

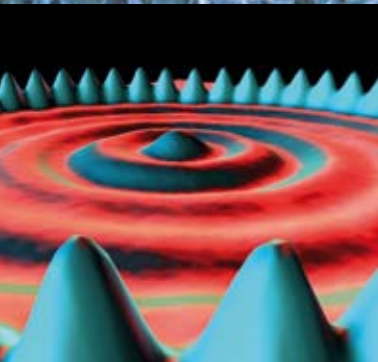
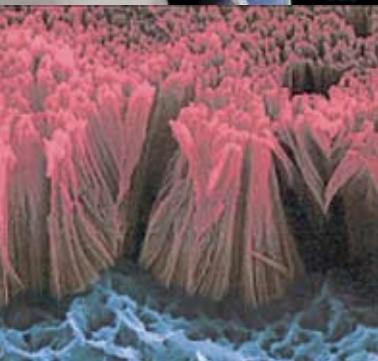
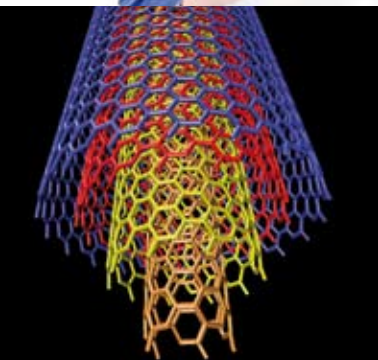
viWTA
Dossier
SPECIAL

nano nu





NANO NU



KLEIN MET GROTE TOEKOMST?	5
NANO VANDAAG	15
NANO MORGEN	19
NIEUWE MATERIALEN	19
NANO-ELEKTRONICA	22
MICRODOKTER WORDT NANODOKTER	27
DUURZAME ENERGIE EN EEN BETER MILIEU DANKZIJ NANOTECHNOLOGIE	30
MET NANO TEN STRIJDE	32
NANO IN DE MAATSCHAPPIJ	35
NANO, GEZOND VOOR MENS EN MILIEU?	35
KLEINE DEELTJES MET 'BIG BROTHER'-ALLURE	37
VAN ZENUWCHIP TOT CYBORG	39
DE DIEPE KLOOF	41
KOUDE NANO-OORLOG	42
DE NANOBOTS ZIJN GELAND!	42
PARTICIPATIE VAN HET PUBLIEK	44

COLOFON

Samenstelling

Peter Raeymaekers

Eindredactie

Stef Steyaert (viWTA)

Taaladvies

Luk Vanrespaille

Lay-out

B.Ad

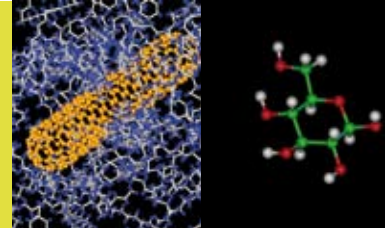
Verantwoordelijke uitgever

Robby Berloznik, directeur viWTA
Vlaams Parlement
1011 Brussel

viWTA Special, © 2007 door het Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek (viWTA), Vlaams Parlement, 1011 Brussel

Dit dossier, met de daarin vervatte resultaten, conclusies en aanbevelingen, is eigendom van het viWTA. Bij gebruik van gegevens en resultaten uit deze studie wordt een correcte bronvermelding gevraagd.

KLEIN MET GROTE TOEKOMST?

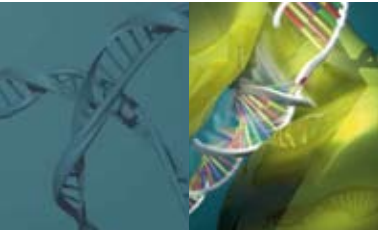


Elke week worden in wetenschappelijke tijdschriften nieuwe ontdekkingen gepubliceerd in het domein van de nanowetenschap en de nanotechnologie. In één enkele week, niet eens een uitzonderlijke, rapporteerden fysici van de Universiteit van Manchester (VK) de elektromagnetische eigenschappen van een grafietlaag met de dikte van één atoom¹, Japanse onderzoekers bouwden een moleculaire schaar die knipt als je ze belicht², onderzoekers van de Universiteit van Californië (VS) lieten nanobolletjes van glas en goud reageren met tumorcellen³ en materiaaldeskundigen van het Argonne National Laboratory (VS) ontdekten dat een legering van platina en nikkel bijzondere elektrolytische eigenschappen heeft⁴. In laboratoria over heel de wereld worden steeds meer geld en tijd geïnvesteerd in 'nano'. Het is vandaag een belangrijk domein geworden in onderzoek, ontwikkeling en innovatie. Alleen al in 2006 werden in de wetenschappelijke pers 35.000 'nano'-artikels gepubliceerd. Sommigen noemen nano dé belangrijkste technologische ontwikkeling van de komende decennia. Ze beweren zelfs dat nanotechnologie een radicale omkering inhoudt van ons toekomstig industriële productieproces. Nanowetenschap en nanotechnologie zijn voor hen de 'next big thing'⁵.

