Daarmee willen we het debat over maatschappelijke aspecten van die nieuwe inzichten en technologische ontwikkelingen stimuleren. Het gaat er daarbij vooral om zicht te krijgen op nieuwe toepassingen of de mogelijkheid dat bestaande toepassingen massaal gebruikt zullen gaan worden. We hanteren daarom een brede definitie van nanotechnologie, die niet vereist dat er sprake is van nieuwe verschijnselen en die ook top-downaanpakken meeneemt, al is het strikt genomen geen nano-technologie, omdat de nanoschaal nog niet bereikt is.

Met het schaalniveau gaan we dus vanuit maatschappelijk perspectief pragmatisch om. Neem bijvoorbeeld de ontwikkeling van micro- naar nano-elektronica. Het kleiner worden van elektronische systemen is al vier decennia aan de gang. Dit leidt tot steeds verdere toepassingen en vooral tot het goedkoper worden en daarmee samenhangend de bredere maatschappelijke inzetbaarheid van die technologie. Later in deze notitie zal Smart Dust besproken worden; dit zijn simpele computers met sensoren en communicatietechnologie ter grootte van enkele kubieke millimeters. Het is voor een discussie over de maatschappelijke aspecten van Smart Dust niet zo relevant of het hier gaat om microtechnologie, microtechnologie met nanodetails, of echt nanotechnologie. De technologie ontwikkelt zich namelijk op dit moment op het grensvlak tussen nano- en microtechnologie. Een pragmatische omgang met de schaal van de technologie heeft tevens als voordeel dat nieuwe technologische ontwikkelingen in verband gebracht kunnen worden met ontwikkelingen die al langer aan de gang zijn. Wij willen graag dergelijke ontwikkelingen richting nanotechnologie signaleren en onder de aandacht brengen van een breder publiek.

Belang van maatschappelijk debat

“2003 was the year when nanotechnology collided with the real world. It was a painful collision, bringing prophecies of doom, fears of hidden dangers and calls for a moratorium on nanoscience.”

Philip Ball (2003), consultant editor van *Nature*

De technische mogelijkheid om biologische en niet-biologische structuren op nanoschaal te bestuderen of te maken, leidt nu al tot nieuwe wetenschap, nieuwe producten (zoals platte beeldbuizen, vuilafstotende wasbakken en DNA-chips) en economische en maatschappelijke droom- en doembeelden. Bij die laatste spelen vooral de projecties over een convergentie van nanotechnologie, biotechnologie, informatietechnologie en cognitieve wetenschappen (afgekort als NBIC) een rol van betekenis. De huidige sterke ontwikkeling van genomics dankzij bio-informatica is daar een voorbeeld van. De ontwikkeling van nanotechnologie levert verdere mogelijkheden voor de intersectie tussen informatie- en biotechnologie en versnelt en verhevigt de convergentie. De fysieke ‘nanowereld’ met chips en instrumenten die medicijnen afleveren, maakt contact met de biologische ‘nanowereld’ van moleculen, zenuwcellen en moleculaire ‘machines’, zoals het ribosoom, een cellulair orgaan waarop eiwitten aangemaakt worden. Tot en met speculaties over versterking (*enhancement*) van menselijke capaciteiten in de vorm van cyborgs en zelfreproducerende robots ter grootte van een bacterie, zogenoemde nanobots.

Het gaat vaak om speculaties, om science fiction. Maar speculaties kunnen ontwikkelingen sturen. Een voorbeeld is dat militair strategen rekening willen houden met de mogelijkheid dat zulke technologie inderdaad gerealiseerd wordt, en daarom zelf investeren in de ontwikkeling van de technologie. Ook in de civiele sfeer zijn nationale overheden bereid te investeren in nanotechnologie om niet achter te raken in wat mogelijk de centrale technologie van de eenentwintigste eeuw wordt.

Op dit moment hebben politici, ambtenaren en sociaal wetenschappers die zich beroepshalve met technologie bezighouden, nog weinig kennis van de technische mogelijkheden en maatschappelijke aspecten van nanotechnologie. Dit geldt in nog sterkere mate voor het brede publiek. Verschillende Canadese ethici waarschuwen voor het gebrek aan aandacht voor de ethische, juridische en maatschappelijke implicaties van nanotechnologie (Mnyusiwalla et al. 2003). De mix van technologische beloften en speculaties en een gebrek aan publieke kennis over maatschappelijke implicaties van nanotechnologie kan volgens sommige commentatoren mogelijk leiden tot "enorme publieke achterdocht en oppositie" (Ball 2003). Daarbij wordt steeds de vergelijking gemaakt met het debat over biotechnologie. De ontwikkelingen op het gebied van nanotechnologie vragen zodoende om maatschappelijke reflectie en interactie tussen diverse partijen tot en met open publieke discussies. Dergelijke reflecties en debatten beginnen nu in verschillende landen zichtbaar te worden.

Inhoud

Een eerste doel van deze notitie is om een momentopname te geven van opkomende debatten. Hoofdstuk 1 geeft een indruk van de huidige activiteiten en publieke discussie in Noord-Amerika en Europa. Hoofdstuk 2 beschrijft op welke wijze de internationale Technology Assessmentgemeenschap aandacht heeft voor nanotechnologie. Hoofdstuk 3 geeft de situatie in Nederland op het gebied van nanotechnologie kort weer.

Een tweede doel van deze oriënterende studie is een aantal toepassingsgebieden van nanotechnologie en daaraan gerelateerde maatschappelijke aspecten te presenteren. Dit gebeurt in hoofdstuk 4. Daarmee wordt een eerste conceptagenda geschetst voor een publieke discussie over de maatschappelijke consequenties van nanotechnologie.

Het laatste hoofdstuk doet een aantal voorstellen om de maatschappelijke discussie over nanotechnologie te verdiepen en te verrijken. We hopen dat daarmee de maatschappelijke discussie over nanotechnologie verder richting, vorm en inhoud kan worden gegeven. Het Rathenau Instituut wil daaraan graag een bijdrage leveren en is van plan om

voor of net na de zomervakantie van 2004 een publieke hoorzitting over nanotechnologie te organiseren. Het doel daarvan is te komen tot een breed gedragen publieke agenda, op basis waarvan verdere debat- of onderzoeksactiviteiten op het gebied van nanotechnologie worden vastgesteld. *Om het kleine te waarderen...* wordt gebruikt als achtergrondnotitie bij de voorbereiding van de publieke hoorzitting. Daarbij zij opgemerkt dat het hier niet om een populaire tekst gaat. Deze wetenschappelijke notitie bevat een uitgebreid notenapparaat, dat vooral is bedoeld voor lezers die zich verder willen verdiepen.

1 Publieke discussie

1.1 De Nieuwe Wereld – Noord-Amerika

Enkele futuristische toepassingsmogelijkheden van nanotechnologie hebben reeds tot discussies geleid, vooral in de Verenigde Staten. Deze discussies zijn onder meer gestimuleerd door het essay *Why the future doesn't need us* van Bill Joy, chief scientist van Sun Microsystems, in het april 2000-nummer van *Wired*² en de roman *Prey* (november 2002; de Nederlandse vertaling *Prooi* kwam in juni 2003 uit) van Michael Crichton (schrijver van onder andere *Jurassic Park*). Beide publicaties beschrijven het reeds langer bestaande ultieme doemscenario van nanobots die de wereld overspoelen en uiteindelijk de hele mensheid vernietigen. Deze zogenoemde *Grey Goo* ('grijze massa')-catastrofe maakt het gemakkelijk het debat over nanotechnologie in het publieke domein te brengen. Er wordt in elk geval naar verwezen in hoorzittingen van het Amerikaanse Congres, en nu ook (bij implicatie) in de *21st Century Nanotechnology R&D Act* uit 2003. In die wet wordt de National Research Council gevraagd zowel de technische mogelijkheid van *molecular self-assembly* te bestuderen als na te gaan hoe een 'verantwoorde ontwikkeling' van nanotechnologie – in elk geval van "*self-replicating nanoscale machines or devices and the release of such machines in natural environments*" – gegarandeerd kan worden.³ Hier wordt de overgang gemaakt van *molecular self-assembly* (een bekend verschijnsel in de supramoleculaire chemie) naar *self-replicating molecular assemblers* (de speculatie over nanorobots).

Hoewel nog duidelijk in de kinderschoenen, zijn studie van en debat over de maatschappelijke implicaties van nanotechnologie in Noord-Amerika het verst gevorderd. De Verenigde Staten kennen sinds 2000 een omvangrijk onderzoeksprogramma, het National Nanotechnology Initiative (NNI). Gelieerd aan dit initiatief organiseerde de NSF (National Science Foundation) op 28 en 29 september 2000 de workshop *Societal Implications of Nanotechnology* (Roco and Bainbridge 2001). Op 9 april 2003 heeft het U.S. House of Representatives Committee on Science in het kader van de voorbereiding van de *21st Century Nanotechnology R&D Act* een hoorzitting georganiseerd over hetzelfde thema.⁴ In deze wet staat onder andere dat er een onderzoeksprogramma opgezet dient te worden om sociale en ethische aspecten gerelateerd aan nanotechnologie te identificeren.⁵ Tijdens de hoorzitting werd herhaaldelijk gepleit om (net als bij het Humane Genoom Project) drie tot vijf procent van het onderzoeksbudget voor dergelijk onderzoek te reserveren. In augustus 2003 heeft de National Science Foundation twee omvangrijke onderzoeksprogramma's (elk van een miljoen dollar) op dit gebied

gefinancierd, het eerste over filosofie en maatschappelijke implicaties, het tweede over economie, startende bedrijven en regionale ontwikkeling.

De discussie in Noord-Amerika is te beschrijven aan de hand van de status en positie van de twee meest zichtbare groepen: ten eerste het Foresight Institute en het Center for Responsible Nanotechnology, die verdere ontwikkeling stimuleren, mits dit op een verantwoorde wijze geschiedt, en ten tweede de milieuorganisatie ETC Group, die vanuit een voorzorgsprincipe de risico's helder wil hebben. Het Foresight Institute⁶ is opgericht door K. Eric Drexler in 1989. Drexler is vooral bekend als schrijver van het populaire boek *Engines of Creation* (1986), waarin hij voorspelt dat het binnen twee generaties mogelijk zal zijn om een zogenoemde *universal assembler* te maken. In theorie zou een dergelijke 'universele assemblagemachine' (ook wel 'replicator' genoemd) alles kunnen maken, inclusief zichzelf. Het is tevens de ultieme recyclingtechnologie aangezien de replicators elk willekeurig object zouden kunnen opsplitsen in individuele atomen en deze zouden kunnen gebruiken om elk ander gewenst object te maken, volgens een van tevoren op te geven specificatie.

Het Foresight Institute belicht sterk de volgens hen ongekende mogelijkheden van moleculaire nanotechnologie. Drexler (2001) voorziet bijvoorbeeld de opkomst van goedkope nanobots voor medisch gebruik die virussen en kankercellen kapot kunnen maken, kapotte weefsels kunnen repareren en opgehoopte gifstoffen uit de hersenen kunnen verwijderen. Er is echter ook aandacht voor mogelijke gevaren. Het Foresight Institute is de bron van het *Grey Goo*-scenario, waarin zelf-replicerende nanorobots in het milieu ontsnappen en alle materie omzetten in grijze massa. Het instituut pleit dan ook voor een gedragscode voor onderzoekers om de positieve kanten van moleculaire nanotechnologie te stimuleren en de negatieve te voorkomen. Op dit moment wordt er wereldwijd nauwelijks onderzoek gedaan om moleculaire nanotechnologie volgens de Drexleriaanse visie op nanotechnologie te ontwikkelen. Een aantal nanotechnologen, onder wie Richard Smalley, betoogt dat het principieel onmogelijk is om nanorobots te laten werken, laat staan een *universal assembler*. Drexler en anderen brengen daartegen in dat de natuur vol zit met moleculaire of nanomachines.

In december 2002 is het Center for Responsible Nanotechnology (CRN) opgericht.⁷ Deze kleine non-profitorganisatie richt zich specifiek op de mogelijkheid van moleculaire nanotechnologie; ze is daar voorstander van, maar wil aandacht voor mogelijke negatieve consequenties en een gecontroleerde ontwikkeling en levert zelf ethische analyses. Een interessante ontwikkeling is hoe nanotechnologie, en vooral moleculaire nanotechnologie, door het toekomstbeeld van convergentie met biotechnologie, informatietechnologie en cognitieve wetenschappen (afgekort als NBIC), gekoppeld wordt aan bredere ideeën over

human enhancement (zie verder hieronder en § 4.3). Dit is zichtbaar in de tekst van de recente nanotechnologie-R&D-wet en is ook al eerder naar voren gebracht, door onder anderen Roco en Bainbridge (2001, 2002). Daardoor is er niet alleen een duidelijke koppeling met het transhumanistisch gedachtegoed, maar zijn er ook personele unies.⁸ Transhumanisme is een internationale (en groeiende) liberale filosofische (en politieke) beweging die stelt dat mensen verbeterd kunnen én *moeten* worden door de toepassing van technologie.⁹

De ETC Group redeneert als het ware vanuit de andere kant: voorzorg is zinvol, en daarom moet de aandacht juist uitgaan naar risico's en mogelijke negatieve effecten.¹⁰ Deze organisatie is sinds 2002 actief op het gebied van nanotechnologie en stelde, nadat de Environmental Protection Agency van de federale overheid eerder een verkennende studie had uitgevoerd, de gezondheids- en milieurisico's van nanodeeltjes aan de orde. In januari 2003 werd hun rapport *The Big Down* (ETC Group 2003a) gepubliceerd over mogelijke maatschappelijke (inclusief ethische en ecologische) consequenties van nanotechnologie.

De ETC Group heeft het debat over nanotechnologie in de Noord-Amerikaanse media aangejaagd en zo kwesties onder de aandacht van een breder publiek gebracht. Ze stelt terecht vast dat er op het gebied van de mogelijke consequenties van nanomaterialen voor de gezondheid van mensen nog zeer weinig wetenschappelijke kennis is. De ETC Group pleitte in het voorjaar van 2003 voor een moratorium op de commerciële productie van nanomaterialen totdat is uitgezocht op welke wijze nanodeeltjes worden opgenomen door levende organismen, waaronder bacteriën. De ETC Group suggereert dat vooral koolstof-nanotubes – vanwege hun langwerpige en starre structuur – mogelijk het asbest van de toekomst zijn.¹¹ De stellingname en argumentatie van ETC op dit punt hebben aanvankelijk negatieve reacties opgeroepen van voorstanders van de ontwikkeling van nanotechnologie, maar krijgen nu meer aandacht, ook internationaal.

De ETC Group mengt zich ook in de discussie rondom de idee van 'convergerende technologieën': de convergentie van nanotechnologie, biotechnologie, informatietechnologie en cognitieve wetenschappen. De National Science Foundation (NSF) spreekt van 'nano-bio-info-cogno', afgekort NBIC. Het samenkomen van deze vakgebieden komt technologisch in het vizier door de ontwikkeling van nanotechnologie. In het NSF-rapport *Converging technologies for improving human performance* worden zeer hoge (maatschappelijke) verwachtingen geschetst. De convergentie van NBIC-technologieën lijkt de terugkeer te beloven naar het aardse paradijs. Tekenend voor het technologisch vooruitgangsgeloof is het volgende citaat van Roco en Bainbridge (2002: 6) uit de inleiding van bovengenoemd rapport:

“Technological convergence could become the framework for human convergence. The twenty-first century could end in world peace, universal prosperity, and evolution to a higher level of compassion and accomplishment. It is hard to find the right metaphor to see a century into the future, but it may be that humanity would become like a single, distributed and interconnected ‘brain’ based in new core pathways of society.”

Tegenover dit ‘optimistische’ toekomstbeeld staan, zoals we al signaleerden, doemscenario’s zoals geschetst in het kritische essay *Why the future doesn’t need us* van Bill Joy. Om haar bedenkingen retorisch kracht bij te zetten spreekt de ETC Group (2003b) niet van NBIC, maar van BANG (*Bits-Atoms-Neurons-Genes*). Ze kan op die manier haar rapport de titel *Little BANG* geven, verwijzend naar de Big Bang, die aan het begin van het ontstaan van het heelal zou staan. *Little BANG* refereert aan een doemscenario waarin de convergentie van NBIC-technologieën mogelijk het einde inhoudt van de maatschappij en de natuur zoals we die nu kennen. De ETC Group wijst vooral op beperkingen (oogkleppen) in de vooruitgangsidealen die voorstanders hebben. Daarom maakt ze zich ernstig zorgen over deze ontwikkeling en roept ze op tot het instellen van een International Convention for the Evaluation of New Technologies (ICENT).

1.2 De Oude Wereld – Europa

Groot-Brittannië

Op 25 maart 2003 organiseerde de Royal Institution de conferentie *Atom by atom*, over mogelijke maatschappelijke aspecten van nanotechnologie en over de vraag hoe een goed publiek debat daarover kon worden gestimuleerd.¹² Drie punten voor debat kwamen daar naar voren:

- zijn bestaande ethische en reguleringskaders adequaat voor nanotechnologie? Neem nanodeeltjes als een voorbeeldcasus;
- onderzoek of er consensus gevonden kan worden over de mogelijke realistische en ‘sciencefiction’-toepassingen van nanotechnologieën;
- bekijk hoe relevant sociaal-wetenschappelijk onderzoek en een relevante dialoog opgezet kunnen worden.

