

viWTA
Dossier

2

NANOTECHNOLOGIE STAND VAN ZAKEN

NANOTECHNOLOGIE STAND VAN ZAKEN

viWTA DOSSIER 2

VOORWOORD

Een mensenhaar is 80.000 nanometer dik. Tachtigduizend keer een miljardste van een meter. Ga even met een hand door uw haar en voel. Dank zij de nanotechnologie maken en manipuleren wetenschappers in Vlaanderen en elders objecten die duizend of zelfs tienduizend keer kleiner zijn. Het is nauwelijks voorstelbaar.

Nanotechnologie is niet hetzelfde als miniaturisering. Die is niet nieuw. Camera's passen tegenwoordig in een luciferdoosje, een PC heeft evenveel rekenkracht als een reusachtige mainframe van dertig jaar geleden. Op een zilverkleurig schijfje van tien cm past een encyclopedie. We kijken er niet meer van op.

Maar nanowetenschap en -technologie doen een fundamentele stap verder. Het gaat niet alleen om het verkleinen. Het gaat ook om het bouwen, op de minuscule schaal van atomen en moleculen. De nanotechnologie laat toe om nieuwe materialen te construeren met revolutionaire eigenschappen. Op deze schaal kunnen wetenschappers biologisch materiaal verbinden met kunstmatig materiaal: de biochip wordt mogelijk.

Zo zullen heel wat nieuwe producten en processen ontstaan, voor een brede waaier van sectoren en domeinen. Van kleding tot waterzuivering, van de automobielsector tot de geneeskunde, van landbouw tot schoonheidsproducten. Experts voorstellen een haast oneindige rijkdom aan toepassingen. In dit dossier proberen we u een zo volledig mogelijk overzicht te bieden, met veel aandacht voor de kennis en de expertise die in Vlaanderen aanwezig zijn.

Maar elke medaille heeft een keerzijde. Volgens sommige experts is de nanotechnologie niet zonder risico's. Bovendien maakt ze ingrijpende maatschappelijke veranderingen mogelijk. Er zijn dus heel wat aandachtspunten denkbaar bij de verdere ontwikkeling van nanowetenschap en -technologie in Vlaanderen. Ook die bespreken we bondig maar genuanceerd.

Dit dossier is het resultaat van een eerste verkenning. Het geeft een overzicht, en is tegelijk een startpunt. We hopen dat het de lezer tot denken en misschien zelfs tot handelen zal aanzetten. We menen immers dat de nanowetenschap en -technologie belangrijk genoeg zijn om ieders aandacht te verdienen. Want wie het kleine niet eert...

Ondertussen wensen we u veel leesplezier.

Robby Berloznik

INHOUDSTAFEL

1 Nanotechnologie: drie definities	p 7
---	------------

2 Nanowetenschap en nanotechnologie in Vlaanderen	p 9
--	------------

3 Nanotechnologie: alomtegenwoordig?	p 12
---	-------------

<i>3.1 Van zonnecrèmes tot brandbestendige polymeren</i>	<i>p 13</i>
<i>3.2 Nanotechnologie in de chemische industrie</i>	<i>p 13</i>
<i>3.3 Nano-elektronica: een wereld vol rekenkracht</i>	<i>p 14</i>
<i>3.4 Bio-elektronica</i>	<i>p 15</i>
<i>3.5 Biomedische nanotechnologie</i>	<i>p 16</i>
<i>3.6 Nanotechnologie in de landbouw en de voedingsmiddelenindustrie</i>	<i>p 17</i>
<i>3.7 Toepassingen van nanotechnologie in de energiesector</i>	<i>p 18</i>
<i>3.8 Militaire technologie</i>	<i>p 18</i>

4 De keerzijde van de nanotechnologie	p 19
4.1 Kleine deeltjes, grote gevolgen?	p 20
4.2 Alomtegenwoordig, onzichtbaar, alziend en een goed geheugen	p 21
4.3 Maatschappelijke aandachtspunten van biomedische nanotechnologie	p 22
4.4 Maatschappelijke aandachtspunten van militaire technologie	p 22
4.5 Maatschappelijke aandachtspunten van nanotechnologie in de landbouw en de voedingssector	p 22
4.6 Gevaar voor een nano-divide	p 23
4.7 Grey en Green Goo	p 23
5 En wat zou u er eigenlijk van vinden?	p 24
6 Dankwoord	p 26
7 Voor wie meer wil weten over nanotechnologie	p 27
8 De bronnen van dit dossier	p 28



Wat is nanotechnologie? Op die vraag zijn verschillende antwoorden mogelijk. Wetenschappelijk gezien gaat het om de wetenschap en de technologie van de materie op zeer kleine schaal: een nanometer (afgekort "nm") is een miljardste deel van een meter. Ter vergelijking: een haar is 80 000 nm dik, een rode bloedcel ongeveer 7.000 nm groot en een watermolecule heeft een doorsnede van bijna 0,3 nm. NanoNed, het nationaal initiatief rond onderzoek en ontwikkeling van nanotechnologie in Nederland, geeft dan ook de volgende definitie:

Nanotechnologie is de studie van fenomenen en de manipulatie van materialen, op de schaal van atomen, moleculen en supramoleculaire structuren van 1 tot 100 nm.

Maar achter deze definitie schuilt een tweede antwoord op de vraag wat nanotechnologie is. Op deze schaal vertoont de materie immers nieuwe eigenschappen die ze niet heeft "in bulk". Het wordt met nanotechnologie dus mogelijk materialen en systemen te ontwikkelen met revolutionair nieuwe fysische, chemische en biologische eigenschappen¹. Daardoor verwijst nanotechnologie ook naar ontwikkelingen met een enorm, deels al gerealiseerd potentieel: van zonnecrèmes tot scheikundige katalysatoren, van gebruiksvriendelijker textiel tot de intelligente omgeving, van bionische ogen en oren tot een betere reiniging van grondwater, van micro-elektronica tot biotechnologie.

Experts wijzen er ook op dat de nanotechnologie geen duidelijk afgelijnd domein vormt, omdat ze de grenzen tussen disciplines voortdurend overschrijdt. Daardoor is een derde definitie mogelijk: nanotechnologie is een *enabling technology*, die kan toeleveren aan een hele waaier van gebieden en sectoren.

Nieuw is nanotechnologie niet helemaal. In de jaren '30 al kon de grafische groep Kodak minuscule zilverdeeltjes in fotofilms integreren om licht te filteren. De voorbije twintig jaar werd nanotechnologie al gebruikt in de productie van elektronische chips. Maar de vooruitgang in de kennis van atomen en moleculen, de miniaturisatie en de ontwikkeling richting multidisciplinair onderzoek hebben recent een enorme dynamiek gegeven aan de nanotechnologie.

2 NANOWETENSCHAP EN NANOTECHNOLOGIE IN VLAANDEREN



10

Vlaanderen neemt volop deel aan de ontwikkeling van de nanotechnologie. Omdat dit onderzoeksdomein relatief nieuw is, is de technologische activiteit nog niet volledig ontwikkeld en zijn de industriële toepassingen nog beperkt. Maar toch had Vlaanderen eind 2003 al meer dan veertig Europese en ongeveer vijftientwintig Amerikaanse patenten genomen. Van de bedrijven zijn Agfa, Bekaert en Innogenetics daarbij het actiefste. In het algemeen zijn de elektronicabedrijven en de scheikundige en farmaceutische sector de grootste patenthouders², maar de nanotechnologie trekt de aandacht van verschillende industrietakken.

Met het aantal patenten als maatstaf, blijkt Vlaanderen actiever in de nanotechnologie dan Brussel of Wallonië. Het totale aantal patenten dat heel België heeft genomen in Europa of Amerika is klein vergeleken met de top drie, die bestaat uit de Verenigde Staten, Japan en Duitsland, maar toch staat ons land op de elfde plaats (Amerika) en binnen Europa zelfs op de achtste plaats.

Vijf Vlaamse universiteiten publiceren in het nanodomein: de Universiteit Antwerpen, de Vrije Universiteit Brussel, de Universiteit Gent, de Katholieke Universiteit Leuven en het Limburgs Universitair Centrum. Alhoewel een klein land altijd minder publiceert, blijkt uit de analyse van het aantal citaties dat België en Vlaanderen toch relatief goed zichtbaar zijn in de nanowetenschap en aanverwante technologieën³.