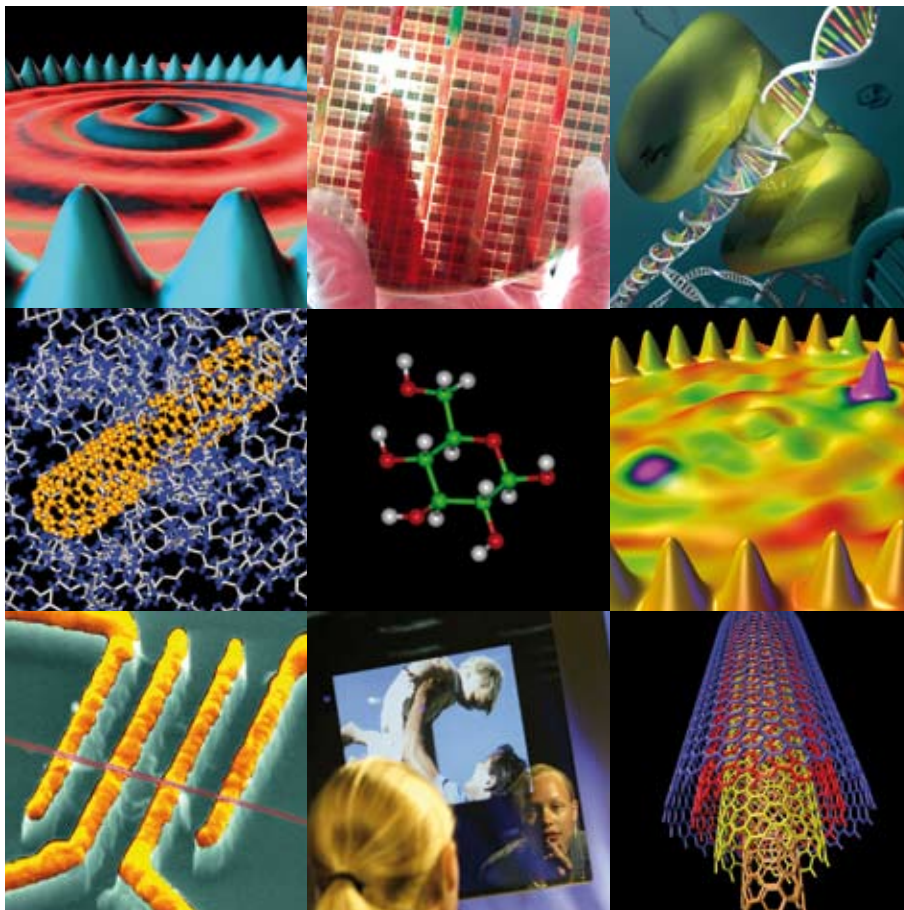
Maar er is een keerzijde aan deze evolutie. Ondanks inspanningen vanuit de Europese Commissie en in mindere mate vanuit de Belgische en Vlaamse overheid, vormen nanowetenschap en nanotechnologie voor het grote publiek nog veel-er onbekend terrein. Laat staan dat er al sprake zou zijn van een openbare opinie. Het deficit geldt overigens niet alleen voor de gewone burger. Op dit moment staat ook menig politicus, ambtenaar, sociaal wetenschapper of journalist nog onwetend tegenover nanotechnologie. Grote investeringen vanuit de overheid en de industrie gaan dus gepaard met een gebrek aan kennis over de technische, economische en maatschappelijke betekenis van nanotechnologie⁶. Dit gebrek aan publieke kennis over de mogelijkheden én de maatschappelijke implicaties, kan leiden tot wantrouwen en oppositie. Zowel beleidsmakers als wetenschappers en bedrijfsleiders lopen met andere woorden het risico dat ze vroeg of laat, goedschiks of kwaadschiks, zullen geconfronteerd worden met maatschappelijke vraagstukken en met problemen rond publieke acceptatie. Dat maakt meteen duidelijk waarom een open en publieke discussie over nanowetenschap en nanotechnologie aangewezen is. Het festival 'Nano Nu', dat op 9 en 10 november georganiseerd wordt in het Vlaams Parlement én deze bijhorende brochure, vormen een eerste stap tot dit noodzakelijke publieke debat in Vlaanderen.

We wensen u veel leesplezier.

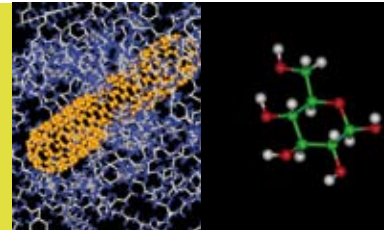
Robby Berloznik,
Directeur viWTA



NANO NU



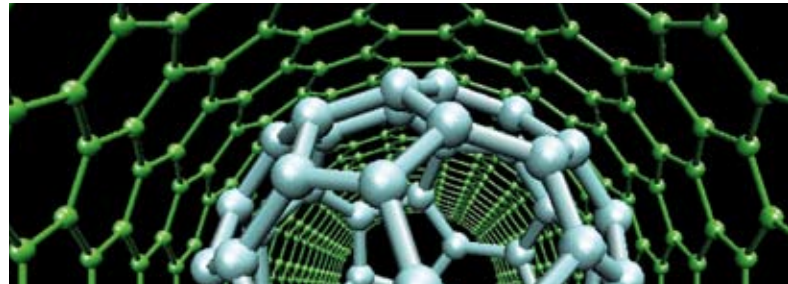
KLEIN MET GROTE TOEKOMST?