De aanvankelijk beperkte activiteiten in Groot-Brittannië (waar de ETC Group inmiddels een kantoor heeft) kwamen in een stroomversnelling toen prins Charles in april 2003 – na het lezen van het ETC-rapport *The Big Down* – zijn zorgen uitsprak over nanotechnologie (eerder had hij dat al gedaan over biotechnologie). Deze uitspraak haalde alle gerenommeerde kranten en zelfs enkele tabloids. Aangespoord door deze plotselinge media-aandacht heeft de Britse regering¹³ de Royal

Society (de Britse pendant van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, KNAW) samen met de Royal Academy of Engineering gevraagd de mogelijke voordelen en problemen te onderzoeken die samenhangen met nanotechnologie. De studie werd op 11 juni 2003 aangekondigd en beoogt het volgende:

- “define what is meant by nanoscience and nanotechnology and to summarise the current state of scientific knowledge about these fields;
- identify the specific applications of the new technologies, in particular where nanotechnology is already in use, how it might be used in future and the most likely timeframe for such developments;
- assess the potential health, safety and environmental impacts of the applications of nanotechnology (including an indication of the associated uncertainties);
- consider the ethical and social issues surrounding the development of this technology;
- identify areas where regulation needs to be considered.”

De studie wordt uitgevoerd door een werkgroep onder leiding van professor Ann Dowling en zal naar verwachting aan het einde van het voorjaar van het jaar 2004 worden afgerond.¹⁴

In juli 2003 heeft de Economic & Social Research Council (ESRC) het weloverwogen rapport *The social and economic challenges of nanotechnology* (Wood et al. 2003) uitgebracht. In dezelfde maand publiceerde Greenpeace UK de studie *Future Technologies, Today's Choices* (Arnall 2003), die voor een groot deel over nanotechnologie gaat. Het rapport leidde door de associatie met Greenpeace tot onmiddellijke afwijzende uitspraken door de industrie en enkele wetenschappers, maar wordt inmiddels toch gezien als een goed geïnformeerde en evenwichtige bijdrage aan het debat.

Het Europese vasteland

Op 11 juni 2003 organiseerde de ETC Group tezamen met de Groenen in het Europees Parlement het seminar *Atom technology: nanotechnology and converging technologies. The implications of atomic modification for Europe and beyond* in het Europees Parlement te Brussel. Deze bijeenkomst werd gesteund door onder andere Greenpeace en de Dag Hammarskjöld Foundation. Voor de Europese Commissie lichtte Renzo Tomellini, hoofd van de Nanotechnology Unit, het Europese onderzoek toe. De zorg dat “*innovation is running ahead of regulation*” kwam sterk naar voren, samen met de erkenning dat we niet goed weten wat de impact van nanotechnologie zal zijn. Zoals ook in een redactioneel commentaar in het tijdschrift *Nature* erkend werd, zal de strategie om nanotechnologie als niet echt nieuw en dus ongevaarlijk te beschouwen niet werken als tegelijkertijd over grootse transformaties en de industriële revolutie van de eenentwintigste eeuw gesproken wordt.¹⁵

Met deze bijeenkomst arriveerde de publieke discussie over de maatschappelijke consequenties van nanotechnologie op het 'continentale Europa'. In kleine kring was overigens in Duitsland, Zwitserland en de Europese Unie al eerder gesproken en zijn studies uitgevoerd over mogelijke maatschappelijke aspecten van nanotechnologie (zie volgende hoofdstuk). In Nederland interviewde *de Volkskrant* (2 augustus 2003) de nanotechnoloog Hans Mooij en besprak de recente rapporten en discussies. Overigens was al eerder door de nanotechnologen zelf het initiatief genomen om Technology Assessment aan hun programma's toe te voegen (zie hoofdstuk 3).

In Europa trekt het concept van 'convergerende technologieën' inmiddels ook de aandacht van beleidsmakers. Op Europees niveau organiseert DG Research een aantal high-level expert workshops over dit onderwerp, ook in verband met de voorbereiding van het Zevende Kaderprogramma. In Nederland zet STT een toekomstverkenning over materialen op maat en convergerende technologieën op. In het Rathenau Instituut worden de ontwikkelingen rond convergerende technologieën nauwgezet gevolgd.

2 TA en nanotechnologie

Technology Assessment (TA) beoogt tijdig de ontwikkeling en impact van technologie in te schatten en af te wegen, met enige terugkoppeling naar relevante actoren (inclusief het publieke debat). Zo geformuleerd is duidelijk dat de activiteit van TA een algemeen belang dient, en dus de verantwoordelijkheid van overheden of overheidsgelieerde instanties kan zijn. Te beginnen met het Office of Technology Assessment van het Amerikaanse Congres in de jaren zeventig (overigens opgeheven in 1995) hebben overheden voorzieningen getroffen voor een TA-functie. Het Rathenau Instituut is de Nederlandse nationale TA-organisatie. Het Rathenau Instituut werd in 1986 (destijds onder de naam NOTA) ingesteld door het toenmalige ministerie van Onderwijs en Wetenschappen. Dergelijke publieke organisaties zullen zich ook op nanotechnologie richten. In dit hoofdstuk geven we aan wat er inmiddels gebeurd is.

TA met het oog op het algemeen belang kan natuurlijk ook door andere dan specifiek publieke TA-organisaties gedaan worden. De eerdergenoemde rapporten en studies zoals *Societal implications of nanotechnology* van de NSF, *The Big Down* van de ETC Group, *The social and economic challenges of nanotechnology* van de ESRC, en *Future Technologies, Today's Choices* van Greenpeace UK zijn voor het publieke domein geschreven en ook opgezet als een bijdrage aan TA van nanotechnologie, al dan niet vanuit een specifiek perspectief. Er zijn ook kleinere, minder zichtbare TA-activiteiten. Zo besteedde het Europese COST-netwerk NanoSTAG (NanoScience and Technology Advisory Group) op bijeenkomsten in 2001 via lezingen van Roger Strand (Noorwegen) en Ineke Malsch (Nederland) aandacht aan TA-vragen. Recent is het bijna vanzelfsprekend geworden dat nanotechnologie-activiteiten zoals Europese-Unienetwerken en geïntegreerde projecten niet zonder een TA-component kunnen (vergelijk ook ELSA en de nieuwe Amerikaanse nanotechnologiewet, besproken in § 1.1). Er zijn echter nog geen resultaten van dergelijke TA-componenten.

Het Parliamentary Office of Science and Technology (POST)¹⁶ in het Verenigd Koninkrijk en de Scientific and Technological Options Assessment-eenheid (STOA) van het Europees Parlement hebben in het midden van de jaren negentig korte studies verricht. Het ging daarbij vooral om het verkennen van wetenschappelijke onderzoeksprogramma's. STOA heeft in 2002 een update gemaakt (Dunn en Whatmore 2002). Daarin geven de geïnterviewde experts aan dat ze van nanotechnologie de meeste impact verwachten op de volgende terreinen:

- verandering van materiaaleigenschappen door middel van de introductie van componenten op nanoschaal;

- verdere verkleining van micro-elektronica door het integreren van *nano-inside*-technologieën;
- *drug delivery systems* en bio-nanotechnologie (outsiders zagen dit als het toepassingsterrein met de grootste impact).

Nanomachines en intelligente nanostructuren werden gezien als ‘hype’.

Het Technikfolgen Abschätzungs Bureau (TAB) van de Duitse Bondsdag heeft in 2003 een brede inventarisatie afgerond, met specifieke aandacht voor toepassingen in bepaalde bedrijfstakken (bijvoorbeeld de auto-industrie en de lucht- en ruimtevaart), de levenswetenschappen en ICT (Paschen et al. 2003). Dit rapport is in november 2003 aan het Duitse parlement aangeboden. Met betrekking tot ICT wordt aangegeven dat nanotechnologie een belangrijke input vormt voor het door de ICT-industrie alom verkondigde paradigma van *ubiquitous computing*. Op het gebied van *life sciences* wordt onder andere aandacht besteed aan het gebruik van nanotechnologie op het gebied van diagnostiek, medicijnen en instrumentatie. In de discussie over kansen en risico's wordt aandacht besteed aan mogelijke positieve en negatieve gevolgen van nanotechnologie voor gezondheid en milieu. Met betrekking tot ethische en maatschappelijke aspecten wordt verwezen naar het thema ‘de maakbaarheid van mensen’ (vooral in verband met de convergentie van basistechnologieën), en is er aandacht voor het verdelingsvraagstuk (analoog aan de *digital divide* spreekt men hier van de *nano divide*) en het militaire gebruik van nanotechnologie. TAB komt tot de volgende algemene aanbevelingen: stimuleer nanotechnologie vanuit economisch perspectief, geef vroegtijdig aandacht aan maatschappelijke en ethische aspecten, zorg voor goede scholing, en breng snel de milieu- en gezondheidseffecten van nanotechnologie in kaart om uit te maken op welke wijze deze ontwikkeling vanuit de politiek gereguleerd dient te worden.

In Zwitserland heeft TA-Swiss, Centre for Technology Assessment in december 2003 de Delphi-studie *Nanotechnologie in der Medizin* (Baumgartner et al. 2003) afgerond op het gebied van biomedische nanotechnologie.¹⁷ In Nederland heeft het Rathenau Instituut nanotechnologie in het werkprogramma 2003-2004 als breed te verkennen nieuw thema opgenomen. Deze notitie *Om het kleine te waarderen...* is daarvan een eerste resultaat.

In andere Europese landen vinden nog geen noemenswaardige TA-activiteiten plaats. In Scandinavische landen, zoals Denemarken en Noorwegen, volgen TA-instituten de ontwikkeling wel en wachten ze op het juiste moment om het thema ‘nanotechnologie’ te agenderen. Ook in Japan en Israël, landen die veel investeren in nanotechnologie, vinden nog geen relevante activiteiten op het gebied van TA plaats. Uiteraard kunnen dergelijke activiteiten wel gestart worden in de komende jaren. In Japan bestaan bijvoorbeeld op dit moment wel ideeën om TA-activiteiten op het gebied van nanotechnologie te ontplooiën.

Opvallend in de huidige TA-studies is het accent op het in kaart brengen van mogelijke toepassingen en bijbehorende maatschappelijke aspecten van nanotechnologie. Dat is uiteraard belangrijk om in te schatten, anders blijft de afweging van beloftes en zorgen in de lucht hangen. In het publieke debat gaat het echter om grote (en gesimplificeerde) vragen als “*Nanotechnology: opportunity or threat*” (zie noot 15) en om de vraag wat voor actie ondernomen en wat voor beleid gevoerd moet worden. Moet nanotechnologie verder ontwikkeld worden maar op een verantwoorde manier, of moet het voorzorgsprincipe gehanteerd worden, tot en met tijdelijke moratoria? De vraag op welke wijze om te gaan met de beloftes van en zorgen over nanotechnologie komt wel meer aan de orde in de rapporten en studies van verschillende maatschappelijke partijen, vanuit hun specifieke perspectief. Er is dus duidelijk behoefte om deze vragen ook vanuit een algemeen belang aan de orde te stellen, en zo het publieke debat te verrijken.

3 Nanotechnologie in Nederland

In 1995 deed de toenmalige Overleg Commissie Verkenningen (OCV) een korte studie naar nanotechnologie. Dat resulteerde in een brede verkenning, uitgevoerd door STT tussen 1996 en 1998, waar alle relevante Nederlandse en Vlaamse nanowetenschappers aan deelnamen (Wolde 1998). Daarin werden vier gebieden onderscheiden: nanomaterialen, nano-elektronica, moleculaire nanotechnologie en *scanning-probe*-microscopen met resoluties in de orde van nanometers.¹⁸ In Nederland leverden met name de Universiteit Twente (met het Mesa+-onderzoekscentrum in microsysteemtechnologie en nanomaterialen), de TU Delft (met het Dimes-onderzoekscentrum in nano-elektronica) en de RU Groningen (met BioMaDe, waar men zich richt op bio-nanotechnologie) wetenschappelijk onderzoek van wereldniveau, en waren bovendien actief in het stimuleren van startende bedrijven in microsysteemtechnologie en nanotechnologie.¹⁹ Deze drie nanotechnologie-onderzoekscentra vormen de kern van een inmiddels opgericht nationaal nanotechnologieonderzoeksortium, NanoNed, onder leiding van professor David Reinhoudt (Universiteit Twente). Hierin werken in totaal zeven universiteiten plus TNO samen aan nanotechnologie-programma's en -projecten.

Vanuit NanoNed is eerst het NanoImpuls-programma ter waarde van 22,7 miljoen euro overheidsgeld en evenveel aan private investeringen opgezet.²⁰ Het kabinet heeft in 2002 dit programma goedgekeurd, te financieren vanuit de vernieuwingsimpulsgelden van het Ministerie van Economische Zaken. NanoImpuls richt zich onder andere op de ontwikkeling van *labs-on-chips*, de miniaturisering van optische schakelingen en het verkleinen van chips.²¹ NanoImpuls is de voorloper van NanoNed, een grootschalig programma op het gebied van nanotechnologie binnen Nederland dat aangevraagd is in het kader van ICES/KIS-3 en inmiddels is toegewezen.²² 95 miljoen euro overheidsgeld (de grootste subsidie in het geheel) gaat naar NanoNed, met nog apart 7 miljoen euro voor het Groningse BioMaDe.²³ Binnen NanoImpuls en vervolgens binnen NanoNed is er aandacht voor maatschappelijke aspecten. Enerzijds via gericht TA-onderzoek (tot drie procent van het totale budget), dat wordt gecoördineerd door professor Arie Rip van de Universiteit Twente²⁴, anderzijds via relaties met bedrijven en steun aan startende bedrijven. Er is kritiek geweest op het feit dat het midden- en kleinbedrijf tot dusver maar beperkt betrokken is geweest bij de ontwikkeling van het nanotechnologieonderzoek (Malsch 2003a).

Naar aanleiding van het opkomende maatschappelijke debat over nanotechnologie heeft de minister van OCW in augustus 2003 de KNAW gevraagd te onderzoeken of er nu reeds aandacht nodig is voor ethische en maatschappelijke aspecten van nanotechnologie.²⁵ Inmiddels heeft het bestuur van de KNAW een werkgroep ingesteld. Deze werkgroep, onder leiding van professor Koeman van Wageningen Universiteit, zal de stand van zaken en ontwikkelingen op de middellange en lange termijn op het gebied van nanotechnologie in kaart brengen en ingaan op de gevolgen. Er zal op korte termijn (voorjaar 2004) gerapporteerd worden.

Publieke discussie is vooralsnog gericht op kennisnemen van wat er gaande is en wat de verwachtingen zijn. Eind 2002 heeft de Club of Amsterdam (een initiatief tot een denktank over innovatie van de Hogeschool van Amsterdam) een debat over nanotechnologie georganiseerd. De Club of Amsterdam probeert netwerkvorming te stimuleren van mensen die willen nadenken over nanotechnologiescenario's. Begin 2003 heeft Studium Generale Maastricht een serie lezingen over nanotechnologie opgezet. Op het Technologiefestival over de maakbare mens, georganiseerd door het Rathenau Instituut op 1 november 2003 in Amsterdam, werd ook over nanotechnologie een lezing gehouden. Kranten en tijdschriften beperken zich tot berichtgeving over nieuwe onderzoeksresultaten, op het eerdergenoemde artikel in *de Volkskrant* van 2 augustus 2003 na.²⁶ Vanuit het Rathenau Instituut worden wel activiteiten voorbereid, zoals een expertworkshop over kansen en risico's van nanodeeltjes (zie § 4.1).

4 Toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten

Nanotechnologie levert toe aan allerlei gebieden en sectoren, voor een deel door prestaties te verbeteren (kleinere en snellere chips, betere materialen), voor een ander deel door substitutie, en soms ook door nieuwe eigenschappen en mogelijkheden te introduceren. Dat betekent ook dat de ontwikkelingsdynamiek van wat er uiteindelijk als nanotechnologie (beter, in nanotechnologieën) gerealiseerd wordt, ‘getrokken’ wordt door wat er in andere gebieden en sectoren aan de orde is. Als wij hier over ‘toepassingsgebieden’ spreken gaat het om de ontwikkelingen in gebieden en sectoren die voor nanotechnologietoepassingen mogelijkheden bieden. Onze bespreking, bijvoorbeeld van *radio-frequency identification* (RF-ID) chips, of van *drug delivery*, gaat dan ook niet over specifieke nanotechnologische mogelijkheden, maar over de dynamiek in zo’n gebied die uitdagingen en ‘trekkracht’ oplevert voor nanotechnologieontwikkelingen. De aldus aangestuurde ontwikkelingen in nanotechnologie kunnen vervolgens dat wat er in zo’n gebied gebeurt veranderen.

Maatschappelijke aandachtspunten zijn dus zowel deze dynamiek zelf, als wat voor vragen deze oproept. Op dit moment kan veelal alleen nog maar over brede implicaties gesproken worden voor terreinen als milieu, ICT, gezondheidszorg en nationale veiligheid. Sommige discussies rond nanotechnologie zijn actueel en praktisch, andere hebben een langetermijnkarakter en behelzen filosofische en ethische vragen. In dit hoofdstuk wordt een aantal clusters van ontwikkelings- en toepassingsmogelijkheden en discussiepunten besproken, zoals deze op dit moment in de aandacht staan.

Achtereenvolgens wordt aandacht besteed aan:

- gezondheidseffecten van nanomaterialen (§ 4.1);
- nano-elektronica (§ 4.2);
- bio-elektronica (§ 4.3);
- nanotechnologie (en gentechnologie) in medische en farmaceutische sfeer (§ 4.4);
- militaire technologie (§ 4.5);
- overige toepassingsgebieden van nanotechnologie (§ 4.6).