Rond nanomaterialen en rond supramoleculaire chemie en katalyse lopen twee grootschalige interuniversitaire projecten. Sinds 1997-2001 en 2002-2006 verricht *Kwantum-schaaleffecten in nanogestructureerde materialen* fundamenteel onderzoek naar de eigenschappen en de interacties van de materie op nanoschaal. Dit project is gericht op de ontwikkeling van nieuwe toepassingen in de nano-elektronica, de computertechnologie, de medische en klinische technologie, de nieuwe materialen,... Tien Belgische onderzoekslaboratoria zijn in het netwerk van dit project betrokken. Het tweede project, *Supramoleculaire chemie en katalyse*, ontwikkelt methoden om de eigenschappen van supramoleculaire structuren te bestuderen en te manipuleren. Ook bij dit onderzoek zijn de meeste Belgische universiteiten betrokken⁴.

Ook de onderzoeksinstituten IMEC (Interuniversitair Micro-Elektronica Centrum), VIB (Vlaams Interuniversitair Instituut voor Biotechnologie) en VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek) zijn actief op het domein van de nanotechnologie.

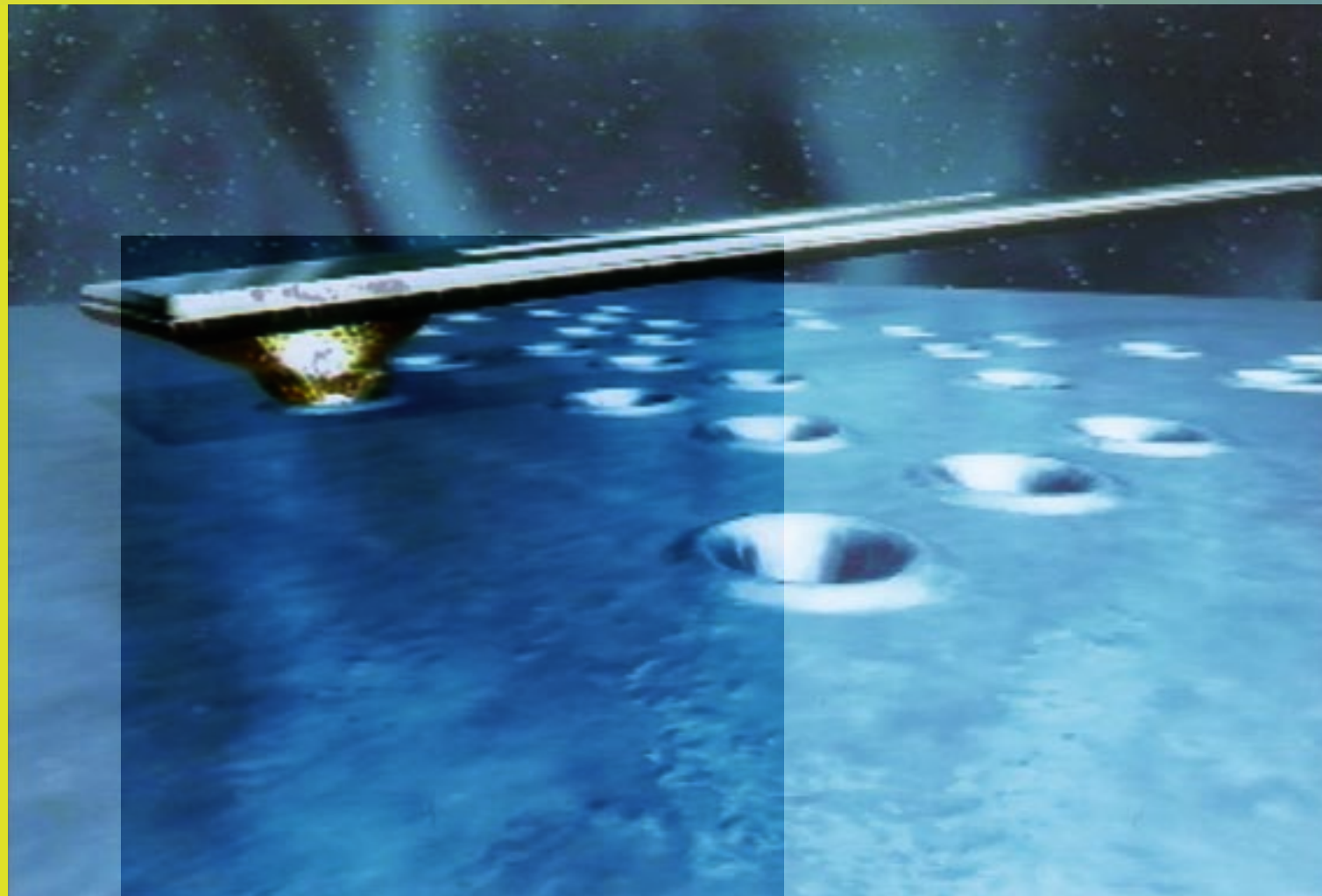
Het IMEC is het grootste onafhankelijke onderzoekscentrum in Europa op het gebied van de nano-elektronica. Samen met het IWT publiceerde het IMEC in 2003 *De intelligente omgeving: de noodzaak van convergerende technologieën en een nieuw businessmodel*. Deze studie blikt tien jaar vooruit. We zullen dan misschien leven in een 'intelligente omgeving' waarin computers de mens permanent bijstaan in het dagelijkse leven. Voor een dergelijke intelligente omgeving ontwikkelt het IMEC chips die zo zuinig mogelijk omspringen met energie en die hun stroombron zelf op peil houden, bijvoorbeeld met zonne-energie. In zijn werk combineert het IMEC uiteenlopende disciplines zoals nano-elektronica, computertechnologie, biotechnologie en scheikunde. Het IMEC investeert samen met het VIB in de ontwikkeling van biosensoren. Dit onderzoek moet een snelle, betrouwbare, accurate en hypergevoelige analyse en controle van biologische substanties mogelijk maken. Daarnaast bundelde het IMEC zijn krachten met de Hebrew University of Jeruzalem en het Universitair ziekenhuis van Leuven voor de ontwikkeling van de neuron-on-chips-technologie.

Het VITO richt zijn nanotechnologisch onderzoek hoofdzakelijk op materialen. Daarnaast heeft het VITO een project over de reiniging van grondwater door middel van nanodeeltjes en verricht de instelling milieutoxicologisch onderzoek naar de effecten van nanopartikels.

De expertise van het VIB situeert zich in het domein van de moleculaire biologie. Aan het VIB wordt onder meer onderzoek verricht rond nanobodies, nanopartikels en zogenaamde lokale bioreactoren. Die kunnen medicijnen afleveren ter hoogte van ongezonde cellen. Op die manier vermijden ze bijwerkingen. Vermits de technologie van de nanobodies zo vernieuwend en veelbelovend is, richtte het VIB het biofarmaceutische bedrijf ABLYNX op, gespecialiseerd in de verdere ontwikkeling van deze therapeutische antilichamen.

3 NANOTECHNOLOGIE

ALOMTEGENWOORDIG?



Een uiterst fijne naald prikt nanogaatjes in een geheugenkaart. Illustratie: IBM Zurich Research Laboratory

Experts voorspellen een duizelingwekkend aantal toepassingsmogelijkheden voor de nanotechnologie. Dit dossier geeft een bondige introductie, die de mogelijkheid biedt om het belang van deze ontwikkeling voor een kenniseconomie in te schatten. Wie diepgaandere informatie zoekt kan beginnen bij de literatuurtips achter in dit dossier of kan contact opnemen met het viWTA.

3.1 Van zonnecrèmes tot brandbestendige polymeren

Cosmeticaproducten als L'Oréal en Beiersdorf gebruiken nu al titaandioxide-deeltjes in zonnecrèmes. Ze laten zichtbaar licht door, maar weerspiegelen de gevaarlijke ultraviolette stralen. De nieuwe zonnecrèmes zijn niet vettig en laten geen witte strepen na zodat we gelijkmatiger bruinen dan bij de traditionele zonnecrèmes. Nanocapsules, verwerkt in 'slim textiel', geven bij wrijving of temperatuursverandering geleidelijk geurstoffen vrij. Het Amerikaanse bedrijf Nano-Tex verkoopt textiel dat minder wasbeurten nodig heeft omdat het lichaamsgeuren absorbeert. De firma werkt ook aan vlekvrrije, waterafstotende kleding. Dupont en Sensatex ontwikkelen textiel dat door ingeweven metalen deeltjes lichaamscondities als hartslag, lichaamstemperatuur en bloeddruk kan observeren, wat bijvoorbeeld toepassingen heeft in de baby- en sportkledij⁵.