Nano, de essentie van klein

Nano staat voor klein, heel klein. Het woord is afgeleid van het Griekse nanos, wat dwerg betekent. Het behoort tot het rijtje voorvoegsels om een verkleiningsfactor aan te duiden: milli, micro, **nano**, pico, femto en atto. Eén nanometer is het miljardste deel van een meter, het miljoenste van een millimeter. Of nog: een vijftigduizendste van de dikte van een menselijk haar, het duizendste van de lengte van een doordeweekse bacterie of tien waterstofatomen op een rij. De nanometer is met andere woorden de schaal van de atomen.

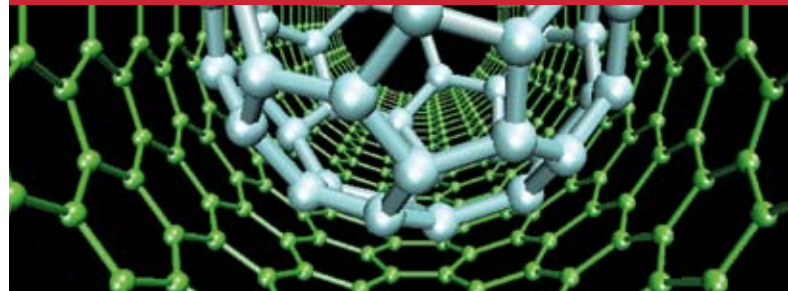
Het is op deze schaal dat nanowetenschappers en nanotechnologen materialen en processen bestuderen en manipuleren die een grote impact zullen hebben op de toekomst. Al is het voor de buitenstaander misschien moeilijk te begrijpen hoe ontdekkingen als celmimnende goud-glazen nanobolletjes, een legering van platina en nikkel, de elektromagnetische eigenschappen van een grafietlaagje of een moleculaire schaar het dagelijkse leven van morgen zullen kunnen beïnvloeden.



'Nanowetenschap' is het onderzoek naar verschijnselen en bewerking van materialen op atomaire, moleculaire en macromoleculaire schaal.

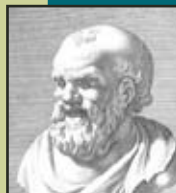
Op deze uiterst kleine schaal hebben materialen andere eigenschappen dan op macroschaal.

Onder 'nanotechnologie' wordt verstaan het ontwerpen, vervaardigen en toepassen van structuren, instrumenten en systemen door beheersing van vorm en afmeting op nanometerschaal.



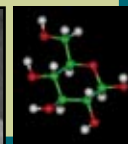
400 VOOR CHRISTUS

De Griekse natuurfilosoof Democritus neemt aan dat materie is opgebouwd uit minuscule, onzichtbare bouwstenen die ondeelbaar zijn. Ze vormen een oneindig aantal combinaties, bewegen doelloos door elkaar en kunnen via botsingen iets creëren, dat nadien weer kan uiteenvallen. Dit 'kleinste' deeltje noemt Democritus 'atomos', het Grieks voor ondeelbaar.



1905

Albert Einstein berekende in zijn doctoraat dat de diameter van een suikermolecule ongeveer één nanometer moest zijn.



1955

Erwin Müller schiet de eerste beelden van een individueel atoom met behulp van een veldionenmicroscop, het toestel dat vier jaar eerder door hem was uitgevonden.

1959

In zijn lezing 'There is plenty of room at the bottom' oppert de Amerikaanse fysicus Richard Feynman voor de American Physical Society de mogelijkheid om individuele atomen en moleculen te manipuleren. Zijn voordracht wordt gezien als het officiële begin van de nanowetenschap en nanotechnologie.





NANO NU

MACRO, MICRO, NANO



Producten van de toekomst

Toch is elk van de nano-ontdekkingen die vandaag in wetenschappelijke tijdschriften worden gepubliceerd het resultaat van de wil van de onderzoekers om ooit - misschien zelfs in de nabije toekomst - een product op de markt te brengen met een impact op ieders leven. Zo zijn de wetenschappers uit Manchester, met hun 'één atoom dikke grafietlaagje'¹, op zoek naar nieuwe transistors die over vijftien tot twintig jaar de siliciumchips van uw PC kunnen vervangen. Voor de Japanse schaar van amper drie nanometer groot² bestaat veel belangstelling vanuit de biotechnologische industrie. Die produceert op grote

schaal eiwitten die heel precies moeten verknipt worden. Misschien is voor de schaar zelfs een toekomst weggelegd als geneesmiddel om bijvoorbeeld defecte genen weg te snijden. De onderzoekers uit Californië willen met hun nanobolletjes uit glas en goud³ een nieuwe kankerbehandeling op punt stellen. Behalve goud, zijn de glasbolletjes namelijk ook uitgerust met een stukje eiwit dat specifiek aan tumorcellen blijft kleven. Van zodra de tumor vol nanobolletjes plakt, worden de bolletjes opgewarmd met een infraroodlaser en wordt de tumor gebarbecueed. Tot slot volgen energiebedrijven én de auto-industrie met interesse het onderzoek naar de nanolegering van

1965

Gordon Moore, medeoprichter van de chipfabrikant Intel, voorspelt dat het aantal transistors op een computerchip om de 18 maanden verdubbelt door de technologische vooruitgang. Die voorspelling wordt later omgezet in de 'wet van Moore'.



1969

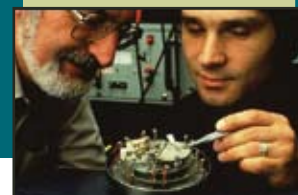
Het eerste micro-elektromechanisch systeem (MEMS) wordt door American Westinghouse Company ingebouwd in transistors. Vandaag vinden we overal MEMS terug, van airbags tot inkjet printers.