In elk van de paragrafen wordt exemplarisch op de volgende vragen ingegaan:

- Wat is er technisch mogelijk? Wat zijn de verwachtingen? Waar richt het onderzoek zich op? Wat is de geschiedenis van de ontwikkeling? Hoe snel en in welke richting gaat de ontwikkeling? Wat zijn de drijvende krachten?
- Welke maatschappelijke en ethische vragen brengen de ontwikkelingen met zich mee? Bijvoorbeeld: hoe verandert het debat over privacy en veiligheid? Hoe ontwikkelt de informatiemaatschappij zich verder? Of wat is de invloed van dit soort ontwikkelingen voor ons mensbeeld en menszijn (vooral de relatie tussen mens en machine is hier van belang)?
- Hoe kunnen inzichten en waarden die relevant zijn voor de beantwoording van deze vragen verder gearticuleerd worden? Hoe kunnen verschillende partijen en groepen hieraan deelnemen, tot en met individuele geïnteresseerde burgers?

Bovenstaande vragen leveren de algemene agenda voor de uiteindelijke maatschappelijke discussies. Voor een goede publieke discussie is een systematische en interactieve behandeling van die vragen nodig. In de publieke discussie gaat het tevens om vragen over eigen- dom, verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid. Het gaat dan om politieke vragen zoals: Wie ontwikkelt de technologie en met welk (publiek) mandaat? Wie bezit de technologie en profiteert ervan? Wie is verantwoordelijk en aansprakelijk voor mogelijke problemen en wie pakt ze aan? Hoewel dit soort lastige vragen centraal zal staan in een publiek debat, wordt daar in deze notitie nog weinig aandacht aan geschonken.

4.1 Gezondheidseffecten van nanomaterialen

"In a field with more than 12,000 citations a year, we were stunned to discover no prior research in developing nanomaterials risk assessment models and no toxicology studies devoted to synthetic nanomaterials." Vicki Colvin (2003), director of the Center for Biological and Environmental Nanotechnology (CBEN), Rice University

"We don't know for sure whether nanoparticles are dangerous or not. But we should find out before huge amounts of them are out in the environment." Doug Parr, Chief Scientific Advisor, Greenpeace UK.²⁷

Het actueelste probleem in de discussie rondom nanotechnologie betreft de veiligheid voor milieu en mens van nanodeeltjes.²⁸ Zoals het openingscitaat al aangeeft, is er momenteel nog zeer weinig bekend

over de toxicologie van nanodeeltjes en hoe deze worden opgenomen door het lichaam en interacteren met levende cellen.

Deze problematiek begint aandacht te krijgen vanuit de wetenschap. In 1999 vond in Engeland de eerste wetenschappelijke bijeenkomst over de toxiciteit van nanodeeltjes plaats. De bijeenkomst werd georganiseerd door de Royal Microscopical Society in Groot-Brittannië.²⁹ Deze gebeurtenis is op 13 en 14 januari 2004 gevolgd door de conferentie *Nanotox 2004 – Nano particles and nanostructured materials: implications for health*.

Het Center for Biological and Environmental Nanotechnology (CBEN), Rice University, opgericht in september 2001, houdt zich behalve met regulier nanotechnologisch onderzoek ook bezig met onderzoek naar de milieu-impact en de gezondheidseffecten van nanodeeltjes. Directeur Colvin van dit instituut geldt inmiddels als een autoriteit in dit land van blinden. Tijdens de hoorzitting van het Committee on Science van het U.S. House of Representatives benadrukte ze dat van de 700 miljoen dollar die in 2003 werd uitgegeven aan nanotechnologie, slechts 500.000 dollar ging naar onderzoek naar de milieueffecten van nanotechnologie.³⁰ Het verwaarlozen van dit soort onderzoek kan een tijdbom leggen onder de opkomende nanotechnologie-industrie, die al duizenden tonnen aan nanomateriaal (bijvoorbeeld voor cosmetica – nanodeeltjes titaniumdioxide in zonnecrèmes – tennisrackets en zonnecellen) per jaar produceren. Goede gegevens over gezondheidseffecten en *risk assessment*-modellen zijn hard nodig voor een verantwoorde commercialisering van nanomaterialen en om het vertrouwen van het publiek te krijgen.

De ETC Group pakt het gebrek aan wetenschappelijke kennis van zowel directe als langetermijneffecten op en pleit voor het radicaal hanteren van het voorzorgsprincipe, in de vorm van een moratorium. In haar rapport *The Big Down* (pagina 25) stelt ze: *“At this stage we know practically nothing about the potential cumulative impact of human-made nano-scale particles on human health and the environment. Given the concerns raised over nanoparticle contamination in living organisms, governments should declare an immediate moratorium on commercial production of new nanomaterials and launch a transparent global process for evaluating the socio-economic, health and environmental implications of the technology.”*

Aandacht voor de toxicologie van nanodeeltjes groeit nu, zowel binnen de wetenschappelijke wereld als binnen de internationale milieu-groeperingen. Ook in Nederland beginnen onderzoekers, ngo's en beleidsmakers zich te buigen over deze problematiek. Het Rathenau Instituut organiseerde op 17 februari 2004 een workshop om zowel inhoudelijk als procesmatig een impuls te geven aan de totstandkoming van een Nederlandse agenda, die verheldert op welke wijze

overheid, industrie, onderzoekers en belangengroepen op een verantwoorde wijze om kunnen gaan met deze problematiek.

4.2 Nano-elektronica

“To grasp some implications of a mature nanotechnology, imagine a world where information technology is truly ubiquitous and dirt cheap, where even trivial human artifacts contain extraordinary complexity and therefore extraordinary ability to process and communicate information. These broad capabilities of future information technology are easy to forecast, but their implications for society are still difficult to discern.” Thomas N. Theis (2001), IBM T.J. Watson Research Center

De rekenkracht per oppervlakte-eenheid van computerchips is de laatste decennia ruwweg elke achttien maanden verdubbeld. Deze tendens van exponentiële verkleining – mogelijk gemaakt door opeenvolgende technologische ontwikkelingen en doorbraken – staat bekend als de wet van Moore. Hoewel er regelmatig plafonds zijn, worden deze al meer dan dertig jaar achtereenvolgend doorbroken. De overgang van micro-elektronica naar nano-elektronica wordt ook als de doorbreking van een aantal technologische plafonds gezien. Tal van nieuwe technologieën dienen zich aan: nieuwe lithografische technieken, koolstof-nanobuizen voor draden, transistoren en lichtbronnen, enzovoorts. Hun belang wordt beargumenteerd als noodzakelijk opdat de wet van Moore zich zal voortzetten.

De voortdurende verkleining en het goedkoper en krachtiger worden van elektronische apparaten roept een beeld op dat in de toekomst computers zo klein zullen zijn dat mensen ze 24 uur per dag zullen dragen, en dat de meeste producten (van sleutels tot broeken en auto's) intelligentie zullen bevatten. Kleine ingebouwde computers worden *embedded computers* genoemd. Producten en mensen zijn in dit scenario voortdurend online, en wereldwijd aan elkaar gekoppeld door glasvezels en draadloze communicatiesystemen. Dit scenario is niet zo futuristisch als het eruitziet. Het is voor velen de 'normale' verdere evolutie van het internet en allerlei andere huidige communicatiesystemen. Bovenal is het een toekomstvisie die gedeeld en nagestreefd wordt door de elektronica-industrie, de computer- en de telecommunicatiesector. Xerox en Nokia spreken dan van *ubiquitous computing*, IBM noemt deze ontwikkeling *pervasive computing* en Philips (evenals de Europese Unie) heeft het over *ambient intelligence*. Het betreft het beeld van een toekomstige wereld en maatschappij die doortrokken is van de elektronica en de informatie- en communicatietechnologie.

Twee actuele ontwikkelingen zullen worden besproken om de dynamiek van 'getrokken worden' en zelf vormgeven te tonen en te laten

zien dat er aanleiding is om maatschappelijke aandachtspunten te formuleren: RF-ID-chips en Smart Dust.

RF-ID-chips

De marktintroductie van *radio frequency identification* (RF-ID)-chips, ter grootte van een zandkorrel is aanstaande.³¹ Een RF-ID-chip is op te vatten als barcode waarin meer informatie verwerkt kan worden (64 bits) dan in de normale barcode. Een ander voordeel is dat de RF-ID-chip met een radiosignaal kan worden uitgelezen in plaats van optisch. RF-ID-chips worden al langer gebruikt in auto's om ze (na diefstal) terug te vinden. Deze technologie staat op het punt om geïntroduceerd te worden in supermarktartikelen. Philips kondigde aan het begin van 2003 aan dit jaar 15 miljoen RF-ID-chips aan de kledingfabrikant en verkoper Benetton te leveren. De chip, geplaatst in een label, maakt het mogelijk om het kledingstuk door de productieketen heen te volgen. Benetton sprak dit bericht in juni 2003 tegen en zegt alleen te experimenteren met RF-ID-tags. Andere grote spelers, zoals Gillette, Wal-Mart en Tesco, willen ook gebruik gaan maken van RF-ID-chips; Michelin experimenteert met RF-ID-chips in banden, luchtvaartmaatschappijen met het labelen van bagage en de Europese Centrale Bank heeft plannen om vanaf 2005 RF-ID-chips in haar bankbiljetten te verwerken. Het Amerikaanse leger gebruikt nu al dergelijke chips in Irak om voorraden te kunnen volgen en gewonde soldaten (de chip zit dan in een polsband) in ziekenhuizen te kunnen volgen.³²

Inmiddels heeft de RF-ID-chip ook de weg naar het menselijk lichaam gevonden. Een chirurg uit New Jersey heeft op 16 september 2001 kleine chips in zijn arm en zijn heup geïmplanteerd, die automatisch persoonlijke gegevens kunnen verzenden naar een scanner (O'Harrow 2001). De maker van de chip, het bedrijf Applied Digital Solutions, maakte in oktober 2003 bekend dat het 135.000 onderhuidse ID-chips gaat afzetten in Zuid-Amerika. De ID-chip voor mensen lijkt op de identificatiechips die al in miljoenen honden en katten zijn geïmplanteerd. Gealarmeerd door deze snelle ontwikkelingen heeft de senaat in Californië op 18 augustus 2003 een hoorzitting gehouden over *RF-ID technology and pervasive computing*.³³

Smart Dust

Smart Dust komt voort uit het onderzoek naar en de ontwikkeling van zogenoemde *mems* (*micro electro-mechanical systems*) en *nems* (*nano electro-mechanical systems*).³⁴ Het zijn kleine simpele computers met beperkte reken capaciteit, met ingebouwde sensoren en communicatie (met een reikwijdte van 10 tot 50 meter). Het minimale formaat is nu nog 16 mm³, maar in de nabije toekomst mogelijk zelfs 1 mm³ (Kimball 2003). Smart Dust is een futuristische naamgeving, maar de technologie is al gerealiseerd. De technologie is tussen 1997 en 2001 ontwikkeld

aan de Universiteit van Berkeley in California door een groep onderzoekers onder leiding van Kris Pister en bevindt zich in de prototype-fase. Inmiddels is er in de VS een aantal bedrijven die Smart Dust leveren en verder ontwikkelen.³⁵ De onderzoeksgroep van Pister maakt deel uit van het Center for Information Technology Research in the Interest of Society (CITRIS). Het Californische CITRIS-instituut heeft een initiële begroting van 100 miljoen dollar over een periode van vier jaar (Huszar 2003). CITRIS richt zich op het toepassen van ICT op acht terreinen: energie, transport, gezondheidszorg, milieu, cultuur, defensie, onderwijs en rampenbestrijding. Smart Dust is de centrale technologie binnen het onderzoek van CITRIS.

Smart Dust kan verspreid worden in een bepaalde omgeving, en gebruikt worden om gezamenlijk in een zelforganiserend draadloos netwerk van sensoren informatie te verzamelen, die informatie te integreren en door te sturen naar een centrale computer.³⁶ Informatie kan verzameld worden over bijvoorbeeld vijandige tanks, chemische of biologische middelen op het slagveld, weers- en milieuumstandigheden, maar ook over bewegingen van insecten of burgers. Er zijn talloze civiele toepassingen te bedenken voor Smart Dust. Dat denken begint eigenlijk nu pas. Het is bijvoorbeeld niet zo moeilijk voor te stellen Smart Dust op een aantal vingers te plakken, zodat sensoren de beweging van je hand kunnen volgen en vervolgens je handschrift of schets kunnen doorseinen naar een computer. Daarmee is het zogenaamde virtuele toetsenbord geboren. Smart Dust kan ook worden ingezet voor het monitoren van koelsystemen of de kwaliteit van een product door meting van temperatuur of vochtigheid of voor het ontwerpen van slimme kantoren of huizen (domotica).³⁷ De Smart Dust-technologie lijkt het mogelijk te maken om een mobiele telefoon in een oorbel te stoppen.

Maatschappelijke aandachtspunten

“Today we fear misuse of data aggregated from our transactions with various web services. Tomorrow we may fear the misuse of data aggregated from our transactions with our clothing and household appliances.” Thomas N. Theis (2001:82), IBM

Bovengenoemde technologische ontwikkelingen, passend binnen het paradigma van *ambient intelligence*, bieden uitgebreide mogelijkheden tot detectie, lokalisering en communicatie en hebben duidelijk privacy-implicaties (zie het citaat van Thomas N. Theis). Langheinrich (2001) verwacht een grote impact op privacy van *ambient intelligence* omdat (1) dergelijke ICT-systemen overal aanwezig zullen zijn, (2) computers en sensoren aan het oog worden onttrokken, (3) de ICT-systemen van de toekomst veel meer informatie uit de omgeving kunnen halen (tot en met inschattingen van emoties), en (4) de mogelijkheid van opslag en registratie sterk wordt vergroot. Het privacydebat zal daardoor

kwalitatief veranderen omdat het nu niet meer alleen om databestanden en gerichte surveillance gaat. De intense en alomtegenwoordige inzet van ICT heeft uiteraard vele consequenties, onder andere voor veiligheid, psychologische kwesties (Orwelliaanse wereld), economie, werkgelegenheid en scholing, verantwoordelijkheden en rollen, et cetera. Zodra nano-elektronica gerechtvaardigd wordt als een bijdrage aan grotere ICT-prestaties, zal er ook rekening gehouden moeten worden met deze verdere consequenties, ook al kunnen deze niet lineair worden toegeschreven aan nano-elektronica.

Er is behoefte aan inzicht in de stand van de techniek en verwachtingen voor de toekomst en aan een overzicht van de relevante maatschappelijke en ethische vragen. Een discussie zou niet alleen geleid moeten worden door mogelijke toepassingen in de verre toekomst, terwijl voor de korte termijn een smalle focus op nano-elektronica gehanteerd wordt. Op dit moment ontwikkelt de relevante technologie zich op het grensvlak van micro- en nanotechnologie. De impacts en verdere maatschappelijke implicaties kunnen dan ook besproken worden door na te gaan wat nu al aan veranderingen optreedt, en om deze huidige ontwikkelingen te verbinden met ontwikkelingen die reeds langer gaande zijn (denk aan de opkomst van het internet en de mobiele telefoon) en daar maatschappelijke lessen uit te trekken. In het geval van *RF-ID-tags* is de hoorzitting die de Californische senaat heeft georganiseerd een goed voorbeeld. Nagegaan moet worden of er follow-up zal zijn en of het voorbeeld elders navolging krijgt.

4.3 Bio-elektronica

“Man braucht nur das große, faszinierende Reich der Grundlagenforschung zu betreten, um zu sehen, daß eines der großen Leitprojekte des Futurismus, die Verschmelzung von Nerven- und Computersystemen, von Mensch und Maschine, in Arbeit ist.” Christian Schwägerl (2003)

Bij voelen, zien, horen, bewegen en denken spelen elektrische signalen in ons zenuwstelsel en onze hersenen een grote rol. Nanotechnologie in de biomedische wetenschappen richt zich op de ontwikkeling van elektronische zintuigen en de koppeling van zenuwcellen en elektronica. Dit is het werkterein van de bio-elektronica, ook wel bionica genoemd.³⁸ De snelle ontwikkeling – vooral miniaturisatie – op het terrein van chips en *mems* en *nems* geeft voeding aan spectaculaire speculaties (bijvoorbeeld *mind transplant*) en levert uitzicht op een breed scala aan toepassingen, waarvan de fase van ontwikkeling varieert van fundamenteel onderzoek tot inmiddels brede toepassing. Denk bijvoorbeeld aan de pacemaker, een apparaat dat hartritme of sluitspieren stimuleert en/of reguleert. Vooral de ontwikkeling van *mems* (*micro electro-mechanical systems*)-versnellingsmeters (die veel gebruikt

worden in de auto-industrie in airbags) heeft ertoe bijgedragen dat implanteerbare pacemakers en defibrillatoren sterk zijn verkleind en dat de nauwkeurigheid daarvan sterk is vergroot. Naast deze medische toepassingen zijn vooral de militaire wereld en het ruimtevaartonderzoek actief betrokken bij deze ontwikkeling.

Bionische oren, ogen en andere functies

Net als pacemakers zijn bionische oren – denk bijvoorbeeld aan het gebruik van cochleaire implantaten – het experimentele stadium voorbij. Deze techniek wordt voornamelijk toegepast bij dove kinderen. Simpel gezegd worden geluiden opgevangen door een microfoon en doorgegeven aan de gehoorzenuw. De claim is dat bionische oren leiden tot een betere spraakontwikkeling en als gevolg daarvan tot betere kansen op integratie in de ‘gewone’ wereld van de horenden. Deze toepassing heeft tot veel discussie geleid (Reuzel 2001). Vooral binnen de dovengemeenschap was er weerstand vanwege twee samenhangende redenen. Ten eerste impliceert volgens sommigen deze ontwikkeling een perspectief op doofheid als een handicap die moet worden uitgeroeid. Ten tweede lijkt deze technologie het belang van het bestaan van een dovengemeenschap of -cultuur te verwaarlozen of zelfs te ontkenen. Doofheid is volgens de woordvoerders van de dovengemeenschap geen handicap, maar een kenmerk, zoals ras, sekse en oogkleur.³⁹ Erkenning van het recht op doofheid is in die zin gerealiseerd dat doventaal is erkend als een officiële taal. De vraag of ‘handicaps moeten worden uitgeroeid’ is dan niet aan de orde, en als hij wel gesteld wordt, is het een inbreuk op fundamentele rechten. De geschiedenis van het bionische oor en het debat daarover leveren een aantal duidelijke aangrijpingspunten voor een algemenere discussie over bio-elektronica en/of cyborgs. Vooral ook het punt dat het nut dat de ontwikkelaars voor hun nieuwe techniek claimen door hen geprojecteerd wordt op de groepen die uiteindelijk met de techniek te maken hebben. Zoals de ontwikkeling van cochleaire implantaten laat zien, hoeven deze projecties niet correct te zijn.