Ontwikkelaars van nanomaterialen laten zich vaak inspireren door biologische fenomenen. Een lotusbloem, bijvoorbeeld, houdt haar blaadjes op een hele speciale manier rein. Regendruppels worden afgestoten door het donzige bladoppervlak, zodat al het vuil mee wordt weggespoeld. Aan de universiteit van Bonn werd deze methode onderzocht en toegepast in oppervlaktecoatings die in staat zijn zichzelf te reinigen⁶.

Andere voorbeelden van nanomaterialen zijn brandbestendige polymeren, extra stevige oppervlaktecoatings en materialen die beter bestand zijn tegen corrosie. Dergelijke slijtvaste materialen zijn natuurlijk interessant voor de transport- en automobielsector.

3.2 Nanotechnologie in de chemische industrie

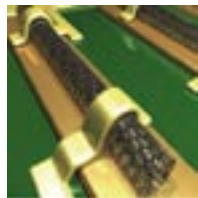
Nanotechnologie wordt al tientallen jaren toegepast in chemische processen, maar de recente dynamiek belooft een golf van innovatie in de scheikundige industrie te stimuleren.

De belangrijkste toepassingen liggen in het domein van de nanokatalysatoren. Katalysatoren kunnen andere moleculen in stukken breken of combineren en zo chemische reacties versnellen. Nanotechnologie maakt het mogelijk om katalysatoren te ontwerpen die precies de gepaste eigenschappen hebben voor de gewenste reacties. Een opmerkelijke vooruitgang is ook het ontwerp van katalysatoren die veel beter bestand zijn tegen extreme reactiecondities, zoals hoge temperaturen. In de Amerikaanse olie-industrie gaat het al om een omzet van 30 miljard dollar (ongeveer 25 miljard euro).

De nanotechnologie kan membranen en filters optimaliseren. Dat is belangrijk voor de behandeling van afvalwater, de verwijdering van afvalstoffen en de scheiding van bijproducten van productieprocessen.

3.3 Nano-elektronica: een wereld vol rekenkracht

De befaamde 'wet van Moore' uit de micro-elektronica stelt vast dat de rekenkracht per oppervlakte-eenheid van computerchips in de laatste decennia elke achttien maanden verdubbeld is. Dat was alleen mogelijk omdat onderzoekers al dertig jaar lang technologische barrières doorbreken. De overgang van micro-elektronica naar nano-elektronica wordt weer als zo'n doorbraak gezien⁷, die nieuwe toepassingen mogelijk maakt. Chipfabrikant Intel boekte in 2003 een omzet van 16 miljard euro met de productie van nano-onderdelen voor halfgeleiders. De sector denkt binnen zes jaar 300 miljard dollar (ongeveer 250 miljard euro) te halen met nanoproductie⁸.



Een nanobuisje in een elektronisch circuit, gezien door een kunstenaar. Illustratie Dekker Group, TU Delft / Tremani

Experts voorspellen dat in de toekomst computers zo klein zullen zijn, dat mensen ze vierentwintig uur per dag zullen dragen. De meeste producten, van sleutels tot auto's, zullen computerkracht bevatten en computers zullen de mens permanent bijstaan. Minuscule computers zullen op de achtergrond fungeren en door middel van draadloze verbindingen met elkaar communiceren. Digitale assistenten kunnen zorgen voor een brede waaier aan mogelijkheden op het vlak van communicatie en multimedia. Sensoren kunnen verwerkt worden in kledij, maar ook geïmplantéerd worden⁹. Voor vele betrokkenen is dit de 'normale' verdere evolutie van het internet en de andere bestaande communicatiesystemen. Maar bovenal is de intelligente omgeving een toekomstvisie die nagestreefd wordt door de elektronicasector.

Een voorbeeld is de *radio frequency identification chip* of RF-ID chip. Hij is op te vatten als een soort krachtige streepjescode, die meer informatie bevat en die met een radiosignaal kan worden uitgelezen. RF-ID-chips worden al langer gebruikt in auto's om ze na diefstal terug te vinden, maar deze technologie staat ook op het punt om geïntroduceerd te worden in supermarktartikelen. De bandenfabrikant Michelin experimenteert al met RF-ID-chips in banden, luchtvaartmaatschappijen willen ze gebruiken bij het labelen van bagage en de Europese Centrale Bank heeft plannen om binnen afzienbare tijd RF-ID-chips in haar bankbiljetten te verwerken. Het Amerikaanse leger gebruikt dergelijke chips in Irak om voorraden te volgen¹⁰.

Inmiddels heeft de RF-ID-chip ook de weg naar het menselijk lichaam gevonden. De Amerikaanse Food and Drugs Administration heeft het licht op groen gezet voor de 'VeryChip'. Deze chip ter grootte van een rijstkorrel wordt onder de huid van de arm geplaatst. Bij ongevallen kan hij artsen onmiddellijke toegang verschaffen tot het medisch verleden van het slachtoffer. De ontwerper van de chip, de firma Applied Digital Solutions, denkt ook al hardop aan een ingeplante chip als alternatief voor paspoort of kredietkaart¹¹.

Een andere mogelijkheid is Smart Dust. Deze technologie komt uit de ontwikkeling van *mems* (of micro electro-mechanical systems) en *nems* (nano electro-mechanical systems). Smart Dust is de verzamelnaam voor kleine computers met beperkte

reken capaciteit, maar met ingebouwde sensoren en communicatiemogelijkheden. Het minimale formaat is voorlopig 16 mm³, maar in de nabije toekomst wordt 1 mm³ wellicht haalbaar. In de VS zijn er al bedrijven die Smart Dust produceren en verder ontwikkelen. Een hoeveelheid Smart Dust kan in een zelforganiserend draadloos netwerk informatie verzamelen en doorsturen naar een centrale computer, bijvoorbeeld om op het slagveld vijandige tankcolonnes of biologische wapens te observeren of om de weersomstandigheden te registreren. Er zijn natuurlijk ook civiele toepassingen van Smart Dust denkbaar: domotica, kwaliteitscontrole van producten... Smart Dust kan misschien zelfs een virtueel toetsenbord creëren. Je plakt het op je vingers en je handschrift wordt doorgestuurd naar een computer¹².

De intelligente omgeving maakt het bovendien mogelijk om medische parameters als de hartfunctie of het insulineniveau continu en vanaf een afstand in het oog te houden. Een mini-PC kan de gegevens van pacemakers uitlezen en vervolgens naar een controlecentrum sturen. Telezorg kan bij een acute hartstilstand levensreddend zijn.

3.4 Bio-elektronica

De nanotechnologie heeft zoals eerder opgemerkt, de neiging om de grenzen tussen wetenschappelijke disciplines te negeren. Biosensoren bijvoorbeeld zitten op het raakvlak van de chiptechnologie en de moleculaire biologie. Ze bevatten antilichamen die in hun omgeving speuren naar bepaalde biologische stoffen. Zo wordt het mogelijk om op een zeer specifieke manier allerlei biologische substanties te herkennen en te meten. Met een biosensor zullen diabetespatiënten het glucosegehalte in hun bloed zeer precies kunnen achterhalen. Maar men kan deze technologie ook inzetten om bijvoorbeeld chemische vervuiling op te sporen of om concentraties van biologische stoffen tijdens de bierproductie te controleren¹³.

In de biomedische wetenschappen werkt men met nanotechnologie aan elektronische zintuigen, die zenuwcellen en elektronica koppelen. Dat noemt men bio-elektronica of bionica. Implantaten in het binnenoor zijn het experimentele stadium al voorbij, bionische ogen bevinden zich in de prototypefase. In Duitsland lopen bijvoorbeeld twee grote nationale projecten om retina-implantaten te ontwikkelen, en in Amerika sponsort het Department of Energy het onderzoeksproject Artificial Retina. Daarvoor werd bij proefpersonen een chip in het oog geïmplantéerd, die een signaal kreeg van een kleine videocamera op een bril montuur. De chip stimuleerde de nog functionerende cellen in het netvlies. Dit bionische oog kan nog lang geen letters lezen, maar het Duitse bedrijf IIP-technologies verwacht binnen vijf jaar een retina-implantaat op de markt te kunnen brengen¹⁴.

Een andere fascinerende toepassing van bio-elektronica is de neuron-on-a-chip-technologie. Door zenuwcellen te laten groeien op chips, wordt in de twee richtingen communicatie mogelijk tussen zenuwcellen (hersenen) en elektronica. Toekomstige toepassingen liggen in het veld van het neurologisch onderzoek en het gebruik van implantaten om neurologische functies te herstellen. Louder en alleen door aan een bepaalde beweging te denken, kunnen volledig verlamde patiënten een cursor manipuleren of iconen selecteren op een computerscherm en kunnen patiënten met een amputatie hun arm- of beenprothese bewegen¹⁵.