1974

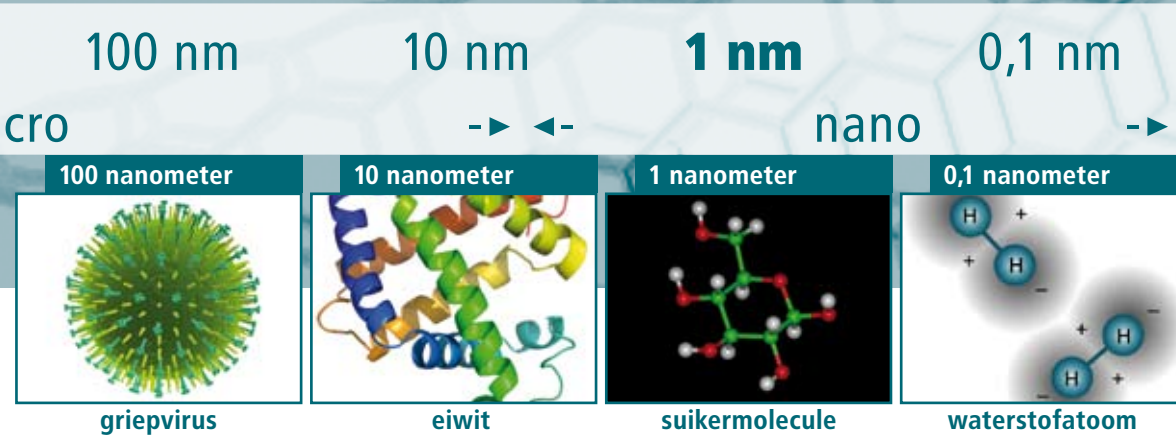
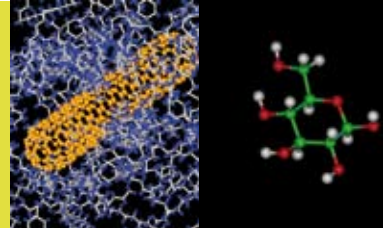
De term 'nanotechnologie' wordt voor het eerst gebruikt door de Japanse wetenschapper Norio Taniguchi in zijn artikel 'On the basic concept of nano-technology'. Hij definieert nanotechnologie als het omvormen, scheiden, consolideren of deformeren van materialen atoom per atoom, of molecule per molecule.

1981

De IBM-onderzoekers Gerd Binnig en Heinrich Rohrer ontwikkelen de raster-tunnelmicroscop.



KLEIN MET GROTE TOEKOMST?



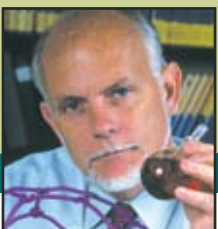
platina en nikkel⁴, omdat die een doorbraak kan betekenen voor de ontwikkeling van hyperefficiënte brandstofcellen, voor nieuwe katalysatoren of voor een auto die op waterstof rijdt.

Ook Vlaamse onderzoeksgroepen zijn actief in het domein van de nanowetenschap en de nanotechnologie. Ingenieurs, fysici, chemici en biowetenschappers van het onderzoekscentrum IMEC en de universiteit van Leuven zoeken net als de onderzoekers van de Universiteit van Manchester naar nieuwe functionele materialen om de transistor van de toekomst te bouwen en naar nanopartikels om tumoren te lijf te gaan. Onderzoekers van de Uni-

versiteit Gent bestuderen nanovezels en coatingprocessen om was-, strijk- of brandvrije kleding te fabriceren. Wetenschappers van Vito in Mol ontwerpen keramische filters met nanoporiën om het milieu te zuiveren. Fysici van de Universiteit Antwerpen speuren met hun elektronenmicroscopen de atomaire structuur van nieuwe materialen af ... En dat is nog maar een greep uit de brede diversiteit aan nano-onderzoek aan de Vlaamse universiteiten en onderzoekscentra.

1985

Richard E. Smalley (foto), Harold Kroto en Robert Curl ontdekken een nieuw type koolstofmolecule, de 'buckyball'.



1986

K. Eric Drexler brengt het boek 'Engines of Creation' uit, waarin hij de 'assembler' introduceert: een ultrakleine robotische hand die atomen razendsnel kan verplaatsen en met elkaar combineren. De assembler kan om het even wat maken.



1989

De IBM-onderzoeker Donald Eigler schrijft met 35 xenonatomen de letters 'I' 'B' 'M' op een stukje nikkel.



1991

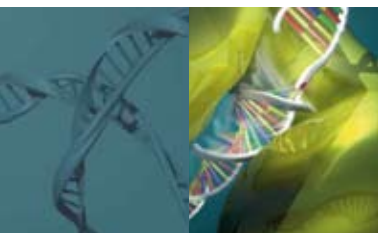
De Japanner Sumio Iijima ontdekt de koolstofnanobuizen.



1997

Zyvox wordt opgericht, 's werelds eerste bedrijf dat zich exclusief toelegt op nanotechnologie. Vandaag heeft Zyvox talrijke nanoprodukten en toestellen op de markt.