Naast gehoorstoornissen richt het medisch onderzoek zich onder andere op progressieve oogziekten. Deze ontwikkeling bevindt zich in de prototypefase. In Amerika sponsort het Department of Energy het Artificial Retina-onderzoeksproject (Frauenfelder 2003). In mei 2003 zijn de eerste resultaten van testen met drie proefpersonen gepresenteerd. Bij de proefpersonen is in het oog een chip van 4 bij 5 mm met 16 elektrodes geïmplant. De elektrodes krijgen een signaal via een kleine videocamera die op een bril is gemonteerd en stimuleren de nog functionerende cellen in het netvlies. In de komende twee jaar wordt een prototype gebouwd van een chip met 60 of 100 elektrodes. Om grote letters te kunnen lezen zijn duizend elektrodes nodig. In Duitsland lopen twee grote nationale projecten om retina-implantaten te ontwikkelen. Beide zijn in het stadium van dierproeven. Een Duits

bedrijf, IIP-technologies, verwacht binnen vijf jaar een retina-implantaat op de markt te kunnen brengen (Nanoforum 2003).

Een fascinerende toepassing van bio-elektronica is de behandeling van verstoringen of blokkades in de overdracht van elektrische signalen tussen hersenen en organen of andere delen van het lichaam. Onderzoek naar de behandeling van dwarslaesie bevindt zich bijvoorbeeld in een vroege fase (Chaudari 2001). Het doel is dat een chip de signalen oppikt aan de ene kant van de breuk in het ruggenmerg en doorzendt naar een chip aan de andere kant, waardoor de breuk wordt omzeild.

‘Immortal mind children’, ‘cyber soldiers’ en ‘enhanced space cowboys’

Nieuwe technologische mogelijkheden zijn aanleiding tot speculaties over toepassingen. In het geval van bio-elektronica zijn dat speculaties over hersenen die in (draadloos of direct) contact staan met kleine computersystemen of zelfs het internet. Of zoals Chaudari (2001: 96) van het IBM Watson Research Center zegt: *“If all of these speculations come to pass then a human will be wired fully – not only internally but also externally to the vast network [Internet] outside of the body.”* Discussies over de koppeling van hersenfuncties aan het internet worden door veel wetenschappers als hoogst speculatief gezien.⁴⁰ Als er al een koppeling van nano-elektronica en neuronen gerealiseerd kan worden, en op grote schaal, is dat een langetermijntoepassing.

Om de realiteitswaarde van dergelijke speculatieve scenario's in te schatten kan een analyse gebaseerd op het patroon van ‘substitutiedynamiek’ worden gepleegd. Dergelijke patronen zijn zichtbaar in historische voorbeelden van grote veranderingen (Geels 2002). Een dergelijke analyse gaat ervan uit dat een futuristische langetermijnverwachting slechts dan uit kan komen, indien de zich vernieuwende technologie stapsgewijs toegepast kan worden in bestaande producten of die kan vervangen. Er zit duidelijk een conservatief element in een dergelijke analyse. Ter compensatie kunnen wilde (maar gecontroleerde) speculaties, bijvoorbeeld over *immortal mind children*, worden gebruikt als aanleiding voor alternatieve scenario's. Daarin gaat het vaak minder om specifieke technische onderbouwing als wel om de projectie van een utopische – en voor sommigen dystopische – situatie.

Denken over nieuwe technologische opties en denken over een (betere) mens en wereld gaan hier samen. Dit is goed zichtbaar in de manier waarop ideeën over een wereldbrein, zoals eerder geciteerd naar Roco & Bainbridge (2002: 6: *“it may be that humanity would become like a single, distributed and interconnected ‘brain’ ...”*), passen bij en opgepakt worden door het transhumanisme.⁴¹ Dit cyberdenken is niet nieuw.

Het kan gevonden worden bij onder anderen de communicatiegoeroe McLuhan⁴² (jaren zestig) en de priester-bioloog Teilhard de Chardin (jaren vijftig). Heden ten dage wordt ons de belofte van de bevrijding van ons dierlijk en eindig lichaam en het versterken van onze zintuigen en mentale capaciteiten voorgehouden door AI en computerspecialisten als Hans Moravec en Ray Kurzweil (2000). In *Mind Children* stelt Moravec dat de opkomst van intelligente machines de mensheid "personal immortality by mind transplant" zal leveren.

De term (*human*) *enhancement* (versterking, verhoging) slaat zowel op concrete verbeteringen als op dergelijke futuristische visies. Bij bionische oren en ogen en elektronische ruggenmergbruggen gaat het om het verhelpen van een handicap. Hoewel het, zoals het debat over cochleaire implantaten laat zien, niet vanzelfsprekend is wat als 'handicap' geldt. Bij Moravec c.s. is het doel duidelijk het verbeteren van de mens. De achterliggende filosofie is niet alleen dat de mens wordt gezien als een *Mängelwesen*⁴³, dat van nature 'gehandicapt' is, maar ook dat de beperkingen overwonnen kunnen en moeten worden dankzij nieuwe technologie.

Het medisch onderzoek richt zich op therapie, oftewel het herstellen van 'normale' lichamelijke functies, en in toenemende mate ook op preventie. Aangezien wat 'normaal' is kan verschuiven, is de scheidslijn tussen herstellen en verbeteren niet scherp. Militair en ruimtevaartonderzoek richt zich vooral op het ondersteunen en verbeteren van menselijke prestaties.⁴⁴ Daarbij kan gedacht worden aan draadloze communicatie direct in het oor of het projecteren van afbeeldingen direct op het netvlies. Ook wordt er gewerkt aan het aansturen van computers door middel van hersenactiviteiten (Yonas en Picraux 2001). Te denken valt aan toepassingen bij gevechtspiloten, maar ook aan zwaar verlamde patiënten die via een kap met elektroden met behulp van hersenactiviteit een aantal taken kunnen verrichten.

Er wordt ook gewerkt aan het direct koppelen van computersystemen of althans chips aan de hersenen. Er loopt al een op afstand bestuurbare robotrat rond (Nicolelis 2002). Het toekomstbeeld van de directe koppeling van de hersenen aan computers is zeer ingrijpend, omdat de hersenen als zetel of centrum van ons gedrag, ons bewustzijn en ons zelfbeeld worden gezien. De betrokken ontwikkelaars lijken zich dat te realiseren. Venneri (2001:217) van NASA zegt:

"As we merge nanotechnology with biology and information technology we will be building systems that become more and more 'life-like' and which interact with and support systems that more effectively meet our needs and communicate with us on our own level – for example natural language. Sensory systems such as sight, sound and touch will mimic our own, though exceed human performance levels. This is what we envision for space systems.

But there is a 'down side' as well. As we proceed along this path we must be sensitive to the perception that our 'life-like' technology and systems are actually 'living' systems and that systems which are designed to interact with humans in a 'human-like' manner may be viewed as being 'too human'. In the past this has been the domain of science fiction; in the foreseeable future it could be reality."

NASA lijkt zich bewust te zijn van de ethische afwegingen die dit soort ontwikkelingen met zich meebrengt. NASA wil in debat gaan met het algemene publiek, maatschappelijke groeperingen en ethici om duidelijk te krijgen wat de maatschappelijk aanvaardbare grenzen zijn tussen *"true 'life' science and 'life-like' science"*. Om vergelijkbare redenen wordt gepleit voor de ontwikkeling van een nieuwe 'cyborg-ethiek' om te komen tot protocollen die aangeven wat voor soort onderzoek met mensen acceptabel is (Mizrach). Anderen wijzen dergelijk onderzoek af, als zodanig of omdat er zo een hellend vlak ('slippery slope') ontstaat waarin steeds extremere manipulaties toch acceptabel worden en dehumanisering het resultaat is. Een vergelijking is mogelijk met het argument van de filosoof Günther Anders, die in de jaren zeventig experimenten binnen het kader van *human engineering* zag als de initiatieriten van het robottijdperk en deze bestempelde als de climax van de dehumanisering en vervreemding (Dijk 1992).

Maatschappelijke aandachtspunten

"De discussie zou moeten gaan over de inhoud die wij aan het cyborg-begrip willen geven en over de wijze waarop technologieën waarden en normen incarneren, onze beleving en ideeën veranderen." Hans Achterhuis (2000: 28)

Velen worden enthousiast over te verwachten medische wonderen die de 'lammen laten lopen en de blinden laten zien'. *Immortal mind children, cyborg soldiers en enhanced space cowboys* zijn voor sommigen een verdere en wenselijke ontwikkeling, voor anderen juist een stap te ver en afschrikwekkend. Met andere woorden, bio-elektronica zet de filosofische en maatschappelijke discussie over de relatie tussen mens en machine op scherp. Zij roept zijnsvragen op als: wat is het om een mens te zijn, maar ook machtsvragen als: waar, hoe en door wie wordt bepaald hoe de toekomstige mens eruit gaat zien (Pott 2001).

Dichter bij huis ligt de maatschappelijke ervaring met de introductie van pacemakers en bionische oren. Vooral bij de laatste technologie komt de vraag naar voren wat herstellen en wat verbeteren is, en of verbeteren niet altijd gekoppeld is aan een specifiek mensbeeld dat niet door alle betrokkenen geaccepteerd hoeft te worden.

4.4 Nanotechnologie (en gen-technologie) in medische en farmaceutische sfeer

De medische wereld – van onderzoek, ontwikkeling en diagnose tot het toedienen van medicijnen en het volgen van de gezondheidstoestand van de mogelijke toekomstige patiënt – wordt overspoeld door innovaties. Die innovaties hebben hun oorsprong in de groeiende kennis van de menselijke genen (*genomics*) en gen-expressie (*proteomics*), en de binnen die onderzoeksgebieden ontwikkelde technieken zoals DNA-chips en *lab-on-a-chip*-systemen. Voor het vervaardigen van dergelijke chips is micro- of nanotechnologie nodig. Nanotechnologie speelt ook een rol bij het ontwikkelen van *drug delivery systems* of bij het maken van contrastvloeistoffen die het mogelijk maken om ziekteprocessen op moleculair niveau in beeld te brengen. Voor het laatste wordt ook gebruikgemaakt van zogenaamde biomarkers, die via genomics- en proteomicsonderzoek in snel tempo worden ontdekt. De ontwikkelingen zijn veelomvattend; hier volgt een korte impressie.

4.4.1 Naar preventieve diagnostiek

“Developments in molecular science are shifting the detection horizon of medical diagnosis and therapeutics to the earliest physiological and biochemical manifestations of disease. This emerging new paradigm for health care contrasts with the conventional assessment, in which the disease only comes to the attention of the physician when the patient presents with symptoms. A major factor in this new approach is the recent progress in genomics and proteomics.” Lanza et al. (2003)

De kennis van het genoom – het geheel van erfelijke informatie – vormt een belangrijke leidraad in het opsporen en behandelen van vele ziekten. Het Humane Genoom Project vormt dan ook een belangrijke drijvende kracht achter de opkomst van de moleculaire geneeskunde.⁴⁵ Deze omvat onder andere het gebruik van genetische testen, genetische therapie, medicijnen geënt op een bepaalde genetische code, en moleculaire beeldvorming.

DNA-chips

Bij de verdere ontrafeling van het menselijk genoom spelen DNA-chips een grote rol.⁴⁶ Omgekeerd is genomicsonderzoek *de* dominante kracht achter de ontwikkeling van DNA-chips, ook wel micro- of bio-arrays genoemd.⁴⁷ Net als de ‘gewone’ chip lijkt de ontwikkeling van de DNA-chip de wet van Moore te volgen. Tussen 1988 en 1995 verdubbelde elke vijftien maanden het aantal geanalyseerde basen per uur.⁴⁸ Het

resultaat is dat het werken met DNA-chips steeds goedkoper wordt en steeds meer DNA-sequenties op een chip geplaatst kunnen worden. Het gebruik van DNA-chips in de medische praktijk zal daardoor mogelijk de komende jaren sterk toenemen. Vanaf mei 2003 gebruikt het Nederlands Kanker Instituut bijvoorbeeld een DNA-chip om borsttumoren te typeren. Deze zogenoemde onco-chip, die de expressie van zeventig relevante genen onderzoekt, voorkomt nu vooral onnodige chemotherapie, omdat het genprofiel van de borsttumor zijn agressiviteit verraadt (Zundert 2003).

Genetische zelftesten

Met het goedkoper en eenvoudiger maken van de DNA-chip zal volgens verwachting in de nabije toekomst genetische diagnostiek zelfs voor een brede groep gebruikers toegankelijk worden (Giesendorf et al. 1997). Het gaat hier om zogenaamde DNA-‘doe-het-zelf’-testen. Via het internet kunnen inmiddels verschillende testen voor erfelijke ziekten aangevraagd worden, bijvoorbeeld voor erfelijke vormen van darm- en alvleesklierkanker, melanomen, ijzerstapeling en trombose.⁴⁹ Slechts enkele daarvan kunnen thuis worden uitgevoerd. Het Amerikaanse bedrijf Myriad Genetics biedt via internet verschillende genetische testen aan, waaronder een test voor borstkanker, op basis van de genen BRCA1 en BRCA2.

Mensen kunnen behoefte hebben aan een genetische zelftest nadat bij familieleden genetische afwijkingen (bijvoorbeeld borstkanker, genetische aanleg voor de ziekte van Alzheimer) aan het licht zijn gekomen. Zelftesten kunnen ook ingezet worden ter preventie van een ziekte of om het verloop van een ziekte te monitoren. Op dit moment is reeds een test te krijgen die men thuis kan uitvoeren voor de stof PSA (prostaatspecifiek antigeen); een hogere concentratie van deze stof vormt een vroege indicatie voor prostaatkanker (POST 2003). Genetische testen kunnen ook een lifestylekarakter hebben. Zo biedt het Britse bedrijf Sciona voor 240 euro een genetische *nutrition*-test aan, waarin zeven verschillende genen worden onderzocht. De uitslag van de test is een dieetadvies.

Moleculaire beeldvorming (*molecular imaging*)

Vooruitgang in het onderzoek naar genen en genexpressie (*proteomics*) leidt tevens tot de ontdekking van verschillende biomarkers voor verschillende pathologische processen. Deze ‘markers’ hebben een unieke ‘biologische handtekening’ en kunnen (via bijvoorbeeld MRI en ultrasound) in beeld gebracht worden door bepaalde contrastvloeistoffen. Daarmee staan ze aan de basis van de ontwikkeling van de moleculaire beeldvorming: het in beeld brengen van ziekteprocessen op een zeer gedetailleerd niveau. De komende jaren volgen klinische testen met contrastvloeistof op basis van paramagnetische nanodeeltjes om

in een vroeg stadium kanker of trombose op te sporen. Deze nano-deeltjes kunnen ook gebruikt worden om een bepaald medicijn of een gerichte dosis straling direct in het zieke weefsel (bijvoorbeeld aangetaast door kanker) te brengen. Lanza et al. (2003: 38) stellen: "Molecular imaging, possibly in conjunction with rational targeted therapies, could radically affect the practice of clinical diagnosis and therapies as these technologies continue to mature."

4.4.2 Medicijnen op maat

"Because of researchers' ever-evolving understanding of the human body and the explosion of new and potential treatments resulting from discoveries of bioactive molecules and gene therapies, pharmaceutical research hangs on the precipice of yet another great advancement." Cullen T. Vogelson (2001)

Medicijnontwikkeling en -toepassing draait rond een aantal belangrijke thema's: kosten en duur van de ontwikkeling, doelmatigheid en veiligheid. Het ontwikkelen van een medicijn duurt nu gemiddeld zo'n twaalf jaar en kost handenvol geld (vaak 100 miljoen euro of meer). Er zijn problemen, zoals onvoorziene bijwerkingen en gebrek aan effectiviteit voor alle te behandelen patiënten. Dit heeft verschillende oorzaken. De effectiviteit van medicijnen wordt verkleind als ze gedeeltelijk of reeds helemaal worden afgebroken (bijvoorbeeld door maagzuur of enzymen in het darmkanaal) voordat ze hun werk kunnen doen. Onvoorziene bijwerkingen kunnen het gevolg zijn van de negatieve werking van het geneesmiddel op gezonde delen van het lichaam of op momenten waarop er geen behoefte aan is. Verschillende paden worden op dit moment bewandeld om deze problemen te lijf te gaan. Hier introduceren we drie wegen: een chemisch laboratorium op een chip, farmacogenetica en systemen die medicijnen gericht bezorgen (*targeted drug delivery systems*).

Van reageerbuis tot lab-on-a-chip

Voor de farmaceutische industrie is het van belang om te weten welke genen voor welke eiwitten coderen en tot welke celprocessen die leiden. Proteomics en metabolomics zijn aldus het vervolg op genomics. Met behulp van bestaande analyse- en scheidingsmethoden (gas- en vloeistofchromatografie in combinatie met massaspectroscopie) is het technisch mogelijk om bijna alle metaboliëten te meten. Maar deze methoden zijn tijdrovend en er is behoefte aan nieuwe en snellere analysemethoden. De *lab-on-a-chip*-technologie, nu nog een microniveautechnologie, zal het in de toekomst mogelijk maken om sneller en grotere hoeveelheden metaboliëten tegelijkertijd te meten. Net zoals genomics de drijvende kracht achter de ontwikkeling van DNA-chips is geweest, zo zouden proteomics en metabolomics dat nu voor de *lab-on-a-chip* kunnen zijn (Heijdra 2002).