3.5 Biomedische nanotechnologie



Een lab-on-a-chip op een rietje. Het toestelletje is in staat een bloedanalyse uit te voeren. Illustratie: Sandia National Laboratories

De huidige medicijnen tegen kanker zijn meestal niet specifiek en vallen naast kankercellen ook gezonde cellen aan. Hierdoor treden zware bijwerkingen op. *Nanobodies* zijn hele kleine fragmenten van antilichamen die zich specifiek tegen kankercellen kunnen richten. Aan deze nanobodies worden celdodende stoffen gekoppeld, die dan precies ter hoogte van de kankercellen afgeleverd worden. Daar vernietigen ze tumorcellen, terwijl ze de gezonde lichaamscellen sparen. Deze nanobodies zijn zo klein (2-3 nanometer) dat ze makkelijk en zeer diep kunnen

doordringen in vaste tumoren. Andere voordelen zijn dat ze oplosbaar, goed houdbaar en goedkoop en snel te produceren zijn. Nanobodies zouden binnen tien jaar op de markt kunnen komen. Artsen zullen in de toekomst behalve kanker ook hart- en vaatziekten en ontstekingsziekten met deze technologie kunnen behandelen. Ook zogenoemde nanopartikels kunnen gebruikt worden. Deze liposoompartikels herkennen ongezonde cellen en kunnen werkzame stoffen lokaal afleveren en activeren. Zo kunnen patiënten hogere dosissen van een geneesmiddel verdragen, aangezien de ingenomen stof pas ter hoogte van de zieke cellen haar toxiciteit verwerft.

De nanotechnologie maakt ook 'lokale bioreactoren' mogelijk. Zij helpen het probleem te omzeilen dat vele geneesmiddelen in de maag worden afgebroken voor ze opgenomen worden. Melkzuurbacteriën, die alle informatie en bouwstenen bevatten die nodig zijn voor de aanmaak van medicijnen, nestelen zich na inname in ter hoogte van de dikke darm. Dat is namelijk hun natuurlijke habitat. Wanneer de patiënt stoffen inneemt om deze bacteriën te laten overleven en te activeren, kan heel lokaal de juiste medicatie afgeleverd worden. Momenteel test men deze technologie uit op patiënten met de ziekte van Crohn.

Lab-on-a-chip-systemen kunnen dan weer vloeistoffen en chemische stoffen meten, scheiden en laten reageren per nanoliter. Het materiaal dat eerst nodig was om één test uit te voeren is nu dus voldoende voor miljoenen testen. Onderzoek waar eerst jaren voor nodig was, is nu klaar in enkele dagen of weken. Deze ontwikkeling zorgt ervoor dat farmaceutische bedrijven veel meer en goedkoper kunnen testen. Dat maakt omvangrijker screenen mogelijk en doet de kans stijgen dat nieuwe medicijnen worden ontdekt. Om de succesgraad van nieuwe medicijnen te verhogen gaat men zelfs op zoek naar lab-on-a-chip-systemen die de complexiteit van een levende cel kunnen nabootsen.

DNA-chips worden steeds goedkoper en het gebruik in de medische praktijk zal de komende jaren dan ook sterk toenemen. Het Nederlands Kanker Instituut gebruikt nu al een DNA-chip om borsttumoren te typeren. Deze zogenaamde onco-chip, die zeventig relevante genen onderzoekt, voorkomt onnodige chemotherapie. DNA-chips kunnen ook ingezet worden voor het bepalen van het farmacogenetisch profiel, dat de respons van een persoon op een medicijn kan voorspellen. Door het gebruik van medicijnen op maat wil deze nieuwe tak van de biomedische wetenschap de doelmatigheid en veiligheid van medicijnen verhogen.

Met goedkopere en eenvoudig te gebruiken DNA-chips zal in de nabije toekomst genetische diagnostiek voor een brede

groep van gebruikers toegankelijk worden. Het gaat hier om zogenaamde 'doe-het-zelf' DNA-testen. Achter een zelftest kunnen verschillende motivaties schuil gaan. De zelftester heeft misschien familieleden met een genetische afwijking. Zelftesten kunnen ook ingezet worden om een ziekte te voorkomen of om het verloop van een ziekte te observeren. Maar genetische zelftesten kunnen natuurlijk ook een lifestyle-karakter hebben. Zo biedt het Britse bedrijf Sciona voor ongeveer € 250 een genetische nutrition-test aan die zeven verschillende genen onderzoekt. De uitslag van de test is een... dieetadvies¹⁶.

3.6 Nanotechnologie in de landbouw en de voedingsmiddelenindustrie¹⁷

Nanotechnologie kan een bijdrage leveren aan de kwaliteit en de groei van gewassen en ingezet worden bij de preventie en behandeling van plantenziekten. Nanosensoren kunnen bijvoorbeeld toezicht houden op gewassen of dieren, materialen kunnen een ingebouwde mogelijkheid krijgen om ziekteverwekkers te detecteren en in nanopartikels verpakte bestrijdingsmiddelen komen alleen onder de juiste omstandigheden vrij. In de pluimveehouderij worden op dit moment toepassingen ontwikkeld die nanodeeltjes gebruiken tegen ziekteverwekkers. Slimme drug delivery-systemen met micronutriënten moeten de dieren dan een aangepaste behandeling geven.

Ook in de voedingssector voorspellen experts een groot aantal toepassingen. Nanotechnologie zou bijvoorbeeld de biologische structuur van voedsel kunnen manipuleren. De stabiliteit van de levensmiddelen en de optische eigenschappen, smaak en consistentie kunnen worden verbeterd en de houdbaarheid verlengd. Nanotechnologisch geoptimaliseerde productiemethoden kunnen de kwaliteit van levensmiddelen verbeteren.

Nanomembranen kunnen in de toekomst ingezet worden voor de scheiding van hoogwaardige functionele voedingscomponenten zoals vitaminen. Die kunnen dan gebruikt worden in functional foods en dieetsupplementen. Er zijn al nanocapsules ontwikkeld om specifieke nutriënten of voedingsmiddelen onbeschadigd door de maag en de darmwand te transporteren, zodat ze bij het juiste doelwitorgaan aankomen.

Nanostructuren met kleideeltjes laten lichtere, sterkere en hittebestendige verpakkingsmaterialen toe. Men onderzoekt ook 'slimme' verpakkingsmaterialen die bij voedselbederf van kleur veranderen. In Scandinavië en Duitsland wordt deze intelligente verpakking gebruikt en wordt de koper tijdig gewaarschuwd dat de verpakte kip of vis niet meer lekker is.

Reststromen van landbouw en voedselproductie zouden door middel van enzymatische nanobioprocessing kunnen gebruikt worden voor de productie van energie en andere bruikbare bijproducten. Er zijn bijvoorbeeld nanokatalysatoren in ontwikkeling voor de conversie van plantaardige olie in biobrandstof en biologisch afbreekbare oplosmiddelen.