NANO NU

Nano aan Vlaamse Universiteiten

Ook de Vlaamse universiteiten spreken een aardig mondjee mee in de wereld van de nanowetenschap. Enkele voorbeelden ter illustratie:

Nanostructuren onder de loep

Het Instituut voor Nanoschaalfysica en -chemie (INPAC) van de KULeuven spitst zich toe op welke effecten nanostructurering en opsluiting op nanometerschaal van elektrische ladingen, magnetische spins, en fotonen teweeg brengen op de fysische en chemische eigenschappen van anorganische, organische, en biomaterialen. Functionele nanomaterialen komen aan dezelfde universiteit uitgebreid aan bod

binnen het 'Materials Research Center' (MRC) dat uitgesproken multidisciplinair is zowel wat betreft expertise als infrastructuur en bestudeerde toepassingen.

www.kuleuven.be/inpac en www.kuleuven.be/MRC

Het onzichtbare zichtbaar maken

Aan het EMAT van de Universiteit Antwerpen staat het onderzoek van niet-organische materialen met behulp van elektronenmicroscopische technieken centraal. Sinds 1965 bouwde EMAT een brede variëteit van activiteiten uit met betrekking tot vastestoffysica en -chemie, en materiaalwetenschap.

www.emat.ua.ac.be

Van onderzoeksobject tot product

Nanowetenschap en nanotechnologie blijven echter niet beperkt tot de universitaire labs. Multinationale ondernemingen als General Motors of L'Oréal zetten een flink deel van hun innovatie-inspanningen in op nanotechnologie. Maar ook kleine en middelgrote ondernemingen als het Vlaamse Ablynx of het Waalse Nanocyl maken van nano hun belangrijkste inkomstenbron.

Impala en waterstofauto

General Motors, bijvoorbeeld, rust sinds 2004 zijn veelverkochte Chevrolet Impala uit met koetswerkonderdelen op

basis van nanocomposieten⁷. Deze onderdelen zijn lichter dan de oorspronkelijke uit staal of aluminium en bovendien sterker en vormvaster. Met meer dan 300.000 kg was GM in 2005 de grootste verbruiker van nanocomposietmaterialen ter wereld.

Ingenieurs van Opel en GM gaan overigens nog een stap verder bij het inzetten van nieuwe nanomaterialen en nanotoepassingen voor hun toekomstige automodellen. Ze voeren tests uit met waterstoftanks op basis van holle nanobuizen uit koolstof⁷. Die tanks moeten de opslag van waterstofgas vergemakkelijken en de milieuvriendelijke waterstofauto een stuk dichterbij brengen.

1998

De onderzoeksgroep van Cees Dekker uit Delft ontwerpt de eerste transistor die bestaat uit één enkele koolstofnanobuis.



1999

Yale-onderzoeker Mark Reed bewijst dat enkelvoudige moleculen zich kunnen gedragen als een transistor.



2000

De eerste nanoprodukten komen in de winkelrekken. Daarbij onder meer zonnemelk en cosmetica-producten.



2000

President Bill Clinton geeft het startschot voor het 'USA National Nanotechnology Initiative'.

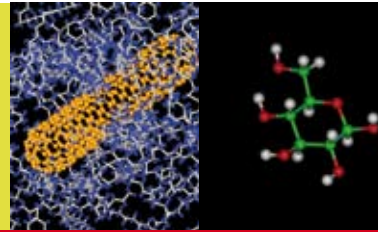


2001

In Gent wordt Ablynx opgericht. Het bedrijf ontwikkelt fragmenten van antilichamen (nanobodies), met het oog op de behandeling van aandoeningen als alzheimer, ontsteking, trombose en kanker.



KLEIN MET GROTE TOEKOMST?

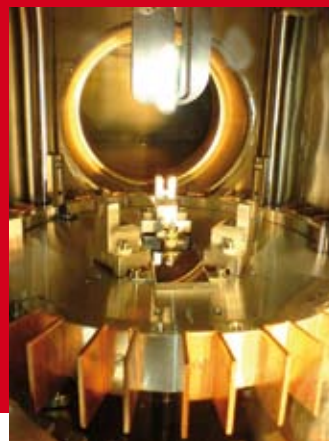


Nanodeeltjes voor bio Binnen de **Universiteit Hasselt** focust het Instituut voor materiaalonderzoek (**IMO**) zich op de productie van hoogtechnologische materialen, zoals biocompatibele polymeren, synthetische diamantlagen en biofunctionele nanodeeltjes. Deze laatste worden samen met het Biomedisch Onderzoeksinstituut **BIOMED** ontwikkeld. Zij moeten de kern vormen van biosensoren voor de vroegtijdige opsporing van bijvoorbeeld cardiovasculaire en genetische aandoeningen.
www.imo.uhasselt.be

Van verband tot slim babypakje Voor de **vakgroep textielkunde** van de **Universiteit Gent** is textiel uit nanovezels méér dan een utopie ... al kan je nanovezels natuurlijk niet op een traditionele manier spinnen en weven. Via elektrospinning kunnen de Gentse textieldeskundigen echter wel een tapijtje van nanovezels op een drager aanbrengen. Daarbij wordt elektrische lading gebruikt om de vezels netjes te spreiden. Het elektrogesponnen weefsel is heel poreus en heeft een groot contactoppervlak met een buitengewoon absorptievermogen. Het is dus zeer geschikt als wondverband of filtermateriaal. De vakgroep doet ook onderzoek naar intelligente kledij en milieuvriendelijke nanocoatings voor beschermkledij. In samenwerking met ESAT/MICAS (KULeuven) en de vakgroep Pedriatrie en Genetica (UGent), ontwierp het een

babypakje dat op een draadloze manier de hartslag en ademhaling van een baby kan registreren.
textiles.ugent.be