Lab-on-a-chip-systemen kunnen snel vloeistoffen en chemische stoffen per nanoliter meten, scheiden, analyseren en laten reageren. Het materiaal dat eerst nodig was om één test uit te voeren is nu voldoende voor miljoenen testen. Resultaten van onderzoek waar eerst jaren en vele machines voor nodig waren, worden nu in dagen of weken verkregen. Deze ontwikkeling zorgt ervoor dat farmaceutische bedrijven veel meer testen kunnen doen tegen lagere kosten, zodat omvangrijker screenen mogelijk wordt en daarmee de kans stijgt dat er nieuwe medicijnen worden gevonden. Om de succesgraad van nieuwe medicijnen te verhogen gaat men op zoek naar *lab-on-a-chip*-systemen die de complexiteit van een levende cel kunnen nabootsen vooral door cellen te gebruiken. Het idee is dat binnen deze hybride systemen, de zogenaamde *rat-on-a-chip* of *cell-on-a-chip* (Wise 2000), de werking van potentiële medicijnen half in vitro en half in vivo getest kan worden. Als dergelijke preklinische testen succesvol zijn, kunnen de kosten van verdere testen verminderd worden.

Farmacogenetica

Sedert de jaren 60 is bekend dat sommige personen bepaalde geneesmiddelen en andere stoffen sneller omzetten dan anderen. Zo breken de meeste Japanners alcohol langzamer af dan Europeanen. Uit deze waarneming is de farmacogenetica ontstaan (Wolff 1999). Farmacogenetica kijkt naar genetische verschillen in de respons op medicijnen. Zoals boven vermeld, worden DNA-chips ingezet bij het analyseren van het genetisch profiel. DNA-chips kunnen dan ook ingezet worden voor het bepalen van het farmacogenetisch profiel, dat de respons van een persoon op een medicijn kan voorspellen (Raeymaekers 2001).⁵⁰ Door medicijnen aan te passen aan het farmacogenetisch profiel, wil deze nieuwe tak van de biomedische wetenschap de doelmatigheid en veiligheid van medicijnen verhogen. Met dat doel voor ogen worden tevens nanosystemen ontwikkeld voor het gericht (qua tijd en plaats) toedienen van medicijnen.

Doelgericht toedienen van medicijnen (*drug targeting*)

“The biomedical revolution promises a future of miracle drugs. The problem: many treatments will be made up of proteins, peptides, and other large molecules that are ineffective when administered by conventional means. So how do you get them into your body? Pills are out – gut enzymes chew through these unstable behemoths. Injections are painful, expensive, and difficult to do yourself. The solution: rethink the technologies behind implants, inhalers, and patches.” Steven Kotler (2003)⁵¹

Voortijdige afbraak van medicijnen en effecten daarvan op gezonde delen van het lichaam zijn aanleidingen voor de ontwikkeling van

moderne afleveringssystemen (*delivery systems*) om medicijnen toe te dienen aan specifieke (ongezonde) delen van het lichaam. Daarvoor zijn nog andere redenen aan te geven. Medicijnen kunnen slecht oplosbaar zijn, of het verschil tussen een genezende en een toxische dosis kan zeer gering zijn. Daardoor kunnen sommige veelbelovende medicijnen in principe niet gebruikt worden – tenzij ze in kleine en afgemeten hoeveelheden op de juiste plek in het lichaam worden afgeleverd. Een andere drijvende kracht voor de ontwikkeling van *drug targeting* is dat op basis van kennis van het genoom vele toekomstige medicijnen bestaan uit eiwitten, peptiden en andere grote moleculen die niet effectief zijn indien ze op de conventionele manier worden toegediend. Ze worden namelijk snel in het maag-darmkanaal afgebroken. Tevens worden er methoden ontwikkeld als alternatief voor het inspuiten van medicijnen; via de mond innemen is gemakkelijker, minder pijnlijk, goedkoper en (vooral in de derde wereld met zijn gebrek aan hygiënische spuitjes) veiliger. Ten slotte is er de wens om verschillende biologische barrières te overbruggen, zoals de bloed-breinbarrière in het geval van medicijnen ter bestrijding van hersentumoren, die aanleiding is om dit soort technologie te ontwikkelen.

Er zijn verschillende technieken in ontwikkeling. Hier volgen enkele voorbeelden (Kreyling 2003):

- Gebruik van biologisch afbreekbare polymeren waarbij de afbraak wordt getriggerd door een fysiologisch of chemisch signaal. Zo wordt gewerkt aan insuline ingekapseld in een polymeer dat reageert op de pH-waarde. Er zijn ook biologisch afbreekbare polymeren netwerken die speciaal ontwikkeld worden voor nieuwe gentherapieën.
- *Smart pills*. De *smart pill* kan gezien worden als een zeer kleine chip (*mems* of *nems*) die enerzijds fungeert als reservoir voor medicijnen, maar die anderzijds intelligentie heeft en sensoren bevat die ervoor zorgen dat het medicijn op het juiste moment en in de juiste hoeveelheden wordt afgegeven. De medicijnenpomp kan gecontroleerd worden door een biosensor, een afstandsbediening of een voorgeprogrammeerde microprocessor. Op dit moment is er reeds een implantaat voor onder de onderbuikhuid ter grootte van een stuiver met honderden microbronnen, waarin een supergeconcentreerde dosis van een medicijn, zoals interferon, of verschillende hormonen zijn opgeslagen.

4.4.3 Maatschappelijke aandachtspunten

Genetische zelftesten zijn reeds in discussie of de discussie daarover is in opkomst. De DNA-chip geeft voeding aan deze discussie. De Britse Human Genetics Commission (HGC) heeft zojuist een advies geschreven over genetische thuis testen en over de gevolgen die de uitslag van dergelijke testen kan hebben voor de gebruiker. In Nederland heeft Consument en Biotechnologie, in opdracht van het ministerie van VWS,

recent een inventarisatie gemaakt van het aantal beschikbare genetische testen.⁵² Die discussies liggen in de lijn van de discussie over 'voorspellende geneeskunde'. Belangrijke aspecten zijn: aanvaardbaarheid van vroege diagnostiek bij gebrek aan therapie, betaalbaarheid, recht op niet-weten, gevolgen voor relaties en misbruik van genetische informatie. Nanotechnologie vergroot de mogelijkheden en jaagt in die zin de discussie verder aan. Het gaat zodoende om vragen als:

- Wat is er met nanotechnologie nog meer technisch mogelijk op het gebied van voorspellende geneeskunde? Wat zijn de verwachtingen op de middellange en lange termijn?
- Wat betekent voorspellende geneeskunde zowel voor de praktijk van de gezondheidszorg als voor het normatieve idee van recht op gezondheidszorg?

Ontwikkelingen op het gebied van het toedienen van medicijnen roepen eveneens maatschappelijke vragen op. Een prominente vraag is welke (onvoorziene) effecten – bijvoorbeeld bloedklontering⁵³ – drug delivery systems kunnen hebben. Betaalbaarheid van medicijnen op maat wordt een belangrijk item vanuit het idee van recht op gezondheidszorg. Bij het reguleren van het toedienen van medicijnen werd er van oudsher een scheiding gemaakt tussen medicijnen en medische apparaten of implantaten. Nieuwe methoden om medicijnen toe te dienen passen niet in een dergelijk reguleringskader.

4.5 Militaire technologie

"If we want to stay at the forefront economically and remain a world leader politically and militarily, I think we have an obligation to really look seriously at funding more nanoscience research."
Newt Gingrich (2002)⁵⁴

In Amerika zien militaire strategen in nanotechnologie *de* speerpunttechnologie voor de eenentwintigste eeuw om militaire suprematie te behouden. Onderzoek naar militaire toepassingen is een belangrijk onderdeel van het Amerikaanse nanotechnologieonderzoek. Staatsveiligheid (*security*) is dan ook een voorname drijvende kracht achter de ontwikkeling van nanotechnologie in de Verenigde Staten. De Verenigde Staten hebben een grote voorsprong op het gebied van militaire nanotechnologie, en daardoor ook in algemeen nanotechnologisch opzicht.

Ook in Europa investeren verschillende landen in defensietoepassingen van nanotechnologie. Het Britse ministerie van Defensie (2001) investeert jaarlijks 1,5 miljoen pond in nanotechnologieonderzoek via het Corporate Research Programme en volgt civiel nanotechnologieonderzoek om het duale gebruik van technologie op te sporen. In Zweden is recent 11 miljoen euro voor vijf jaar beschikbaar gesteld

voor nanotechnologieonderzoek voor defensie.⁵⁵ In Nederland is TNO Defensie Onderzoek verantwoordelijk voor defensiegerelateerd onderzoek. In het strategisch plan 2003-2006 van TNO wordt nanotechnologie niet genoemd.

Sommige potentiële militaire toepassingen van nanotechnologie liggen dicht bij civiele toepassingen (zoals Smart Dust), of kunnen ingezet worden bij de bestrijding van terrorisme (denk aan sensoren voor chemische en biologische wapens). Het Amerikaanse National Nanotechnology Initiative (NNI) omvat twaalf *grand challenges* voor fundamenteel onderzoek. Een van die 'uitdagingen' is nanotechnologie in te zetten voor de detectie van en bescherming tegen chemische en biologische wapens, radioactieve straling en explosieven (tezamen afgekort als CBRE).⁵⁶ In 2002 hebben deskundigen in een workshop aanbevolen in het fiscale jaar 2005 100 miljoen dollar te investeren in onderzoek naar sensoren (50 procent), bescherming tegen CBRE-aanvallen (30 procent) en genezing (20 procent) (Grand Challenges Workshop Series 2002).

Een netwerk van sensoren (voor bijvoorbeeld chemische stoffen, radioactieve straling, et cetera) kan gebruikt worden om de toestand van een slagveld in beeld te brengen. Andere sensornetwerken kunnen mogelijk in steden ingezet worden ten dienste van *crowd control*. Voor dergelijke geïntegreerde sensorsystemen worden verschillende soorten technieken gebruikt. Hierin kan het eerdergenoemde Smart Dust een rol spelen (zie § 4.2). Deze sensoren kunnen gebruikt worden in surveillance op het slagveld, om te controleren of staten zich wel aan internationale verdragen voor ontwapening en wapenbeheersing houden (vooral chemische en biologische wapenconventies), voor monitoring van militaire transporten, voor de jacht op scuds, enzovoorts.⁵⁷ In de VS heeft Kris Pister geëxperimenteerd met een zwerm van acht Smart Dust-sensoren inclusief een klok, bewegingsdetectoren en elektronische kompassen. Deze werden uit een vliegtuig gedropt, en slaagden erin zichzelf te organiseren in een zwerm en de richting, snelheid en grootte van een serie tanks te bepalen.

Nanotechnologie kan ook ingezet worden voor de verdere invulling van het concept van de onbemande oorlog dat een nieuwe fase in lijkt te gaan met de ontwikkeling van autonome gevechtssystemen of zo-genoemde *killer robots*. Het hoeft weinig betoog dat deze ontwikkelingen, die lijken aan te sluiten bij moderne militaire concepten als *zero-casualty war* en *remote control war*, veel vragen oproepen.

Een andere belangrijke ontwikkeling is zichtbaar in het recent bij MIT opgerichte Institute for Soldier Nanotechnology (ISN), met een budget van 50 miljoen dollar voor vijf jaar. De ambities van dit onderzoekscentrum zijn hoog:

*"Imagine the psychological impact upon a foe when encountering squads of seemingly invincible warriors protected by armour and endowed with superhuman capabilities, such as the ability to leap over 20-foot [6 meter] walls."*⁵⁸

ISN wil door middel van nanotechnologie de veiligheid, prestaties en overlevingskansen van infanteriesoldaten verhogen. Dit kan bijvoorbeeld door het gewicht van de uitrusting te verminderen, de ontwikkeling van licht maar kogelwerend materiaal, en draadloze en draagbare *decision support systems*. In januari 2003 is het Centre for Nanoscience Innovation for Defence (CNID) opgericht om het militaire gebruik van dergelijke vindingen te stimuleren.

Maatschappelijke aandachtspunten

"Preventive limitation is possible by: a general ban on space weapons with special rules for small satellites, strengthening the Biological Weapons Convention by a Verification Protocol, limits on military robots – in particular, a ban on autonomous killing –, a 10-years moratorium on non-medical body implants and other invasive manipulation. All such rules need to be integrated with regulation in the civilian realm." Jürgen Altmann and Mark Gubrud (2003)

De bewuste inzet van nanotechnologie voor het militaire bedrijf van de eenentwintigste eeuw roept allerlei maatschappelijke vragen op. Vooral als het gaat om de mogelijkheid van nieuwe wapens, ruimteoorlogen, militaire robots en manipulatie van het lichaam doemen vele ethische kwesties op. Los van de vraag of de *performance enhanced* soldaat technologisch gezien gerealiseerd kan worden, is het zaak om aandacht te schenken aan de maatschappelijke en politieke invloed van een dergelijk concept op de ontwikkeling van en handel in wapens en op internationale relaties.

Altmann en Gubrud (2003) maken zich het meest zorgen over toepassingen, zoals nieuwe chemische of biologische stoffen voor oorlogsdoeleinden, autonome gevechtssystemen (op het land, in het water, in de lucht en in de ruimte), microsensoren en -robots en manipulatie van het lichaam, bijvoorbeeld door middel van implantaten.

4.6 Andere toepassingsgebieden

Nanotechnologie is een ondersteunende technologie die in vele innovaties een rol kan gaan spelen. In de vorige paragrafen zijn we ingegaan op toepassingen op het gebied van ICT, geneeskunde en militaire technologie. We geven hier een kort overzicht van andere toepassingsgebieden. Daarbij pretenderen we zeker geen volledigheid.

Toepassingen in industriële productie

Nanotechnologie wordt al op kleine schaal gebruikt in industriële productie binnen verschillende bedrijfstakken. Zo worden *scanning-probe*-microscopen, waarmee afbeeldingen gemaakt kunnen worden tot de schaal van individuele atomen en moleculen, gebruikt in de halfgeleider-industrie in kwaliteitscontrole van chips (Malsch 2002). Microfluidics (in de *lab-on-a-chip*-technologie) kunnen gebruikt worden in kleinschalige productie van fijn-chemische stoffen of medicijnen. Jacques Joosten van DSM verwacht dat dergelijke systemen op langere termijn bij kunnen dragen aan productie van materialen dicht bij de gebruiker en op het moment dat ze nodig zijn, in plaats van centraal in grote chemische fabrieken.⁵⁹

Toepassingen in de energiesector

Veel nanogestructureerde materialen hebben bijzondere eigenschappen, zoals een relatief groot oppervlak per volume-eenheid en grote porositeit. Dit maakt ze goed geschikt voor toepassingen op het gebied van energieproductie, -opslag en -besparing.⁶⁰ Te denken valt aan (organische of vastestof-)zonnecellen, brandstofcellen en waterstofopslag-systemen, en oplaadbare batterijen. Sommige nanomaterialen hebben thermo-elektrische eigenschappen, waardoor ze warmte om kunnen zetten in stroom. Nanoschuim of aerogels zijn geschikt als isolatiemateriaal in dubbel glas. Ze laten zonlicht wel door, maar warmtestraling niet. Dergelijke warmtevasthoudende materialen worden in China toegepast in doorzichtig landbouwplastic, waardoor groenten sneller rijpen. Verder kan nanotechnologie bijdragen aan betere katalysatoren of hitteresistente deklagen, waardoor verbrandingsmotoren efficiënter kunnen werken.

Consumentenproducten

De bekendste voorbeelden van toepassing van nanotechnologie in consumentenproducten zijn zonnecrèmes en andere cosmetica. Andere producten waarin nanotechnologie verwerkt is, zullen de komende jaren op de markt komen, vooral doordat nieuwe materialen gebruikt gaan worden in de bouw-, kleding- en transportsector. Verschillende vormen van 'slimme textiel' – textiel waaraan chips zijn toegevoegd of vezels die van eigenschappen kunnen veranderen door een externe stimulans (zoals temperatuur of regen) – zijn al een aantal jaren in ontwikkeling.

De auto-industrie is een belangrijke toepassingssector van nanotechnologie. Nanotechnologie wordt al gebruikt in auto's. Zo zijn autobanden verbeterd met nanogestructureerde materialen, en is nanotechnologie gebruikt in katalysatoren in de verbrandingsmotor, in airbagsensoren, in krasbestendige deklagen op de lak en in antireflecterende deklagen

op ramen (Paschen et al. 2003). In het algemeen worden lichte en sterke (nano)materialen genoemd als geschikt voor energiezuiniger transportmiddelen.

Agrofood-sector

In de van oudsher voor Nederland belangrijke agrofood-sector krijgt nanotechnologie ook steeds meer aandacht. Zoals de toenmalige Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek (NRLO) in 1999 in een achtergrondstudie – een verkenning naar innovatie in de agrarische sector – aangaf, kan nanotechnologie gebruikt worden in genomics, diagnostiek of diergeneeskunde (overlappend met biomedische nanotechnologie) en in duurzame (zelfs energieproducerende) kassen. Op het terrein van de voedseltechnologie gaat het bijvoorbeeld om het filtreren van bacteriën op nanoschaal uit dranken, zodat verwarming of sterilisatie niet meer nodig is. Op het gebied van *functional foods* zijn tientallen toepassingen te verzinnen. Denk aan het maken van oliedeeltjes waarvan de kern uit water bestaat, waardoor ‘volle’ mayonaise ‘halfvol’ kan worden gemaakt. Verder kennen sommige medische toepassingen een tegenhanger in het agrofood-onderzoek, zoals *food delivery systems* om smaakstoffen op het juiste moment (tijdens het eten) te laten vrijkomen en *lab-on-a-chip*-technologie om de voedselveiligheid in het productieproces te bewaken.