3.7 Toepassingen van nanotechnologie in de energiesector¹⁸

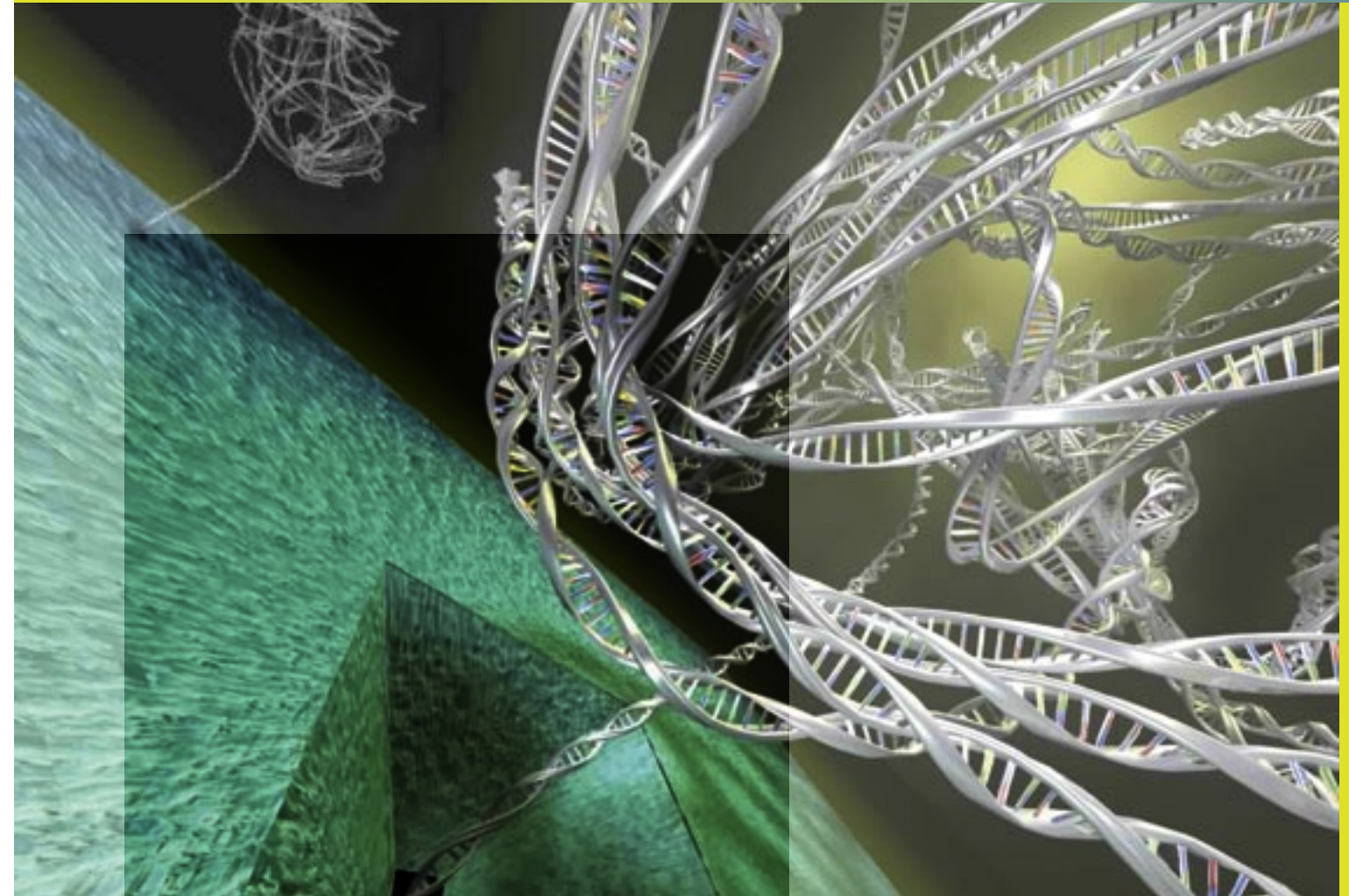
Met nanotechnologie is het in principe mogelijk om energieomzetting op moleculair niveau te sturen. Zo kan het omzetten van aardgas in vloeibare brandstof efficiënter verlopen. In plaats van het aardgas te koelen en zo te transporteren, kan het in verschillende stappen omgezet worden in kerosine, diesel en andere vloeibare brand- en grondstoffen. Deze dieselolie is ‘superschoon’ omdat hij geen zwaveloxiden bevat of bij verbranding roet produceert.

Het laboratorium voor anorganische chemie aan de TU Delft onderzoekt ook goedkope zonnecellen die als een verlaag op daken en wanden kunnen worden aangebracht. De onderzoekers werken niet meer met silicium zoals bij gewone zonnecellen, maar met een laagje koperindiumsulfide, dat in de poriën van titaandioxide wordt aangebracht. Nanotechnologie kan ook zorgen voor verbeterde opslagsystemen voor elektriciteit. Zo kan ze bijdragen tot decentralisatie van de energievoorziening, waarbij elke afnemer ook producent kan zijn.

3.8 Militaire technologie

Ook militairen zien toepassingsmogelijkheden voor de nanotechnologie. Strijdkrachten willen haar inzetten om de veiligheid, de prestaties en de overlevingskansen van soldaten te verhogen. Dat zou bijvoorbeeld kunnen door de ontwikkeling van licht maar kogelwerend materiaal en van draadloze en draagbare decision support-systemen. ‘Intelligente’ coating kan zorgen voor een betere camouflage van soldaten en gevechtsvoertuigen. Het Amerikaanse bedrijf Ibis Pharmaceuticals werkt aan een detector voor biologische wapens, die alle bacteriën, virussen of schimmels moet identificeren¹⁹. Nanotechnologie kan ook ingezet worden voor de onbemande oorlog. Nano-elektronica, nieuwe sensorsystemen en elektromechanische componenten kunnen de controle en het sturen van autonome gevechtssystemen verder versterken. Het Britse Ministerie van Defensie werkt aan spionagevliegtuigjes die niet groter zijn dan een bij.

4 DE KEERZIJDE VAN DE NANOTECHNOLOGIE



Schets van een DNA streng die doorheen een nanogatje kan verplaatst worden. Illustratie: Dekker Group, TU Delft / Tremani

De talrijke beloften van de nanotechnologie mogen ons niet uit het oog doen verliezen dat de nanotechnologie niet onbesproken is. Met name over de veiligheid van nanodeeltjes voor mens en milieu wordt gediscussieerd. Maar dat is niet het enige twistpunt. De mogelijkheden die de nanotechnologie belooft te scheppen, hebben stuk voor stuk hun eigen problemen.

4.1 Kleine deeltjes, grote gevolgen?

Nanodeeltjes komen van nature voor in het milieu, maar worden nu steeds vaker geproduceerd en bewerkt. Ze kunnen daarbij terechtkomen in de lucht, de bodem en het grondwater. Als het aantal toepassingen van nanotechnologie aan het huidige tempo blijft groeien, kunnen de hoge concentraties aan nanodeeltjes in het milieu een bedreiging worden²⁰. Nanodeeltjes zouden zich bijvoorbeeld kunnen binden aan schadelijke stoffen in het milieu, zoals pesticiden en PCB's. Dergelijke toxische stoffen zouden dan gemakkelijker in het menselijk lichaam kunnen terechtkomen. Sommige onderzoekers stellen dat eiwitten in de bloedstroom zich kunnen vasthechten aan nanodeeltjes, zodat hun vorm en functie verandert en schadelijke gevolgen zoals bloedklontering kunnen optreden²¹.

Hoe groot de reële dreiging wel mag zijn, is helaas onduidelijk. De Action Group on Erosion, Technology and Concentration (ETC) klaagt het gebrek aan betrouwbare kennis aan over de effecten op korte en lange termijn. De interactie van nanodeeltjes met levende materie zou bijvoorbeeld kunnen leiden tot genetische beschadiging of allergieën. ETC pleit dus voor het radicaal hanteren van het voorzorgsprincipe, in de vorm van een moratorium²². Ook de herverzekeraar Swiss Re heeft bedenkingen bij de veiligheid van nanomaterialen. Swiss Re onderzoekt de risico's van nanodeeltjes om te bepalen of het cliënten die met deze technologie bezig zijn, wel kan accepteren²³.

Ook epidemiologisch onderzoek naar de gezondheidseffecten van dieseluutstoot doet de onrust groeien. Het lijkt erop dat de nanodeeltjes in de uitlaatgassen hart- en longziekten en allergische kwalen veroorzaken of verergeren. De allerkleinste deeltjes belanden immers diep in de longblaasjes. Andere nanostructuren, zoals de langwerpige koolstof 'nanobuizen', lijken dan weer op asbestvezels. Een recente studie van de NASA, toonde dan ook aan dat het inademen van nanobuizen in grote hoeveelheden de longen kan beschadigen.

Een bijkomend probleem is dat we nog niet goed weten wat we moeten meten. De huidige emissienormen en de gangbare meetmethoden voor fijn stof in de buitenlucht zijn gebaseerd op de massa van de hoeveelheid onderschepte fijne stofdeeltjes. Maar massa lijkt voor nanodeeltjes niet zo belangrijk te zijn. Methodes en regelgeving zouden ook factoren als aantal, grootte en oppervlakte van de stofdeeltjes moeten meenemen. In het algemeen vermijdt men best blootstelling in laboratoria en op arbeidsplaatsen, zolang we niet meer weten over de schadelijke effecten²⁴.

De scheikundigen van L'Oréal hebben in huidverjongende zalfjes nanosomen opgenomen. Dat zijn blaasjes ter grootte van nanodeeltjes, die vitaminen en andere stoffen naar het onderhuidse bindweefsel transporteren. Maar ook andere nanodeeltjes – bijvoorbeeld in zonnecrèmes – zouden via de huid in het bindweefsel en de lymfevaten terecht kunnen komen. Daarvandaan zouden ze zich een weg kunnen banen verder het lichaam in²⁵. Volgens het Scientific Committee on Cosmetic

and Non-Food Products, de Britse instantie die de Europese Commissie adviseert, gebeurt dat niet met de titaandioxidedeeltjes in de bestaande zonnecrèmes als de huid gezond is. Bij een verbrande huid of bij huidziekten is men niet zeker.