Informatie overdragen met licht Fotonica is de wetenschap en technologie van informatieverwerking met licht, ofwel fotonen. Op dit terrein is de **vakgroep toegepaste natuurkunde en fotonica** van de **VUB** een wereldspeler. In samenwerking met andere universiteiten en de industrie, verricht deze vakgroep zowel fundamenteel als toegepast onderzoek. Praktische toepassingen van fotonica vinden we terug in tal van sectoren en producten: lasers om CD's en DVD's te lezen en te schrijven, beeldschermen en webcams, LED's, communicatie via optische vezels, camera's voor bewaking, nachtkijkers, en veel meer.
tona.vub.ac.be



Rastertunnelmicroscopie aan de KULeuven.

2002

Kleding, gecoat met nanodeeltjes om de stof vlekvrug te houden, komt op de markt.



2004

De eerste studies verschijnen, waaruit blijkt dat vissen of watervlooiën na experimentele blootstelling aan nanobuizen en buckyballen gezondheidsschade vertonen.

2004

De Zwitserse maatschappij Swiss Re publiceert het rapport 'Nanotechnology: small matter, many unknowns'. De studie 'Nanoscience and nanotechnologies, opportunities and uncertainties' van de Britse Royal Society komt uit.

2005

Europees Commissaris Janez Potočnik lanceert een actieplan onder de noemer 'Looking small, thinking big – keeping Europe at the forefront of nanotechnology'.





NANO NU

Nanorimpels

Voor parfum- en schoonheidsspecialist L'Oréal is onderzoek in nanotech synoniem voor onderzoek in schoonheid: al sinds de vroege jaren '70 experimenteren L'Oréal-wetenschappers met liposomen - ultrakleine vetdruppeltjes - en andere nanopartikels, om de actieve bestanddelen van hun zalfjes en crèmes efficiënter te laten doordringen tot in de diepere lagen van de huid. Crèmes tegen rimpels of hedendaagse zonneproducten, vuurrode lippenstift of 'bruinen zonder zon', het zijn allemaal schoonheidsproducten met een vleugje nanotechnologie⁸.

General Motors of L'Oréal zijn slechts enkele voorbeelden van bedrijven die resoluut de nanokaart trekken. De productvoorbeelden hadden ook kunnen komen van Philips, Janssen Pharmaceutica en Michelin, of Intel, Agfa en Boeing, of Nokia, British Petroleum en Umicore. Tal van innovatieve bedrijven verrichten vandaag nanotechnologisch onderzoek, om morgen nieuwe, betere, efficiëntere of hipperen producten op de markt te brengen.

Meer dan oude wijn

Op zich zijn nanomaterialen of via nanotechnologische processen gefabriceerde producten niet nieuw. Integendeel. Sommigen zijn ouder dan de straat. Glasramen, bijvoorbeeld, zijn een perfect staaltje van middeleeuwse nanotechnologie. Die danken hun kleurenpracht aan de metaalzouten in het glas. De lichtbreking (en dus ook de kleur) van een glasraam is afhankelijk van de grootte van die metaaldeeltjes. De middeleeuwse glazeniers waren dan ook meesters in het artisanal bereiden van gekleurd glas en zijn in feite nanotechnologen 'avant la lettre'.