4.7 Overzicht van maatschappelijke aandachtspunten

Hoofdstuk 4 schetst een breed en rijkgeschakeerd veld van toepassingen van nanotechnologie. De bril van nanotechnologie leidt tot een zoektocht naar het front van de wetenschap op tal van terreinen. Het is daarom geen toeval dat het scala van maatschappelijke aandachtspunten dat vanuit het perspectief van nanotechnologie naar voren komt een zeer breed en divers beeld toont (zie Tabel 1).

Tabel 1 Maatschappelijke issues en droom- en schrikbeelden per toepassingsgebied van nanotechnologie

Toepassingsgebied	Maatschappelijke issues	Droombeelden	Schrikbeelden
Nanomaterialen/ industriële productie	Gezondheids- en milieueffecten	Duurzaamheid	Asbest van de toekomst
	Zelf(re)productie	Universal assembler/ personal fabrication	Grey Goo
Nano-elektronica	Privacy	'Slimme' producten en omgeving	Big Brother
Bio-elektronica	Maakbaarheid van mensen	Wereld zonder 'handicaps'	Discriminatie 'handicaps'
	Mengvormen van leven en niet-leven	Koppeling aan internet (bevrijding eindig lichaam)	Dehumanisering en vervreemding
Nanotechnologie in medische sfeer	Voorspellende geneeskunde	Vroege diagnostiek Medicijnen op maat	Genetische dwang en/of uitsluiting Tweedeling gezondheidszorg
Militaire technologie	Wapenwedloop	Veilige wereld	Nieuwe wapens en wapenwedloop/ proliferatie (gebruik door terroristen)
	Ethiek van de oorlog	Zero-casualty/ remote control war	Killer robots/ ruimteoorlog
	Maakbaarheid van mensen	'Invincible warriors'	Cybersoldaten
Algemeen/ Innovatie	Patenten	Verspreiding van kennis en profijt	Monopolisering van kennis en profijt
	Het internationale verdelingsvraagstuk	Gelijke verdeling van welvaart	'Nano divide'
	Sturing	Maatschappelijke sturing	Technologisch determinisme

Tabel 1 poogt de voornaamste (groepen van) maatschappelijke issues en daaraan gerelateerde droom- en schrikbeelden die in deze notitie de revue zijn gepasseerd op een rijtje te zetten. Daarbij valt het op dat nanotechnologie tal van bekende discussieonderwerpen raakt, zoals ICT en privacy, voorspellende geneeskunde, ethiek van de oorlog, duurzaamheid, (maatschappelijke) sturing van innovatie en de kennis- en armoedekloof tussen Noord en Zuid. Relatief nieuwe issues die door nanotechnologie (pregnanter) op de agenda worden gezet, zijn vooral maakbaarheid van mensen, de toekomstige (on)mogelijk-

heid van zelfreproducerende nanorobots en de grenzen tussen levende en niet-levende materie. Het meest actuele onderwerp betreft de gezondheidseffecten van nanodeeltjes.

Het laatste hoofdstuk doet een aantal voorstellen om de publieke discussie over deze brede verzameling van maatschappelijke onderwerpen op een open en genuanceerde wijze te gaan voeren.

5 Een nuchtere visie op nanotechnologie als inzet voor het maatschappelijk debat

“Nanotechnology is set to be the next campaign focus of environmental groups. Can scientists avoid the mistakes made over genetically modified food, and secure public trust for their research?”
Geoff Brumfield (2003)

Het brede gebied van nanotechnologie, met snelle ontwikkelingen aangehouden door verschillende toepassingsmogelijkheden, en met allerlei projecties van toekomstige transformaties en nu ook opkomende zorgen, is lastig te overzien. In de inleiding is reeds gesteld dat deze opkomende beloftevolle technologie in combinatie met gebrek aan publieke kennis over de maatschappelijke implicaties daarvan kan leiden tot publiek wantrouwen en oppositie. Dit impliceert dat indien de wetenschappers en beleidsmakers de maatschappelijke dimensie van nanotechnologie negeren, zij – goedschiks of kwaadschiks en vroeg of laat – geconfronteerd zullen worden met ethische en maatschappelijke vraagstukken. Daarmee is het belang van een genuanceerde en open publieke discussie over nanotechnologie aangegeven.

Het is verleidelijk om het beeld van immens potentieel van nanotechnologie en de euforie en angst die dat oproept te volgen en op die basis een maatschappelijke discussie in te gaan. Het (overigens weloverwogen) rapport van de Engelse Economic & Social Research Council (ESRC) (Wood et al. 2003) heeft een voorwoord waarin die aanlokkelijke weg gevolgd wordt:

“Nanotechnology is a new arena of science and engineering. Its early products mark only modest steps forward from those already in use, but its potential is immense. Its most extreme supporters claim that nanotechnology can rebuild the human body from within and effectively abolish death, while its enemies fear that instead, it could do away with life, by turning the surface of the Earth into an uninhabitable grey mess. The truth probably lies somewhere between these extremes. But even here the consequences are certain to be

significant, with novel medical technology, faster computers, new energy sources and improved materials.” (Nadruk door RvE et al.)

De retoriek van voorstanders (*supporters*) tegenover tegenstanders (*enemies*) is opvallend, evenals de zekerheid (*certainty*) waarmee het ‘immense potentieel’ en de gevolgen worden aangekondigd. Deze retoriek is krachtig en mediageniek. De maatschappelijke discussie die nu opkomt, kan daardoor gemakkelijk in een patroon geraken van vrienden en vijanden, zoals bij het biotechnologiedebat in hoge mate het geval is. Vele wetenschappers en bedrijven die zich bezighouden met nanotechnologie vrezen daarvoor.

Deze angst heeft op dit moment het positieve effect dat in diverse landen uit voorzorg commissies worden ingesteld, onderzoeken worden verricht en workshops en discussies worden georganiseerd om de mogelijke toepassingen en maatschappelijke effecten van nanotechnologie in kaart te brengen. In onze notitie hebben wij af en toe dezelfde retoriek van ‘vriend en vijand’, ‘grote beloften’ en ‘zekerheden’ gevolgd; dat is haast onvermijdelijk. We willen een aantal voorstellen doen waarmee de maatschappelijke discussie over nanotechnologie verrijkt en verdiept kan worden en daardoor boven de retoriek van voor- en tegenstanders en immense verwachtingen uit getild kan worden.

Hieronder zullen we de volgende zeven tips kort uit de doeken doen:

- Bied in het debat ruimte aan speculaties en nuchterheid;
- Zet in het debat maatschappelijke wensen en zorgen centraal;
- Om dat te verwerkelijken zijn continue, open interacties tussen overheid, wetenschap, bedrijfsleven en overige maatschappelijke actoren van groot belang;
- Voer het debat over nanotechnologie per toepassingsgebied;
- En niet los van bestaande *internationale* technologische trends en maatschappelijke discussies;
- Wees je er daarbij van bewust dat nanotechnologie zowel nieuwe als oude issues oplevert;
- Ten slotte: werk op korte termijn toe naar een breed gedragen publieke agenda.

Ruimte voor speculaties en nuchterheid

Hoge verwachtingen, gepaard aan droombeelden en doemscenario's, hebben hun functie in het stimuleren van baanbrekend onderzoek, het initiëren van techno-economische innovatie en (zoals boven aangegeven) het prikkelen van maatschappelijke discussie. Uitspraken over mogelijke toepassingen en hun gevolgen betreffen echter geen ‘zekerheden’; ze zijn veelal speculatief van aard. Wat is de kwaliteit van de droom- en doembeelden over de *brave new world* waarin dankzij nanotechnologie alles anders is? Hoe groot is de kans dat al die mooie

of juist angstaanjagende nieuwe mogelijkheden gerealiseerd worden, en op een betrouwbare manier gerealiseerd worden? Dat laatste is van groot belang om nanotechnologie uit de sfeer van demo's en prototypen te halen, maar zal heel veel inspanning vergen.⁶¹ In publieke discussies moet geanticipeerd worden op mogelijke nieuwe ontwikkelingen en toepassingen, en dat betekent dat speculaties meegenomen worden. Het ontkennen van de dynamische rol (zowel stimulerend als belemmerend) is het ontkennen van de wijze waarop de media, burgers, maar zeker ook experts, hun rol spelen in het maatschappelijk debat. Dat neemt niet weg dat tegelijkertijd een *reality check* hard nodig is. Niet om daarmee de discussie plat te slaan, maar juist om deze te verrijken.

Maatschappelijke wensen en zorgen centraal

Nanotechnologie wordt gezien als een speerpunttechnologie en dus als een centrale drijvende kracht in het vormgeven van de maatschappij van de toekomst. Die toekomst wordt nu gecreëerd doordat sommige ontwikkelingen op een bepaalde manier in gang worden gezet en andere niet. Met andere woorden *the best way to predict the future is by shaping it*. Bij het maken van die toekomst, waarin nanotechnologie een rol zal spelen, dienen maatschappelijke wenselijkheden en onwenselijkheden, waarden en doelen hoog op de agenda te staan. Dat is lang niet altijd het geval. Analoog aan de wapenwedloop is er nu een nanotechnologie-wedloop die aangedreven wordt door de zorg niet wetenschappelijk en economisch achter te raken. Legitimatie van onderzoek (*license to develop*) moet verder reiken dan economische motieven en wetenschappelijke vrijheid en nieuwsgierigheid. Maatschappelijke wensen en zorgen dienen bij de publieke verantwoording van nanotechnologische ontwikkelingen centraal te staan.

Pleidooi voor continue, open interacties

Op dit moment is er echter een kloof tussen de snel voortgaande R&D-activiteiten op het gebied van nanotechnologie en maatschappelijke (waaronder ethische (Mnyusiwalla et al. 2003)) reflectie en inbreng. Dit is alleen al het geval vanwege het feit dat nog weinig beleidsmakers en belangengroepen, laat staan burgers, op de hoogte zijn van ontwikkelingen op het gebied van nanotechnologie. De discussie over de kansen en gezondheidsrisico's van nanodeeltjes is daar een voorbeeld van. Het beter informeren van die partijen is zeker niet voldoende. Om de genoemde kloof te overbruggen zijn betere en vooral open interacties tussen nanotechnologen, beleidsmakers, bedrijven en andere relevante actoren nodig. Gezamenlijke reflectie moet tot uitdrukking komen in keuzes en strategieën op zowel maatschappelijk en politiek als technisch en bedrijfsmatig niveau. Dat eerste is vooral de inzet van activiteiten van het Rathenau Instituut. Het laatstgenoemde is de inzet van constructief Technology Assessment, waarmee nu in Nederland een begin wordt gemaakt.⁶²

Discussie per toepassingsgebied

Deze notitie heeft laten zien dat nanotechnologie vele gezichten kent. Nanotechnologie is een paraplu voor *enabling technologies* die hun maatschappelijke impact krijgen doordat ze opgenomen worden in verschillende toepassingsdomeinen en sectoren. De vele potentiële toepassingen en de clustering van onderzoeksgebieden onder de hippe paraplu-terme ‘nanotechnologie’ maakt de maatschappelijke relevantie van nanotechnologie zichtbaar voor de buitenwereld. In deze tijd creëert die zichtbaarheid vervolgens de wens om na te denken over de maatschappelijke aspecten van nanotechnologie. Tegelijkertijd maakt het brede karakter van nanotechnologie een omvattende behandeling van de maatschappelijke aspecten daarvan zeer lastig. Om de maatschappelijke discussie op een concrete en productieve wijze te voeren is het van belang onderscheid te maken tussen verschillende toepassingsgebieden.

Koppeling met bestaande internationale technologische trends en publieke discussies

Niet alleen zullen er verschillende kwesties kunnen spelen op verschillende gebieden, maar de effecten en kwesties zijn niet alleen toe te schrijven aan nanotechnologie, ze worden mede bepaald door wat er in een sector of domein reeds speelt. Ontwikkelingen in bijvoorbeeld de gezondheidszorg of in de militaire sector zijn op zich al aanleiding tot reflectie en discussie, zoals we in hoofdstuk 4 lieten zien. Het voorstander-tegenstanderpatroon kan er makkelijk toe leiden dat nanotechnologie als een aparte entiteit met een eigen dynamiek wordt gezien, waar men dan voor of tegen kan zijn. Wij hebben juist willen benadrukken dat nanotechnologie onderdeel is van allerlei ontwikkelingen. Dat betekent onder andere dat nanotechnologie, vanuit zowel technologisch als maatschappelijk oogpunt beschouwd, niet geheel nieuw is.

Zo past de ontwikkeling van micro-elektronica richting nano-elektronica binnen de visie van *ambient technology*, een relatief nieuwe trend die allerlei oude en nieuwe privacy-issues oproept. Toepassingen van nanotechnologie in de medische wereld sluiten aan bij de al eerder gesignaleerde opkomst van de voorspellende geneeskunde en het reeds bestaande publieke debat daarover. Het is daarom verstandig om de discussie over nanotechnologie aan te laten sluiten bij dergelijke reeds bestaande maatschappelijke debatten. Indien mogelijk en gewenst door de partijen die aan het debat deelnemen, is het wellicht raadzaam om een dergelijke discussie te voeren onder reeds bestaande, vertrouwde noemers, zoals voorspellende geneeskunde en *ambient technology*. Nanotechnologie kan daarbij zeker leiden tot specifieke reflecties of radicalisering van bepaalde discussiepunten.

Ontwikkelingen op het gebied van nanotechnologie hebben een internationaal karakter. Hoofdstuk 1 heeft laten zien dat de publieke discussie in Noord-Amerika vooruitloopt op die in Europa. Het is verstandig om in de Nederlandse discussie rekening te houden met en lessen te trekken uit ontwikkelingen en ervaringen in andere landen.

Nieuw en oud

De maatschappelijke interesse in nanotechnologie start bij de volledig nieuwe mogelijkheden die deze ontwikkeling op den duur lijkt te bieden en de consequenties die deze met zich mee kunnen brengen. Hoe fascinerend die mogelijkheden ook mogen zijn, ze behoren de aandacht niet af te leiden van bestaande techno-economische trends en daaraan verbonden publieke discussies. Gerelateerd aan de balans tussen speculatie en nuchterheid, is een goed evenwicht tussen 'oud' en 'nieuw' van belang. Deze notitie is geschreven vanuit deze gedachtegang.

Naar een breed gedragen publieke agenda

Deze notitie schetst een eerste concept-versie van een publieke discussie over nanotechnologie en de maatschappelijke consequenties daarvan. Het is van belang om op korte termijn te komen tot een breed gedragen agenda, op basis waarvan de publieke discussie over nanotechnologie verder richting, vorm en inhoud kan worden gegeven. Het Rathenau Instituut wil daaraan graag een bijdrage leveren en is van plan om voor of net na de zomervakantie van 2004 een publieke hoorzitting over nanotechnologie te organiseren. *Om het kleine te waarderen...* wordt gebruikt als achtergrondnotitie bij de voorbereiding van die publieke hoorzitting.

Summary

The Rathenau Institute is studying the need for social debate on nanotechnology. *Om het kleine te waarderen...* is an orientating study providing an overview of current international public thinking with regard to nanotechnology, its fields of application and social points of attention.

Definitions of nanotechnology

At this moment there is no such thing as an unequivocal, commonly used definition of nanotechnology. All definitions however refer to its physical scale. Nanotechnology is that technology based on the nano-scale, that is to say on dimensions of less than one hundred nanometres in one direction (a nanometre (nm) = one billionth metre). Some definitions refer to new phenomena and material properties manifesting themselves at the nanometre scale. Others refer to how (top-down and bottom-up) products are made on that scale. Top-down refers to achieving the nano-scale through miniaturisation. Bottom-up refers to processes on the nano-scale which are studied and which lead to new phenomena and new products.

Public discussion

The public debate on nanotechnology is clearly still in its infancy. The debate is being fueled by a combination of strong growth in financing and patents, high scientific expectations and related social hopes and concerns. These developments are attracting ever more attention from the media, investors, interest groups and such like. Some people speak of hype.

The debate on the social implications of nanotechnology has developed furthest in North America. In 2003 the United States introduced the *21st Century Nanotechnology R&D Act*, which also requires research to highlight social and ethical aspects. In the preparations for this act a hearing was held on the social aspects of nanotechnology.

In 2003 public discussion in Europe on nanotechnology received a strong impulse. The report *The Big Down* of the Canadian environmental organisation ETC Group played an initiating role. The report exposes the lack of knowledge on the health effects of nano-particles.

The report also looked at the convergence of nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive sciences, abbreviated as NBIC. On the one hand the idea of technological convergence leads to several 'optimistic' future images with unprecedented possibilities and on the other hand to doom scenarios of which the so-called *Grey Goo* scenario is a perfect example. This envisages self-replicating nanorobots escaping into the environment and turning all living matter into a dead 'grey mass'.

This scenario received the greatest attention from the media in Britain when Prince Charles expressed his worries about nanotechnology. Encouraged by this event the British government asked the Royal Society and the Royal Academy of Engineering to study possible benefits and problems which nanotechnology might introduce. The study was announced on 11 June 2003, the day on which the ETC Group and the 'Greens' were organising a seminar on the subject in the European Parliament. This brought public discussion about the social consequences of nanotechnology to the mainland of Europe.

Nanotechnology in the Netherlands

The Dutch government is investing large sums in nano-science; mainly within the framework of a large-scale research programme called NanoNed which is the successor to NanoImpulse. Public discussion in the Netherlands focuses mainly on being aware of what is going on and what the expectations are. Media are still hardly interested.