Bij de meeste toepassingen zitten de nanocomponenten vast in het omringende materiaal. Het is niet waarschijnlijk dat ze loskomen. Maar materialen worden afgebroken en gerecycleerd en dan is er wel een risico dat nanodeeltjes in het milieu terechtkomen²⁶.

4.2 Alomtegenwoordig, onzichtbaar, alziend en een goed geheugen²⁷

De nanotechnologie kan niet alleen de fysische gezondheid beïnvloeden. Er is ook een potentiële impact op onze sociale omgeving, onze psychologie, op onze manier van werken en op de organisatie van onze zorgverlening... Strikt genomen is de nanotechnologie daar niet altijd zelf verantwoordelijk voor. Maar als *enabling technology* voor andere ontwikkelingen speelt ze toch een rol.

Het eerste wat bij de 'intelligente omgeving' van de toekomst opvalt, is bijvoorbeeld de impact op de privacy. ICT-systemen zullen in een dergelijke omgeving namelijk alomtegenwoordig zijn. Door de miniaturisatie en de integratie in andere voorwerpen zal men ze tegelijk vaak niet kunnen zien. Ze zullen veel meer informatie dan nu uit de omgeving kunnen halen, tot en met inschattingen van emoties. En tenslotte zullen ze een zeer grote opslag- en registratiecapaciteit hebben. De intelligente omgeving is alomtegenwoordig, onzichtbaar, ziet veel en vergeet niets.

Maar ook minder ambitieuze ontwikkelingen kunnen bedenkingen oproepen. Zo heeft een aantal mensen in de dovengemeenschap ernstige vragen bij implantaten in de gehoorgang (bionische oren). Volgens sommigen impliceert deze ontwikkeling een perspectief op doofheid als een handicap die moet worden uitgeroeid. Deze technologie lijkt het belang van het bestaan van een dovengemeenschap of -cultuur te verwaarlozen of zelfs te ontkennen. Doofheid is volgens sommigen in de dovengemeenschap geen handicap, maar een kenmerk, zoals ras, sekse en oogkleur.

Het debat over bionische oren laat zien dat de definitie van een handicap niet evident is. Het medisch onderzoek richt zich op therapie, dus op het herstellen van 'normale' lichamelijke functies. Maar de betekenis van het begrip 'normaal' kan verschuiven. De scheidingslijn tussen 'herstellen' en 'verbeteren' is dus niet scherp. Men krijgt soms de indruk dat sommige voorstanders van de nanotechnologie de mens zien als een wezen waar per definitie wat aan scheelt. De mens kan zijn beperkingen met behulp van de technologie overwinnen, en moet dat dus ook doen.

Welke grenzen de maatschappij aan de nanotechnologie wil opleggen (en of ze dat moet doen), is nog niet duidelijk. Toch is die vraag belangrijk. De nanotechnologie kan de grens tussen mens en technologie namelijk doen vervagen. De directe koppeling van chips aan de hersenen bijvoorbeeld, is zeer ingrijpend omdat de hersenen worden gezien als zetel of centrum van ons gedrag, ons bewustzijn en ons zelfbeeld. Deze ontwikkelingen zullen heel wat ethische afwegingen vragen.

4.3 Maatschappelijke aandachtspunten van biomedische nanotechnologie²⁸

Met nanodiagnostiek kan je al in een heel vroeg stadium bepaalde afwijkingen opsporen. Het is zelfs mogelijk om risico's op afwijkingen of ziekten te bepalen nog voor de symptomen er zijn. Het is niet duidelijk of dat altijd een zegen is. In welke mate is namelijk een vroege diagnose aanvaardbaar, als er nog geen therapie is? Bovendien geven sommige testen enkel aan welke kans je hebt de ziekte te krijgen en niet of je ze daadwerkelijk krijgt. Bijkomende aspecten van DNA-diagnostiek zijn ook de gevolgen voor relaties en het mogelijk misbruik van genetische informatie.

Maar een technologie die gemakkelijk is in het gebruik wordt al gauw onontkoombaar. Mensen zouden de dwang kunnen ervaren om voor een vroege diagnose te kiezen. Daartegenover staat dan een eventueel 'recht op niet-weten'.

De verbetering van de behandelingen die de nanotechnologie belooft, betekent ook niet noodzakelijk dat de kosten van de gezondheidszorg lager zullen worden. Vanuit het principe van het recht op gezondheidszorg, kan de betaalbaarheid van medicijnen op maat dus een belangrijk onderwerp worden.

De nanotechnologie brengt niet alleen de technologische, maar ook de sociale aspecten van de gezondheidszorg onder de aandacht. Medisch-technisch gezien biedt de nanotechnologie een enorm voordeel. Ook voor het verwachte tekort aan medisch personeel kan ze een (deel)oplossing bieden. Maar tegelijk zal de zorg van karakter veranderen. Het menselijk contact gaat verloren. Het is een politieke (en geen technologische) keuze of geïnvesteerd wordt in de telezorg of in meer verpleegkundigen. Een ander nadeel van de opkomst van telezorg is de teloorgang van de kennis van het eigen lichaam. Sommige diabetespatiënten voelen hun eigen insulineniveau aan en verrichten op grond daarvan de juiste handelingen. Men kan zich afvragen of het al of niet gebruik maken van telezorg geen vrije keuze zou moeten blijven.

4.4 Maatschappelijke aandachtspunten van militaire technologie²⁹

Manipulatie van biologische en chemische agentia op nanoschaal kan resulteren in nieuwe bedreigingen die moeilijk te detecteren zijn en waartegen we ons moeilijk kunnen beschermen. Veel van de kennis en de technologieën, gebruikt voor militaire toepassingen, worden ontwikkeld in het niet-militaire domein. De 'technologieën van de 21e eeuw', zoals biotechnologie, nanotechnologie en robotica kunnen binnen het bereik vallen van individuen of groeperingen die er misbruik van willen maken. Omdat de grens tussen niet-militaire en militaire industrie vervaagt, zal het moeilijker worden om wapenproliferatie te detecteren. Nanotechnologische verbeteringen van bestaande wapens zouden bovendien kunnen leiden tot een nieuwe wapenwedloop. Tenslotte zou de publieke acceptatie van een hele reeks van nanotechnologische toepassingen, net zoals bij kernenergie, helemaal kunnen omslaan door een te sterke associatie met de militaire toepassingen.

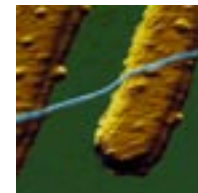
4.5 Maatschappelijke aandachtspunten van nanotechnologie in de landbouw en de voedingssector³⁰

Op het eerste zicht lijken nanodeeltjes in voedsel niet zo problematisch als in de lucht die we inademen. Nanodeeltjes in voedsel moeten de vijandige, zure omgeving van de maag passeren en worden vervolgens in de darm blootgesteld aan en-

zymen en micro-organismen. Nanodeeltjes in de voeding zijn bovendien vaak bedoeld om in het lichaam in componenten uit elkaar te vallen. Maar ook hier heerst onzekerheid. De componenten kunnen gevaarlijk zijn en complexere nanostructuren kunnen in de praktijk moeilijk afbreekbaar zijn. Men zal de eventuele schadelijkheid dus telkens opnieuw moeten beoordelen. Dat is moeilijk, omdat het om nieuwe constructies gaat, waarvan men nog niet goed weet hoe ze te onderzoeken.

De nanotechnologie kan daarnaast de wijze waarop men betekenis toekent aan voedsel en de sociaal-culturele omgang met voeding veranderen. Het wordt immers mogelijk om, onzichtbaar voor de consument, de structuur en de inhoud van het voedsel te veranderen. Dat beïnvloedt het natuurlijke karakter van voedsel.

4.6 Gevaar voor een nano-divide³¹



Een nanobuisje (blauw) verbindt twee platina elektroden.
Illustratie: Dekker Group, TU Delft / Tremani

Een belangrijk sociaal aspect van het gebruik van nanotechnologie is de eerlijke verdeling van de vruchten van de technologische vooruitgang. Die is niet bij voorbaat gegarandeerd. Een nano-divide kan zich voordoen op het niveau van het individu, omdat de nieuwe mogelijkheden in de medische sector niet eerlijk verdeeld zijn. Maar er kan ook een kloof ontstaan tussen landen die in de economische competitie voordeel verwerven met de nanotechnologie en zij die dat niet doen. Bovendien kunnen minder ontwikkelde landen nog meer achtergesteld worden qua militaire toepassingen en de daarbij horende veiligheid.