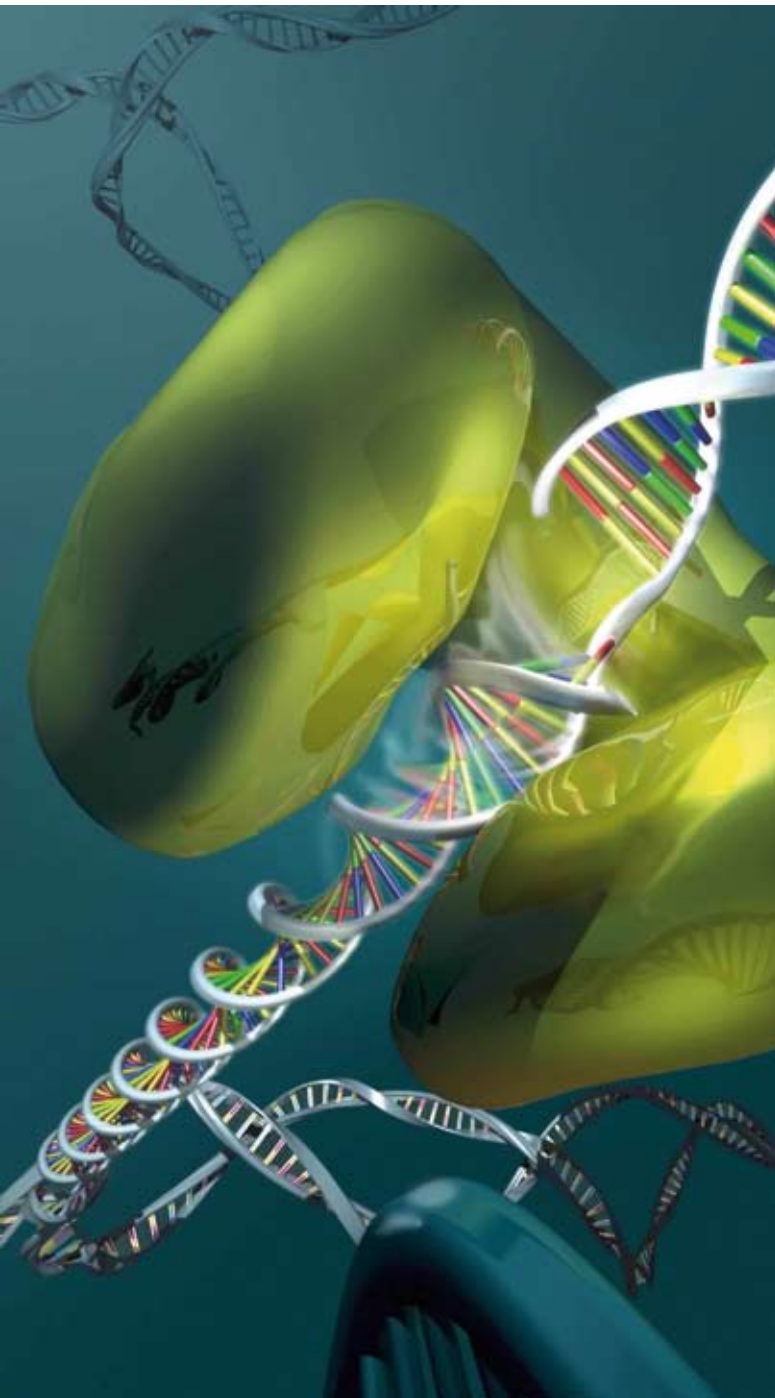
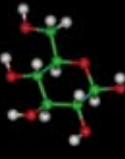
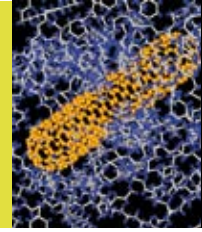
Maar ook in de recentere geschiedenis hebben heel wat mensen zich ontpopt tot heuse nanotechnologen zonder dat ze het zelf beseften. Alle fotografische processen maken gebruik van materialen en processen die zich voltrekken op nanoschaal. De natuurlijk voorkomende nanodeeltjes in zeldzame kleisoorten en aarde worden al eeuwen gebruikt door de bouwindustrie. Hedendaagse auto's rijden op banden met 'carbon black' als vulstof. Van dit nanoprodukt (een amorfe vorm van koolstof met een grote oppervlakte-volumeverhouding) wordt jaarlijks acht miljoen ton geproduceerd.

Begrip en inzicht

Toch is er een onderscheid tussen de nanotechnologische producten en toepassingen die vandaag worden ontwikkeld en de vroegere materialen. Vandaag worden de eigenschappen op nanoschaal op een systematische manier bestudeerd, gecontroleerd en geëxploiteerd. Er heeft zich met andere woorden een transitie voltrokken van het accidentele gebruik van die eigenschappen naar het opzettelijke en doelgerichte toepassen ervan.

Deeltjes met nano-afmetingen gehoorzamen aan de wetten van de kwantummechanica, en die wetten zijn heel anders dan de fysische wetten die gelden in de grote wereld. Verder hebben nanodeeltjes een veel grotere oppervlakte-volumeverhouding. Een rekenvoorbeeldje spreekt boekdelen: een kubusje goud met zijden van één centimeter heeft een oppervlakte van zes vierkante centimeter en een volume van één kubieke centimeter. Dezelfde hoeveelheid goud verdeeld in brokjes met zijden van tien nanometer heeft een totale oppervlakte van zes miljoen vierkante centimeter of twee tennisvelden.

KLEIN MET GROTE TOEKOMST?



Vanwege die veel grotere oppervlakte zijn gouddeeltjes op nanoschaal bijzonder reactief en worden ze gretig gebruikt als katalysator voor tal van chemische reacties.

Nanotechnologie laat ons met andere woorden toe om materialen, systemen of producten te ontwikkelen met revolutionaire nieuwe fysische, chemische of biologische eigenschappen. Het potentieel van 'nano' spreidt zich dan ook uit van micro-elektronica over materiaalkunde tot geneeskunde en ver daarbuiten.

Bodemvisser ...

Als geestelijke vader van de moderne nanotechnologie wordt meestal de natuurkundige en latere Nobelprijswinnaar Richard Feynman naar voor geschoven. Tijdens een legendarische lezing in 1959 voor de Amerikaanse 'Physical Society' droomde hij hardop over nieuwe fabricagetechnieken die steeds kleinere bouwstenen gingen gebruiken, zelfs tot individuele atomen toe. "De wetten van de fysica spreken de mogelijkheid niet tegen dat we dingen atoom per atoom kunnen verplaatsen," aldus Feynman. "In de praktijk is dat nog niet gebeurd omdat wij nog niet beschikken over de juiste instrumenten." Feynman schetste verder de mogelijkheid om de hele inhoud van een encyclopedie over te schrijven op de punt van een naald. Zijn lezing 'Plenty of room at the bottom' wordt gezien als het startpunt van de nanotechnologie⁹.