Encouraged by developments in Britain, and on the request of the Minister of Education, autumn 2003 saw the KNAW working group on the Consequences of Nanotechnology launched to analyse the status, future developments and social consequences of nanotechnology. Based on this working group's report the Minister will decide whether further steps need to be taken, for instance requesting the Rathenau Institute to provide material to allow for further social debate on nanotechnology.

Fields of application and social points of attention

Health effects of nano-materials

The most current subject of discussion on nanotechnology regards the safety of nano-particles for the environment and mankind. This problem is receiving ever more international attention.

Nano-electronics and privacy

For the past thirty years electrical equipment has become smaller, cheaper, faster and 'smarter'. This trend is described by Moore's Law. Whereas in the nineteen-seventies we witnessed the advent of micro-electronics, today technologies are developing at the interface of micro and nano-dimensions towards nano-electronics. This development calls up the image that in the future computers might be so small that we will be able to carry them around all day, and that most products (from keys to trousers and cars) will be 'intelligent'. In this so-called 'ambient intelligence' scenario products and people will always be 'online', and connected internationally by wireless communication methods. Such extensive technical possibilities to detect, localise and communicate clearly involve privacy implications and consequences in terms of safety, economics, schooling, employment, responsibilities, roles, and so on.

Bio-electronics and the makability of humans

Bio-electronics focuses on the development of electronic senses and connecting neurons and electronics. The swift development, miniaturisation in particular, of chips provides access to a wide range of applications such as diminishment of pacemakers, bionic eyes and treatment of damage to the spinal cord. There is speculation on the direct linkage of brain functions to chips and even the Internet. Such developments raise ethical questions about the makability of humans (the relationship between man and machine) and the boundary between life and non-life.

Nano (and gene) technology in the medical and pharmaceutical environment

The medical world – from research, development and diagnosis to administering medicines and following the health of the possible future patient – is awash with innovations. Many of these have their origins in the growing knowledge of the human genome and the continuation of genomics in proteomics, and the techniques developed within that research domain such as DNA chips and lab-on-a-chip systems. To produce such chips we need microtechnology or nanotechnology. Nanotechnology is also contributing to the development of drug delivery systems and the production of contrast fluids which provide the possibility to map illness processes at the molecular level. The latter requires so-called biomarkers, which are being discovered rapidly through genomics and proteomics research. These developments raise questions emanating from discussions on 'predictive medicine'. Important aspects are the acceptability of early diagnostics for lack of therapy, affordability, right to not-knowing, consequences for relationships and abuse of genetic information. Nano-

technology creates yet more possibilities in this area and thus fuels further discussion.

Military technology

State security is a prominent driving force behind the development of nanotechnology in the United States of America. In Europe too, various countries such as Britain and Sweden invest in defence applications of nanotechnology. One of the challenges is to use nanotechnology to detect and protect from chemical and biological weapons, and radiation and explosives dangers. Nanotechnology can also be used to further implement the concept of the unmanned war, which seems to be entering a new stage due to the development of autonomous fighting systems or so-called *killer robots*. In addition, nanotechnology is being used to increase the level of protection and performance of fighting soldiers. This development raises many questions, such as questions regarding new weapons and a new arms race, ethics of the remote control war and the makability of man.

A sober view of nanotechnology as a tool in the social debate

The combination of a promising technology and lack of public knowledge about the social implications of it could possibly lead to public distrust and opposition. Public discussion about nanotechnology is essential to inform a wide audience about developments in the field and clarify the social aspects involved.

The Rathenau Institute introduces seven interrelated concepts to intensify, enrich and deepen the discussion on nanotechnology:

- Create room for both speculation and common sense during debates;
- Make sure social wishes and concerns are central themes in the debate;
- Ensure ongoing open interaction between government, the scientific world, companies and social actors;
- Hold the debates for each individual field of application;
- Hold the debates as part of current international technological trends and social discussions;
- Keep in mind the fact that nanotechnology leads to both new and old issues;
- Finally: work swiftly towards a widely supported public agenda.

To contribute to such a widely supported public agenda on the basis of which the public discussion on nanotechnology will develop further shape, the Rathenau Institute plans to organise a public hearing before or shortly after the summer vacations of 2004. *Om het kleine te waar-*

deren... will be used as a background note in preparation of the hearing. It provides an initial concept agenda for public discussion, and thus presents a form of 'work in progress'. Readers' comments and any supplementary information for the authors will be most welcome prior to the hearing.

Literatuur

Achterhuis, H. (2000). 'Frankenstein revisited'. *NRC Magazine*, september.

Altmann, J. & M. Gubrud (2003). *Military, arms control and security aspects of nanotechnology. Discovering the nanoscale*. Conferentie Darmstadt, 9-12 oktober.

Arnall, A.H. (2003). *Future technologies, Today's choices. Nanotechnology, artificial intelligence and robotics; a technical, political and institutional map of emerging technologies*. London: Greenpeace Environmental Trust.

Ball, P. (2003). 'Nanotechnology in the firing line'. *Nanotechnology and Society*, 23 december.
www.nanotechweb.org/articles/society/2/12/11.

Baumgartner, W. et al. (2003). *Nanotechnologie in der Medizin*. Bern: TA-Swiss Centre for Technology Assessment.

Blume, S.S. (2000). 'Land of hope and glory: exploring cochlear implantation in the Netherlands'. *Science Technol. Human Values*, 25 (2), pp. 139-166.

Brown, D. (2002). 'Nano Litterbags? Experts see potential pollution problem'. *Small Times*, March 15. www.smalltimes.org.

Brumfield, G. (2003). 'A little knowledge...' *Nature*, Vol. 424 (17 July), pp. 246-248.

Busquin, P. (2000). *Proceedings of Joint EC/NSF workshop on Nanotechnologies*. Toulouse, 19-20 October.

Chaudhari, P. (2001). 'Future implications of nanoscale science and technology: wired humans, quantum legos, and an ocean of information'. In: Roco, M.C. & W. Sims Bainbridge (eds.) (2001). *Societal implications of nanoscience and nanotechnology*. Dordrecht: Kluwer.

Colvin, V. (2003). *Responsible nanotechnology: looking beyond the good news*. www.eurekalert.org.

Decker, M. (2003). 'Definitions of nanotechnology – Who needs them?' In: *Akademie-Brief*, No. 41 (september), pp. 1-3.

Dijk, P. van (1992). 'Günther Anders: de 'geantiqueerdheid' van de mens'. In: Achterhuis, H. (red.) (1992). *De maat van de techniek*. Baarn: Ambo.

Drexler, K.E. (2001). 'Machine-phase nanotechnology'. *Scientific American*, vol. 285, No. 3 (september), pp. 74-75.

Dunn, S. & R.W. Whatmore (2002). *Nanotechnology advances in Europe*. Brussels: STOA 108 EN.

Enzing, C. & A. van der Giessen (2003). *Voedingsgenomicsonderzoek in Nederland. Mogelijke producten en maatschappelijke aspecten*. Den Haag: Rathenau Instituut; werkdocument 89.

ETC Group (2003a). *The Big Down: Atomtech – Technologies converging at the nano-scale*. Winnipeg, Canada: ETC Group. www.etcgroup.org.

ETC Group (2003b). 'The strategy for converging technology: The little BANG theory'. *ETC Group Communiqué*, Issue No. 78 (March/April). www.etcgroup.org/documents/comBANG2003.pdf.

Frauenfelder, M. (2003). *Chips, other small devices help patients battle eye diseases*. www.smalltimes.com

Geels, F. (2002). *Understanding the Dynamics of Technological Transitions. A co-evolutionary and socio-technical analysis*. Proefschrift, Universiteit Twente, 1 November 2002.

Giesendorf, B.A.J. et al. (1997). 'Nieuwe ontwikkelingen in de automatisering van moleculaire diagnostiek: mutatie-analyse'. *Nederlands Tijdschrift voor Klinische Chemie en Laboratoriumgeneeskunde*, 22, pp. 215-218.

Gingrich, N. (2002). 'Vision for converging technologies'. In: Roco, M.C. & W. Sims Bainbridge (eds.) (2002). *Converging technologies for improving human performance: Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*. Arlington, Virginia: NSF/DOC.

Grand Challenges Workshop Series (2002). *Nanotechnology Innovation for Chemical, Biological, Radiological and Explosive (CBRE): Detection and Protection*. Final workshop report, November. In cooperation with the AVS Science and Technology Society.

Guston, D. & H. D. Sarewitz (2001). 'Real-Time Technology Assessment'. *Technology in Society*, 23 (4), pp. 98-118.

Heijdra, M. (2002). *Lab-on-a-chip-technologie: Een TA onderzoek naar de ontwikkeling van lab-on-a-chip*. Leiden/Enschede. Stageverslag, Universiteit Twente.

Hughes, J.J. (2001). *The politics of transhumanism*.
www.changesurfer.com/Acad/TranshumPolitics.

Huszar, G. (2003). 'Overall om ons heen verdwenen. Ubiquitous computing; een visie die technologie laat verdwijnen in haar omgeving'. *TechNieuws*, 1.

Kimball, R. (2003). 'RFID tags and Smart Dust'. *Intelligent Enterprise*, 18 juli. www.intelligententerprise.com/030718/612warehouse1_1.shtml.

Kotler, S. (2003). 'Take your medicine'. *Wired*, March.

Kreyling, W.G. (ed.) (2003). 'NANOMED. Nanoparticles and their biological response'. www.fp6-nanomed.org/publicfiles/EOINanomed.pdf.

Kurzweil, R. (2000). *The age of spiritual machines*. New York: Penguin.

Langheinrich, M. (2001). 'Privacy by design: Principles of privacy aware ubiquitous computing'. *Proceedings of Ubicomp*, September 30 – October 2, Atlanta, GA.

Lanza, G.M., R. Lammerichs, S. Caruthers & S.A. Wickline (2003). 'Molecular imaging in MR with targeted paramagnetic nanoparticles'. *Medica Mundi*, 47/1 (april), pp. 34-39.

Malsch, I. (2002). 'Tiny tips probe nanotechnology'. *The Industrial Physicist*, October/November. www.aip.org/tip

Malsch, I. (2003a). 'Bèta's negerden maatschappelijke belangen'. *Trouw*, 22 februari.

Malsch, I. (2003b). *Nanotechnologie en cult*. Studium Generale-lezing aan de Universiteit van Maastricht. www.malsch.demon.nl.

Maynard, R.L. & C.V. Howard (eds.) (1999). *Particulate Matter: Properties and effects upon health*. Oxford: Bios Scientific Publishers.

Ministry of Defence (2001): 'Nanotechnology: its impact on defence and the MOD'. *Information sheet*, 05/02/2001, issue no. 2 (8/10/2). www.mod.uk.

Mizrach, S., *Should there be a limit placed on the integration of humans and computers and electronic technology?*
www.limnat.ch/koni/texte/cyborg-ethics.html.

Mnyusiwalla, A., A.S. Daar & P.A. Singer (2003). "Mind the gap": science and ethics in nanotechnology'. *Nanotechnology*, 14, R9-R13.

Moravec, H. (1988). *Mind children*. Cambridge: Harvard University Press.

Nanoforum (december 2003). *Nanotechnology and its implications for the health of the EU citizen*. www.nanoforum.org.

Nicolelis, M. (2002). 'The amazing adventures of robotrat'. *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 6, No. 11 (november).

O'Harrow, R. (2001). 'An ID chip in your body?' *Washington Post*, December 19.

Paschen, H. et al. (2003). *TA-projekt Nanotechnologie: Endbericht*. Berlin: TAB. Arbeitsbericht Nr. 92 – Berichterstatter-Exemplar.

Pister, K. (2003). *Smart Dust: Autonomous sensing and communication in a cubic millimeter*.
<http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust>.

POST (1996). *Making it miniature – nanotechnology*. London: Parliamentary Office of Science and Technology.

POST (2003). *Medical self-test kits*. London: Parliamentary Office of Science and Technology. Postnote Nr. 194.

Pott, H.J. (2001). *Survival in het mensenpark: over kunst, cyborgs en posthumanisme*. Oratie. Erasmus Universiteit Rotterdam.

Raeymaekers, P. (2001). 'Voor elke patiënt de juiste pil'. *N&T wetenschapsmagazine*, september.

Reuzel, R. (2001). *Health technology assessment and interactive evaluation: different perspectives*. Nijmegen: University of Nijmegen.

Roco, M.C. & W. Sims Bainbridge (eds.) (2001). *Societal implications of nanoscience and nanotechnology*. Dordrecht: Kluwer.

Roco, M.C. & W. Sims Bainbridge (eds.) (2002). *Converging Technologies for Improving Human Performance*. Arlington, Virginia: National Science Foundation (NSF)/Department of Commerce (DOC).

Roses, A.D. (2000a). 'Pharmacogenomics and the practice of medicine'. *Nature*, 405, pp. 857-865.

Roses, A.D. (2000b). 'Pharmacogenetics and future drug development and delivery'. *The Lancet*, 355, pp. 1358-1361.

Schwägerl, C. (2003). 'Abrakadabra. Es lebe die Utopie: Die Neurotechnologie entwickelt sich rasant'. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, nr. 126 (02-06), p. 33.

Theis, Thomas N. (2001). 'Information technology based on a mature nanotechnology'. In: Roco, M.C. & W. Sims Bainbridge (eds.) (2001). *Societal implications of nanoscience and nanotechnology*. Dordrecht: Kluwer.

Tijmes, P. (1992). 'Arnold Gehlen: het antropologisch vertrekpunt'. In: Hans Achterhuis (red.) (1992). *De maat van de techniek*. Baarn: Ambo.

Venneri, S.L. (2001). 'Implications of nanotechnology for space exploration'. In: Roco, M.C. & W. Sims Bainbridge (eds.) (2001). *Societal implications of nanoscience and nanotechnology*. Dordrecht: Kluwer. P. 217.

Vogelson, C.T. (2001). 'Advances in drug delivery systems'. *Modern Drug Discovery*, Vol. 4 (april) pp. 49-50, 52.

Wise, G. (2000). 'Engineering the biochip. Biochemical engineer Jonathan Dordick and his team are deciphering the book of life'. *Rensselaer Magazine*, december.

Wolde, A. ten (ed.) (1998). *Nanotechnology. Towards a molecular construction kit*. Den Haag: STT Netherlands Study Centre for Technology Trends, STT 60.

Wolff, F.A. de (1999). 'Farmacogenetica in historisch perspectief'. *Nederlands Tijdschrift voor Klinische Chemie en Laboratoriumgeneeskunde*, 24, pp. 215-219.

Wood, S., R. Jones & A. Geldart (2003). *The social and economic challenges of nanotechnology*. London: Economic & Social Research Council.

Yonas, G. & S.T. Picraux. (2001). 'National needs drivers for nanotechnology'. In: Roco, M.C. & W. Sims Bainbridge (eds.) (2001). *Societal implications of nanoscience and nanotechnology*. Dordrecht: Kluwer.

Zundert, M. van (2003). Interview: eerste DNA-chip in gebruik. "Over tien jaar begint elke kankerbehandeling met profiling." *Diagned*, april.

Noten

- 1 De term 'molecular manufacturing' (ook wel 'molecular nanotechnology') is niet onschuldig, omdat deze etiketten ook gebruikt worden door de volgelingen van Eric Drexler om te verwijzen naar de (speculatieve) nanorobots als 'molecular assemblers'. Enkele formuleringen in de nieuwe nanotechnologiewet in de Verenigde Staten (zie voor de details paragraaf 1.1) hebben tot een strijd geleid of deze speculaties nu ineens serieus genomen worden in de politiek of niet. Zie o.a. de commentaren in *TNT Weekly* van 28 november 2003.
- 2 Het artikel van Joy heeft ook in Duitsland, in aansluiting op het debat dat Peter Sloterdijk met zijn lezing *Regeln für den Menschenpark* in 1999 startte, heel wat losgemaakt. In Nederland is aan deze discussie destijds (vreemd en jammer genoeg) weinig aandacht besteed. *NRC Handelsblad* heeft het artikel van Joy vertaald en gepubliceerd. Hans Achterhuis (2000) heeft vervolgens een reactie, getiteld 'Frankenstein revisited' op het artikel van Joy geschreven. Daarna werd het stil.
- 3 108th US Congress, First Session, S.189, Section 5 b and c.
- 4 Zie voor het schriftelijke verslag van deze hoorzitting www.house.gov/science/hearings/full03/apr09.
- 5 Tot de elf programma-activiteiten die gespecificeerd worden, behoort nr. 10: "Ensuring that ethical, legal, environmental, and other appropriate societal concerns, including the potential use of nanotechnology in enhancing human intelligence and in developing artificial intelligence which exceeds human capacity, are considered during the development of nanotechnology by – (A) establishing a research program to identify ethical, legal, environmental and other appropriate societal concerns related to nanotechnology, and ensuring that the results of such research are widely disseminated; (B) requiring that interdisciplinary nanotechnology research centers established under paragraph 4 include activities that address societal, ethical and environmental concerns; (C) insofar as possible, integrating research on societal, ethical and environmental concerns with nanotechnology research and development, and ensuring that advances in nanotechnology bring about improvements in quality of life for all Americans; and (D) providing (...) for public input and outreach to be integrated into the Program by the convening of regular and ongoing public

discussions, through mechanisms such as citizens' panels, consensus conferences, and educational events, as appropriate."