4.7 Grey en Green Goo

Een groot deel van de controverse rond nanotechnologie is gericht op het fenomeen van de moleculaire zelfassemblage. Eric Drexler voorspelt in zijn *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* (1986) dat we met deze moleculaire zelfassemblage alles zullen kunnen bouwen zonder afvalproductie. Hij acht niets onmogelijk, maar waarschuwt tegelijkertijd voor de negatieve gevolgen. Deze voorspellingen werden door Billy Joy opgenomen in zijn artikel *Why the future doesn't need us* (2000) in Wired Magazine, waarin hij beargumenteert dat nanotechnologie een zware bedreiging vormt voor de mensheid. Eén van de redenen is dat onze samenleving sterk afhankelijk geworden is van computers en andere machines. Samen met het steeds complexer worden van de computers, zal dit ervoor zorgen dat we slaven worden van de computers die beslissingen voor ons zullen maken. Een andere tekst die sinds zijn publicatie in 2002 veel aandacht gekregen heeft is de roman *Prey* van Michael Crichton, waarin hij een ongeval beschrijft waarbij zelfreplicerende nanorobots in het milieu ontsnappen en alle materie vernietigen en omzetten in grijze blubber (Grey Goo). Alhoewel dit vergezocht lijkt, heeft de roman toch bijgedragen aan de vraag van Prince Charles aan de Royal Society om de "enorme maatschappelijke en milieurisico's verder te onderzoeken"³².

Soms wordt ook gesproken over de Green Goo. In het geval van bio-nanotechnologie gaat het niet om nanorobots maar om zelfreplicerende micro-organismen. Het doembeeld van op hol geslagen micro-organismen wordt - analoog aan Grey Goo - aangeduid met Green Goo.

5 EN WAT ZOU U ER EIGENLIJK VAN VINDEN?



De nanotechnologie bevindt zich nog in een vroeg stadium. Volgens het rapport *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties* van The Royal Society and the Royal Academy of Engineering, uit 2003, kunnen dus nog belangrijke knopen doorgemaakt worden in verband met het toekomsttraject van deze technologie. Een aantal ngo's, waaronder de ETC groep³³, stelt zich de vraag of deze technologie wel zó zal aangewend worden dat mens, milieu en samenleving er optimaal profijt van hebben. Heel wat ethische en sociale implicaties, zoals hiervoor beschreven, zullen pas op de middellange en lange termijn duidelijk worden. Daarom pleit de Royal Society voor een breed debat met alle betrokkenen over de toekomst van deze technologie.

De houding van het grote publiek en de publieke perceptie van een nieuwe technologie zijn drijvende krachten achter de acceptatie en de realisatie van technologische ontwikkelingen. Maar in het geval van nanotechnologie is hierover relatief weinig onderzoek verricht³⁴. In de Eurobarometer-bevraging 2002³⁵, antwoordde meer dan de helft van de respondenten 'geen idee' op de vraag naar de invloed van nanotechnologie op hun levenskwaliteit in de komende twintig jaar. (Van degenen die wel een mening hadden, had de meerderheid zeer positieve verwachtingen.) Ook in het kwantitatieve publieksonderzoek van de Royal Society uit 2004 bleek het publieke bewustzijn van nanotechnologie zeer laag. Minder dan een derde van alle geënquêteerden geeft aan gehoord te hebben van nanotechnologie en slechts een vijfde kon min of meer een definitie geven. Van deze laatste groep verwacht een ruime meerderheid dat nanotechnologie ons leven zal verbeteren. Slechts vier procent is negatief gestemd.

Een meerderheid van de bevolking heeft zich dus nog geen beeld gevormd van de nanotechnologie. De nanotechnologie zelf is zich ook nog volop aan het ontwikkelen. Het is dus nog mogelijk om een constructief en pro-actief debat te voeren over de toekomst van deze technologie. De Europese Commissie pleit er bijvoorbeeld voor om bij de verdere ontwikkeling van nanotechnologie rekening te houden met de opvattingen van het publiek. Zij dringt er expliciet op aan aandacht te schenken aan de veiligheids-, gezondheids- en milieuoverwegingen. De Commissie is van mening dat, zonder een serieuze poging tot maatschappelijk debat, nanotechnologische vernieuwingen een hoger risico lopen op een negatieve ontvangst. Een dialoog die rekening houdt met de opvattingen van het publiek is volgens de Commissie onmisbaar³⁶.

DANKWOORD

Dit dossier is gebaseerd op bestaande werken over nanotechnologie en op talrijke gesprekken met specialisten terzake. Het viWTA dankt de volgende personen, zonder wie dit document wellicht nooit tot stand zou gekomen zijn:

- Em. Prof. Yvan Bruynseraede (*KULeuven*), Dr. Silvia Lenaerts (*Universiteit Antwerpen*), Paul Schreurs (*IWT*), Rudiger Stevens (*IWT*), Prof. Christian Van Haesendonck (*KULeuven*), voor de interviews tijdens de voorstudie van dit project
- Dr. Jo Bury (*Directeur VIB*), Prof. Jan Cornelis (*Vice-rector Onderzoek VUB*), Prof. Ignace Lemahieu (*Directeur Onderzoeksangelegenheden UGent*), Dr. Silvia Lenaerts (*Onderzoeksmanager Universiteit Antwerpen*), Marc Smeyers (*Hoofd onderzoekscoördinatie LUC*), Prof. Jozef Vanderleyden (*Voorzitter Onderzoeksraad KULeuven*), Prof. Marc Van Rossum (*IMEC*), Kristine Verheyden (*Externe Communicatie VITO*), voor de schets van de activiteiten van hun universiteiten of onderzoeksinstituten in het domein van de nanowetenschap en de nanotechnologie.
- Prof. Lieve Goorden (*Universiteit Antwerpen*), voor de inbreng bij het opstellen van een vragenlijst voor de bevraging rond de betekenis van nanowetenschap en nanotechnologie voor Vlaanderen. Het verslag van deze bevraging wordt later gepubliceerd.
- De 21 experts die door het viWTA bevraagd werden.
- Dr. Ir. Rinie Van Est (*Rathenau Instituut*), voor het nalezen en voor het gebruik van de documenten van het Rathenau Instituut bij de aanmaak van dit dossier.

VOOR WIE MEER WIL WETEN OVER NANOTECHNOLOGIE

De nanotechnologie is een uitgebreid en snelgroeiend domein. Deze literatuurlijst is een momentopname en streeft dus geen volledigheid na. Maar wie de onderstaande werken raadpleegt, krijgt een goed beeld van het potentieel, het belang en de mogelijke gevolgen van de nanotechnologie.

- *Future Technologies, Today's Choices. Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics; A technical, political and institutional map of emerging technologies.* A report for the Greenpeace Environmental Trust, A.H. Arnall (2003).
- *Converging Technologies – Shaping The Future of European Societies*, A. Nordmann, High Level Expert Group 'Foresighting the New Technology Wave' (2004).
- *Communication of the European Commission: Towards a European Strategy for Nanotechnology*, European Commission (2004).
- *Spelen met atomen. Nanotechnologie wordt volwassen*, H. Lemmens en P. Raeymaekers (In het tijdschrift Mens nr. 48).
- *Nanotechnologie: Forschung, Entwicklung, Anwendung*, H. Paschen, et al., TAB-Arbeitsbericht Nr. 92 "Nanotechnologie", TAB (2004).
- *4th NanoForum Report: Benefits, Risks, Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnology*, I. Malsch et al. (2004).
- *De dubbele boodschap van nanotechnologie: een onderzoek naar opkomende publiekspercepties*, L. Hanssen en R. Van Est (2004).
- Rathenau Instituut, Workshop 'Biomedische Nanotechnologie' (Utrecht, juli 2004).
- Rathenau Instituut, Rondetafelgesprek Nanotechnologie in de Agrofoodsector (Wageningen, april 2004).
- *Duurzame energie dichterbij met nanotechnologie*, J. Van Kasteren in opdracht van het Rathenau Instituut.
- *Om het kleine te waarderen... Een schets van nanotechnologie : publiek debat, toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten*, R. Van Est, I. Malsch en A. Rip (2004).
- *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, The Royal Society and the Royal Academy of Engineering (2003).
- *Nanotechnology in Medicine. Cutting nature's building blocks down to size*, W. Baumgartner et al. TA-Swiss (2003).
- *Nanotechnology: Analysis of an Emerging Domain of Scientific and Technological Endeavour*. Rapport van het Steunpunt O&O - Statistiek, W. Glänzel et al. (2003).