- 6 Zie www.foresight.org.
- 7 Zie www.crnano.org.
- 8 CRN heeft links met transhumanisme via een van de oprichters, Mike Treder, die lid is van het bestuur van de World Transhumanist Association (WTA) (zie www.transhumanism.org) en adviseur van het Extropy Institute. Bainbridge houdt een tafelrede op het congres van de transhumanisten in 2002, en gaat zover op te roepen tot actie om te zorgen dat de vooruitgang kan blijven vooruitgaan: "we citizens of the future (...) have to build a network of clandestine groups (...) and break the chains that bind science".
- 9 James J. Hughes (2001) geeft in zijn paper *The politics of transhumanism* een goede beschrijving van de institutionele en ideologische ontwikkeling van het transhumanisme.
- 10 ETC staat voor Equity Erosion, Technology Transformation and Corporate Control. De ETC Group komt uit Canada (Winnipeg) en combineert media-activisme met inhoudelijk goed voorbereide standpunten. In de jaren negentig verzette deze groep – toen onder de naam Rural Advancement Foundation International – zich tegen biotechnologie in de landbouw en lanceerde de media-genieke term 'Terminator technology' voor genetisch gemodificeerde planten die geen vruchtbare zaden produceren. Zie de website: www.etcgroup.org.
- 11 Deze speculatie is gebaseerd op uitlatingen van Mark Wiesner, een professor van het CBEN van Rice University. Wiesner vraagt zich af: "Where does this stuff go? What will be the interaction with the environment? Is it the next best thing to sliced bread or the next asbestos?" (Brown 2002).
- 12 De bijeenkomst was georganiseerd in samenwerking met de Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC), de Times Higher Education Supplement (THES) en het Institute of Nanotechnology (ION). Presentaties werden gehouden door onder andere Greenpeace, The Smithsonian Institute en de Church of Scotland, Society, Religion and Technology Project.
- 13 Het initiatief werd genomen door het Office for Science and Technology (OST) binnen het Department of Trade and Industry.
- 14 Op 30 oktober 2003 zijn er twee workshops georganiseerd, een met wetenschappers en een met belangengroepen. Ook worden er

binnen dit project twee workshops met burgers gehouden en wordt een publieksonderzoek onder duizend tot tweeduizend mensen uitgevoerd. Informatie over de werkwijze en de tussenresultaten van dit project kan men vinden op de website www.nanotec.org.uk.

- 15 *Nature* 424 (17 juli 2003), p. 237. Een interessant voorbeeld van deze (veelal falende) strategie is hoe in de *Cordis Focus* van 30 juni 2003, in het verslag van de bijeenkomst in het Europees Parlement op 11 juni, onder het kopje 'Nanotechnology: Opportunity or Threat?' nanotechnologie als heel onschuldig gedefinieerd werd: "Nanotechnology is a new manufacturing technology able to make products smaller and stronger."
- 16 POST (1996) publiceerde de studie *Making it miniature – nanotechnology*. POST letter 86 (november 1996) geeft een samenvatting van dat rapport.
- 17 Zwitserland investeert per hoofd van de bevolking het meest in nanotechnologieonderzoek en -toepassingen. Nanotechnologie is daar sterk gericht op toepassingen in de farmaceutische en de biotechnologie-industrie, gevestigd rond Basel (Malsch 2003b).
- 18 Na de presentatie van deze studie eind 1998 werd het Nederlands-Vlaamse nanotechnologieplatform opgericht, gecoördineerd door het Vlaamse IWT en het Nederlandse STW. Er was echter geen geld beschikbaar voor dit platform, zodat het een stille dood stierf.
- 19 Er is ook een vereniging van deze bedrijven: MINAC, het Micro- en Nano Cluster (zie www.minac.nl).
- 20 Binnen het programma NanoImpuls werken de Universiteit Twente (Mesa+, tevens penvoerder), Universiteit van Amsterdam (de Fotonica Groep), Technische Universiteit Delft (Dimes), Technische Universiteit Eindhoven, Rijksuniversiteit Groningen (BioMaDe), Katholieke Universiteit Nijmegen (NSR/RIM-instituut), Wageningen Universiteit en Researchcentrum (Wageningen BioNanoTechnology) en TNO-TPD samen, en er zijn relaties met de Nederlandse industrie, waaronder Avantium, ASM International, ASML, DSM Research, Philips en Unilever.
- 21 De speerpunten binnen het NanoImpuls-programma zijn NanoFluidics, NanoPhotonics, NanoSpintronics en NanoInstrumentation & Fabrication. NanoFluidics betreft het beheersen van zeer kleine vloeistofstromen, waarmee bijvoorbeeld chemische analyses op een chip – zogenaamde *lab-on-a-chip*-technologie kunnen worden uitgevoerd. NanoPhotonics richt zich onder meer op de miniaturisatie van optische schakelingen. NanoSpintronics maakt

gebruik van het feit dat een elektron niet alleen een elektrische lading heeft, maar ook een spin, het magnetische moment van een elektron. Het benutten van deze eigenschap op nanoschaal biedt mogelijkheden voor het ontwikkelen van nieuwe materialen en instrumenten. NanoInstrumentation & Fabrication zal zich onder meer bezighouden met het verkleinen van chips (dertig procent per twee à drie jaar). Daarvoor zijn nauwkeurige fabricage- en inspectietechnieken nodig, waarbij nanotechnologie een rol zal spelen.

- 22 *Besluit subsidies investeringen in de kennisinfrastructuur* (BSIK), 28 november 2003.
- 23 Voor een overzicht van de elf Flagship Programs binnen NanoNed zie www.st.nl/nanoned.
- 24 Rip is bezig met het vormen van een nationaal en Europees netwerk TANTE (Technology Assessment of NanoTechnology in Europe). In dat verband is op 27 juni 2003 een eerste bijeenkomst georganiseerd over de opzet van het TA-programma binnen het NanoImpuls-programma. Als mogelijk aandachtspunt voor TA-onderzoek werd op die dag bio-nanotechnologie genoemd. De insteek van het programma is academisch van aard (onderzoek wordt uitgevoerd door aio's en postdocs) en vooral gericht op het (kritisch) in kaart brengen van de dynamiek van het nieuwe onderzoeksgebied dat onder de noemer nanotechnologie valt.
- 25 De formulering in de brief van de minister van 8 augustus 2003 is interessant: "Nu ook Nederland steeds meer prioriteit geeft aan het onderzoek op het nanotechnologisch terrein, acht ik het wenselijk dat wij de Angelsaksische voorbeelden volgen en ons beraden op de mogelijke ethische en maatschappelijke problemen op dit terrein. Als eerste stap verzoek ik de Akademie om voor mij een rapport op te stellen waarin op basis van de wetenschappelijke literatuur de mogelijke gevaren en problemen, ook die welke thans nog als zeer speculatief moeten worden gezien, worden geïnventariseerd en waarin vervolgens kritisch wordt geanalyseerd wat het realiteitsgehalte daarvan is. Op basis van een dergelijk rapport zal ik vervolgens bezien of het wenselijk is om verdere stappen te zetten, zoals een verzoek aan het Rathenau Instituut om zorg te dragen voor materiaal waarmee een maatschappelijk debat over dit onderwerp op gang kan worden gebracht." Eerder in de brief had de minister van OCW al geschreven: "Hoewel deze en andere gevaren op dit moment nog speculatief lijken te zijn, is het toch verstandig om dit onderwerp serieus te nemen, en het voorzorgsbeginsel op gepaste wijze toe te passen."

- 26 En een column van Huub Schellekens in *de Volkskrant* van 25 oktober 2003 over nano-ethiek, die volgens hem "letterlijk over bijna niets gaat".
- 27 Geciteerd in het tijdschrift *The Ecologist* (mei 2003), p. 38. In dit nummer staat een zestien pagina's lange special over nanotechnologie.
- 28 Deeltjes die ingeademd kunnen worden, worden als volgt geclassificeerd: grof (diameter < 10 micrometer, fijn (< 2.5 micrometer) en ultrafijn (< 0.1 micrometer = 100 nanometer). Nanodeeltjes worden zodoende ook wel ultrafijne deeltjes genoemd. Ultrafijne deeltjes kunnen andere eigenschappen hebben dan grotere deeltjes (denk bijvoorbeeld aan het elektrisch geleidingsvermogen of de chemische reactiviteit).
- 29 Als resultaat hiervan verscheen in 1999 het boek *Particulate Matter: Properties and effects upon health*. (Maynard and Howard 1999)
- 30 Testimony of Dr. Vicki L. Colvin (CBEN, Rice University, Houston, Texas) before the U.S. House of Representatives Committee on Science in regard to "Nanotechnology Research and Development Act of 2003", 9 april, 2003 (www.ruf.rice.edu/~cben/ColvinTestimony040903).
- 31 Afhankelijk van de gebruikte radiofrequentie werkt de RF-ID-technologie op korte (1,5 m) of wat langere (30 m) afstand.
- 32 Zie verslag hoorzitting over RF-ID technology and pervasive computing van de senaat in Californië, gehouden op 18 augustus 2003 (zie www.sen.ca.gov).
- 33 Zie vorige noot.
- 34 Mems, ook wel 'smart matter' genoemd, is een technologie die computers combineert met kleine mechanische apparaatjes, zoals sensoren, spiegels en ventielen. Smart Dust is een voorbeeld van een mems. Mems worden al toegepast in airbags van auto's.
- 35 Deze bedrijven zijn Dust Inc en Crossbow Technologies. Voor meer informatie zie <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust>.
- 36 Deze zelforganisatie is mogelijk door open source software met de naam TinyOS (wat staat voor Operating System support for tiny networked sensors). Deze software wordt inmiddels door meer dan honderd onderzoeksgroepen over de hele wereld gebruikt. Het concept van 'distributed intelligence' speelt hier een centrale rol.

- 37 Voor een eerste indruk van mogelijke toepassingen zie bijvoorbeeld Pister (2003).
- 38 Bionica ('bionics') wordt ook gebruikt om "engineering approaches which take nature as their model" aan te duiden. In het geval van nanotechnologie is de heuristiek van zelforganisatie van moleculen een voorbeeld van bionica. Het bijvoeglijk naamwoord 'bionic', zoals in 'bionic man', heeft een eigen betekenisontwikkeling door-gemaakt: "Bionic = having normal biological capability or performance enhanced by or as if by electronic or electromechanical devices" (uit Webster's Ninth New Collegiate Dictionary).
- 39 Voor een gedetailleerde studie van de geschiedenis van cochleaire implantaten in Nederland zie o.a. Blume, (2000).
- 40 Zie bijvoorbeeld het rapport *Nanotechnology: views of scientists and engineers* van de Royal Society en de Royal Academy of Engineers (2003) te vinden op www.nanotec.org.uk/.
- 41 Zie het hoofdstuk 'De moderne tijd voorbij?' in Wilde (2000).
- 42 In het colofon van *Wired* staat McLuhan vermeld als 'saint', als de patroonheilige van de redactie.
- 43 In de filosofische antropologie is dit begrip geïntroduceerd door Arnold Gehlen (zie Tijmes 1992). Dan gaat het echter niet om een uitdaging die op een modernistische manier overwonnen moet worden, maar om een wezenskenmerk van het mens-zijn dat begrijpelijk maakt wie en hoe hij/zij is.
- 44 Onderzoeken naar militaire of medische toepassingen van nanotechnologie zijn meestal gescheiden werelden. De (culturele) verschillen tussen beide werelden kunnen mogelijk helpen het onderscheid tussen verbeteren en herstellen te verhelderen.
- 45 In *Medica Mundi* 47/1 (april 2003), p. 80 wordt moleculaire geneeskunde als volgt omschreven: "Molecular medicine is the treatment of injury or disease at the molecular level. Examples include the use of DNA-based diagnostic tests or medicine derived from a DNA-sequence. It includes molecular diagnostics, molecular imaging and molecular therapy."
- 46 Zie voor een beschrijving van deze technologie en begrippen als *genomics* en *proteomics* de publicatie van Enzing en Van der Giessen (2003).
- 47 Ook hier speelt de discussie of we hier te maken hebben met nanotechnologie dan wel microtechnologie. Zoals het gebruik van het

woord *micro-array* al aangeeft, is er hier sprake van microtechnologie. De ontwikkeling speelt zich echter op dit moment af op het grensvlak tussen micro- en nanotechnologie, dat wil zeggen, deze gaat in de richting van nano-arrays.

- 48 Engelse wetenschappers verwachten dat op de lange termijn het complete menselijke genoom in een halve dag in kaart gebracht kan worden. Zie het rapport *Nanotechnology: views of scientists and engineers* van de Royal Society en de Royal Academy of Engineering (www.nanotec.org.uk).
- 49 Zie www.erfelijkheid.nl/erfelijkheid/gentests.php.
- 50 Dit artikel is gebaseerd op twee artikelen van Allen D. Roses (2000a, 2000b).
- 51 'Patch' betekent hier een pleister die medicijnen afscheidt.
- 52 Zie www.genomics.nu/aktueel/knipsel26.htm.
- 53 Hier een mooie aansluitende quote uit het afgewezen onderzoeksvoorstel NANOMED (Kreyling 2003: 14): "The above combination of events would be the perfect setting for a Roald Dahl story, which would describe the paradoxical death of patients with cardio-vascular disease treated with the most modern methods, i.e. nanotechnological devices that provoked a reaction of the clotting systems."
- 54 Newt Gingrich is een voormalige (ultra)conservatieve voorzitter van het Amerikaanse Huis van Afgevaardigden en transhumanist.
- 55 Zie www.nanonordic.com.
- 56 Het onderzoeksprogramma heet *Nanotechnology Innovation for Chemical, Biological, Radiological and Explosive Detection and Protection*.
- 57 Zie <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust>.
- 58 Geciteerd in Ball (2003).
- 59 Uitspraak gedaan tijdens een presentatie bij het *China-EU Forum on nanosized technology* in Peking, 17-18 december 2002.
- 60 Zie ook *Nanotechnology helps solve the worlds energy problems*, op www.nanoforum.org.

- 61 Het gezaghebbende blad *The Economist* publiceerde in maart 2003 een diagnose van de situatie die het citeren waard is: "It seems inevitable that nanotechnology will continue to spread into materials, much as plastics reformed business after business in the second half of the 20th century. What is needed is time to work out how to do the basic assembly of atoms into stable structures, and then to learn how to do that continuously on a predictable and profitable basis. For now, the researchers are in the process of turning things over to the engineers. It will be several years yet before they, in turn, hand the prototypes and know-how over to the manufacturing foremen and the marketers. Purists in the field see applications that have been considered so far as 'passive' nanotechnology, because they do only one thing. They would like to see greater focus in future on 'active' nanotechnology – i.e. on nanodevices that interact with one another. They believe that not until components actively interact will any of the promised breakthroughs accrue, in molecular electronics, genetic engineering, bio-sensors and other figments of the nano-optimists' imagination. Even then there are two big obstacles to overcome. The first is coming up with an interface between living entities and electronic devices – i.e., between carbon and silicon. It does no good to have a fuel cell made of carbon nanotubes if it cannot communicate when it is about to run out of fuel. (...) Solving the integration issue will create another problem: how, in fact, to design and build nanodevices. The unpredictable behaviour of nanoscale objects means that engineers will not know how to make nanomachines until they actually start building them. Such a conundrum could take years to solve – and even then, it will be by trial and error and a lot of luck."
- 62 Zie hoofdstuk 3. In de VS is voorgesteld Real-Time TA te doen, met een vergelijkbare inzet (Guston and Sarewitz 2001). Arie Rip ziet dergelijke ontwikkelingen, waaronder ook de zgn. ELSA (Ethical, Legal and Social Aspects)-component voor nieuwe R&D-programma's, als het begin van reflexieve co-evolutie van wetenschap, technologie en maatschappij.

Over de auteurs

Rinie van Est heeft technische natuurkunde gestudeerd in Eindhoven en politicologie in Amsterdam. In 1999 is hij gepromoveerd op het bestuurskundige proefschrift *Winds of Change*, over de interactie tussen politieke, technische en economische innovatie op het gebied van wind-energie in Californië en Denemarken.

Hij werkt één dag in de week als docent Technology Assessment en Foresight aan de faculteit Technology Management van de TU Eindhoven. Sinds 1997 is hij werkzaam bij het Rathenau Instituut. Daar houdt hij zich bezig met methoden van Technology Assessment en internationale projecten. De afgelopen jaren is hij actief geweest op het gebied van voedingsgenomics. Op dit moment coördineert hij activiteiten op het gebied van nanotechnologie.

Ineke Malsch studeerde natuurkunde in Utrecht en volgde post-academisch onderwijs in milieu effect rapportage (Universiteit van Amsterdam en University College Wales) en Wetenschaps- en Techniek Onderzoek (Universiteit Twente). Ze heeft gewerkt bij STOA (Europees Parlement) en IPTS (Europese Commissie), onder andere aan nanotechnologieprojecten. Sinds 1999 is ze directeur van Malsch TechnoValuation, een Utrechts adviesbureau op het gebied van (nano)technologie en samenleving. De ontwikkeling van nanotechnologie in Europa volgt ze sinds 1995. Ze heeft meerdere publicaties over nanotechnologie op haar naam staan.

Arie Rip begon zijn carrière als chemicus in Leiden en is gepromoveerd op het proefschrift *Maatschappelijke verantwoordelijkheid van chemici*. Aan de Universiteit Leiden ontwikkelde hij tevens onderwijs en onderzoek op het gebied van chemie en samenleving. Hij vervulde drie jaar een gasthoogleraarschap Wetenschapsdynamica aan de Universiteit van Amsterdam. Sinds 1987 is hij hoogleraar Filosofie van Wetenschap en Techniek aan de Universiteit Twente. Een van zijn aandachtsgebieden is Technology Assessment (TA) gebaseerd op inzichten in de dynamiek van technologieontwikkeling en de maatschappelijke inbedding ervan. Hij stond aan de wieg van de constructieve TA-aanpak en past deze onder andere toe op het gebied van nanotechnologie. Hij coördineert nu het TA-onderzoek binnen NanoNed.