DE BRONNEN VAN DIT DOSSIER

De auteurs van dit dossier hebben niet alleen geciteerd uit de bovenstaande werken, maar ook uit een aantal andere artikels en publicaties over nanotechnologie. De citaten werden uit de volgende bronnen gehaald:

- ¹ Deze informatie is gebaseerd op de definitie van nanotechnologie van NanoNed, het nationaal initiatief rond onderzoek en ontwikkeling van nanotechnologie in Nederland. www.nanoned.nl.
- ² W. Glänzel et al. (2003). Nanotechnology: Analysis of an Emerging Domain of Scientific and Technological Endeavour. Rapport van 'Steunpunt O&O Statistieken'.
- ³ W. Glänzel et al. (2003). Nanotechnology: Analysis of an Emerging Domain of Scientific and Technological Endeavour. Rapport van 'Steunpunt O&O Statistieken'.
- ⁴ www.belsop.be/iap.
- ⁵ Deze informatie werd gehaald uit het persartikel 'Intelligent textiel. Nieuwe functies en toepassingen voor stoffen en kleding', L. Veldhoen, NRC Handelsblad, 5 oktober 2004.
- ⁶ Deze informatie werd gehaald uit de brochure 'Nanotechnology. Innovation for tomorrow's world. Nanotechnologies and nanosciences, knowledge-based functional materials, and new production processes and devices.', M. Schulenberg, European Commission, Directorate-General for Research. www.cordis.lu/nanotechnology.
- ⁷ R. Van Est, I. Malsch en A. Rip (2004). Om het kleine te waarderen... Een schets van nanotechnologie : publiek debat, toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten. Den Haag: Rathenau Instituut. Werkdocument 93.
- ⁸ Deze informatie werd gehaald uit het persartikel 'Er is veel gekakel over nanotechnologie', F. Van Hamme, De Tijd, 10 mei 2004.
- ⁹ Deze informatie werd gehaald uit 'De intelligente omgeving: de noodzaak van convergerende technologieën en een nieuw businessmodel', K. Marent, J. Wauters en J. Van Helleputte (2003). Rapport van IWT en IMEC.
- ¹⁰ R. Van Est, I. Malsch en A. Rip (2004). Om het kleine te waarderen... Een schets van nanotechnologie : publiek debat, toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten. Den Haag: Rathenau Instituut. Werkdocument 93.
- ¹¹ Deze informatie werd gehaald uit de persartikels 'De rijstkorrel die uw leven kan redden', De Morgen, 18 oktober 2004 en 'Homo Sapiens sapiens 2.0. Beter leven met elektronica', J. Bosteels, De Standaard Magazine, 15 mei 2004.
- ¹² Zie voetnoot 10.
- ¹³ Deze informatie werd gehaald uit de eerste informatierondvraag, meer bepaald uit een interview van het viWTA met het Vlaams Interuniversitair Instituut voor Biotechnologie (VIB).

- ¹⁴ R. Van Est, I. Malsch en A. Rip (2004). Om het kleine te waarderen... Een schets van nanotechnologie : publiek debat, toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten. Den Haag: Rathenau Instituut. Werkdocument 93.
- ¹⁵ Deze informatie werd gehaald uit het Jaarverslag 2003 van het Interuniversitair Micro-Electronica Centrum (IMEC).
- ¹⁶ R. Van Est, I. Malsch en A. Rip (2004). Om het kleine te waarderen... Een schets van nanotechnologie : publiek debat, toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten. Den Haag: Rathenau Instituut. Werkdocument 93.
- ¹⁷ Deze informatie werd gehaald uit het verslag van het rondetafelgesprek 'Nanotechnologie in de Agrofoodsector', Rathenau Instituut Wageningen, april 2004.
- ¹⁸ Deze informatie werd gehaald uit het essay 'Duurzame energie dichterbij met nanotechnologie', J. Van Kasteren in opdracht van het Rathenau Instituut.
- ¹⁹ Deze informatie werd gehaald uit het persartikel 'De universele biosensor', G. Stix (Vertaling E. Verweire), Sciam nr1 2003.
- ²⁰ Deze informatie werd gehaald uit het vierde Nanoforum rapport 'Benefits, Risks, Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnology', I. Malsch et al.(2004).
- ²¹ Deze informatie werd gehaald uit het rapport 'Future Technologies, Today's Choices. Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics; A technical, political and institutional map of emerging technologies'. A.H. Arnall (2003). A report for the Greenpeace Environmental Trust.
- ²² ETC Group (2003). From genomes to atoms. The Big Down. Atomtech: Technologies Converging at the nanoscale.
- ²³ Swiss Re (2004). Small Matters, many unknowns.
- ²⁴ Deze informatie werd gehaald uit het rapport 'Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties', The Royal Society and the Royal Academy of Engineering (2003).
- ²⁵ Deze informatie werd gehaald uit het verlag van de Workshop 'Kansen en risico's van nanodeeltjes', Rathenau Instituut Den Haag, maart 2004.
- ²⁶ idem
- ²⁷ Deze informatie werd gehaald uit 'Om het kleine te waarderen... Een schets van nanotechnologie : publiek debat, toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten'. R. Van Est, I. Malsch en A. Rip (2004). Den Haag: Rathenau Instituut. Werkdocument 93.
- ²⁸ Deze informatie werd gehaald uit het verslag van de workshop 'Biomedische Nanotechnologie', Rathenau Instituut Utrecht, juli 2004.
- ²⁹ Deze informatie werd gehaald uit het rapport 'Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties', The Royal Society and the Royal Academy of Engineering (2003).

³⁰ Deze informatie werd gehaald uit het verslag van het rondetafelgesprek ‘Nanotechnologie in de Agrofoodsector’, Rathenau Instituut Wageningen, april 2004.

³¹ Deze informatie werd gehaald uit het document ‘Nanotechnologie: Forschung, Entwicklung, Anwendung’, H. Paschen, et al., TAB (2004).

³² Deze informatie werd gehaald uit het vierde nanoforum rapport : Benefits, Risks, Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnology, I. Malsch et al.(2004). www.nanoforum.org.

³³ ‘From genomes to atoms. The Big Down. Atomtech: Technologies Converging at the nanoscale’. ETC Group (2003).

³⁴ Meer informatie over nanotechnologie en het maatschappelijk debat: L. Hanssen en R. Van Est (2004). ‘ De dubbele boodschap van nanotechnologie. Een onderzoek naar opkomende publiekspercepties’. Rathenau Instituut, Den Haag.

³⁵ G. Gaskell, N. Allum N en S. Stares (2003). Europeans and biotechnology in 2002: Eurobarometer 58.0. Methodology Institute, London School of Economics, London, UK.

³⁶ European Commission (2004). Communication of the European Commission: Towards a European Strategy for Nanotechnology.

Colofon

Samenstelling

Stef Steyaert, Els Van den Cruyce en Peter Graller

Eindredactie

Peter Graller

Taaladvies

Luk Vanrespaille

Lay-out

B.aD

Drukwerk

Drukkerij Michiels

Verantwoordelijke uitgever

Robby Berloznik, directeur viWTA
Vlaams Parlement
1011 Brussel

De heer Robert Voorhamme is voorzitter van de Raad van Bestuur van het viWTA. Mevrouw TreesMerckx-Van Goey en de heer Lodewijk Wyns zijn de ondervoorzitters.

De Raad van Bestuur van het viWTA bestaat uit:

- mevrouw Patricia Ceysens;*
- de heer Eloi Glorieux;*
- mevrouw Kathleen Helsen;*
- mevrouw Trees Merckx-Van Goey;*
- de heer Jan Peumans;*
- de heer Erik Tack;*
- mevrouw Marleen Van den Eynde;*
- de heer Robert Voorhamme*

als Vlaamse Volksvertegenwoordigers;

- de heer Paul Berckmans;*
- de heer Jean-Jacques Cassiman;*
- de heer Paul Lagasse;*
- mevrouw Ilse Loots;*
- de heer Bernard Mazijn;*
- de heer Freddy Mortier;*
- de heer Nicolas van Larebeke-Arschodt;*
- de heer Lodewijk Wyns*

als vertegenwoordigers van de Vlaamse wetenschappelijke en technologische wereld.

Het Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek

Het Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek is een onafhankelijke en autonome instelling verbonden aan het Vlaams Parlement, die de maatschappelijke aspecten van wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen onderzoekt. Dit gebeurt op basis van studie, analyse en het structureren en stimuleren van het maatschappelijke debat. Het viWTA observeert wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen in binnen- en buitenland en verricht prospectief onderzoek over deze ontwikkelingen. Op basis van deze activiteiten informeert het viWTA doelgroepen en verleent het advies aan het Vlaams Parlement. Op die manier wil het viWTA bijdragen tot het verhogen van de kwaliteit van het maatschappelijk debat en tot een beter onderbouwd besluitvormingsproces.