... en atoomschrijvers

Goed dertig jaar later, in 1989, kwam Feynmans theoretische concept een stuk dichterbij. Don Eigler, een onderzoeker bij computerbouwer IBM, plaatste 35 xenon-atomen op een stukje nikkel in de vorm van de letters



NANO NU



'I B M'¹⁰. Elke letter was amper 5 nm groot. De pen die hij hanteerde voor zijn atoomschrift was de punt van een rastertunnelmicroscop of STM. Bij dat type microscoop tast een hele fijne naald het oppervlak van een materiaal af. Individuele atomen worden door de naald gedetecteerd als 'hobbels'. Dat de STM afzonderlijke atomen kan waarnemen, is op zich al uniek, maar Eigler verbouwde het toestel zodat hij met de

naald ook individuele atomen kon oppikken om die vervolgens elders weer neer te plaatsen.

Bottom-up en top-down

Alhoewel Eiglers atomaire versie van het IBM-logo ook vandaag nog wordt geciteerd in bijna elk populair wetenschappelijk artikel over nanowetenschap en nanotechnologie, is zijn reclamepaneel niet veel meer dan primitieve nanotech. Wil het echte bouwen met atomen de wind in de zeilen krijgen, dan moeten we nanostructuren in grote hoeveelheden kunnen fabriceren. Het stuk voor stuk oppikken van atomen met een microscoopnaald is een artisanale vorm van nanotechnologie die veel te langzaam en arbeidsintensief is om toegepast te worden op industriële schaal. Bij de 'bottom-up'-nanotechnologie - het opbouwen van nieuwe materialen van 'onderuit' zoals dat in zijn puurste vorm door Eigler werd beoefend - ligt het accent daarom veeleer op zelfassemblage. Moleculen moeten zichzelf daarbij onder de juiste omstandigheden assembleren tot een groter geheel. Vooral de scheikunde en moleculaire materiaalkunde vertrekken van deze tech-

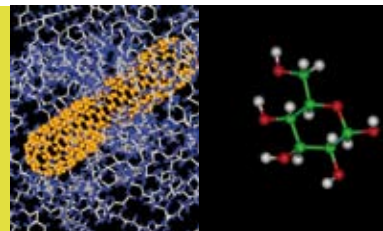
nologische benadering.

Bij de omgekeerde technologische stroming - de 'top-down'-benadering - ligt de nadruk op het steeds kleiner maken van materialen en toestellen. Voorbeelden van deze benadering vinden we in de micro-elektronica en microsysteemtechnologie, waar men uit grotere structuren ultrakleine processors en micromachines (bijvoorbeeld sensoren) met nanoafmetingen bouwt. In de moderne nanotechnologie zien we het onderscheid tussen beide stromingen steeds verder vervagen.

Een mix van disciplines

Het onderzoeksveld van de nanowetenschap en de nanotechnologie blijft echter moeilijk te definiëren. Nanotechnologie wordt immers beoefend door een bont gezelschap uit heel diverse onderzoeksdisciplines: natuurkundigen, ingenieurs, scheikundigen, elektronici, informatici, materiaalwetenschappers, moleculaire biologen, apothekers en nog veel meer. Nanotechnologie houdt zich niet aan de gebruikelijke disciplinaire grenzen en zelfs de term multidisciplinair dekt de lading maar ten dele. Iemand die vandaag onderzoek doet in het domein van de biomedische nanotechnologie moet naast een portie (moleculaire) biologie ook een flinke brok fysica en materiaalkunde kennen. Nanowetenschappers en nanotechnologen vinden dan ook dat nergens in de wetenschap de kruisbestuiving tussen disciplines zo groot is als bij hen. Nanotechnologie bestaat bij de gratie van vakoverschrijdend onderzoek. Juist daarom wordt vaak gezegd dat nano een 'enabling technology' is. Dankzij nanotechnologie worden in tal van disciplines grensverleggende ontwikkelingen mogelijk¹¹.

KLEIN MET GROTE TOEKOMST?



Nanowetenschap en nanotechnologie zijn daarom ook uitgegroeid tot paraplu termen die eerder staan voor een brede technologische trend, waarbinnen diverse ontwikkelingen plaatsvinden en waarvan in talrijke toepassingsgebieden veel wordt verwacht. Verder in deze brochure wordt dan ook ruime aandacht besteed aan concrete voorbeelden in relevante toepassingsgebieden van nanowetenschap en nanotechnologie. Zonder evenwel volledig te kunnen zijn, willen we voor de lezer een beeld ophangen van de diversiteit van nanotechnologie, wat ze ons vandaag brengt en wat ze belooft voor morgen.

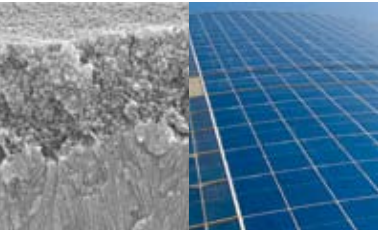
Onderzoek en maatschappij

Niet alleen wetenschappers en industriëlen zien een grote toekomst weggelegd voor nano, ook de overheid wil er fors in investeren. Europa wil zich kost wat kost handhaven of zelfs nog versterken als belangrijke regio voor nano-onderzoek en nanoproduktie. Nano wordt door de Europese leiders gezien als een belangrijke hoeksteen van onze toekomstige economie¹². De Europese Commissie heeft daar ook heel wat euro's voor over. Tussen 2002 en 2006 spendeerde de Commissie 1,63 miljard euro aan programma's voor nano-onderzoek. Met het Zevende Kaderprogramma voor onderzoek en technologische ontwikkeling (van 2007 tot 2013) wil ze dat bedrag optrekken tot 3,4 miljard euro. Daarnaast investeert ook een aantal nationale en regionale overheden flink in nano-onderzoek.

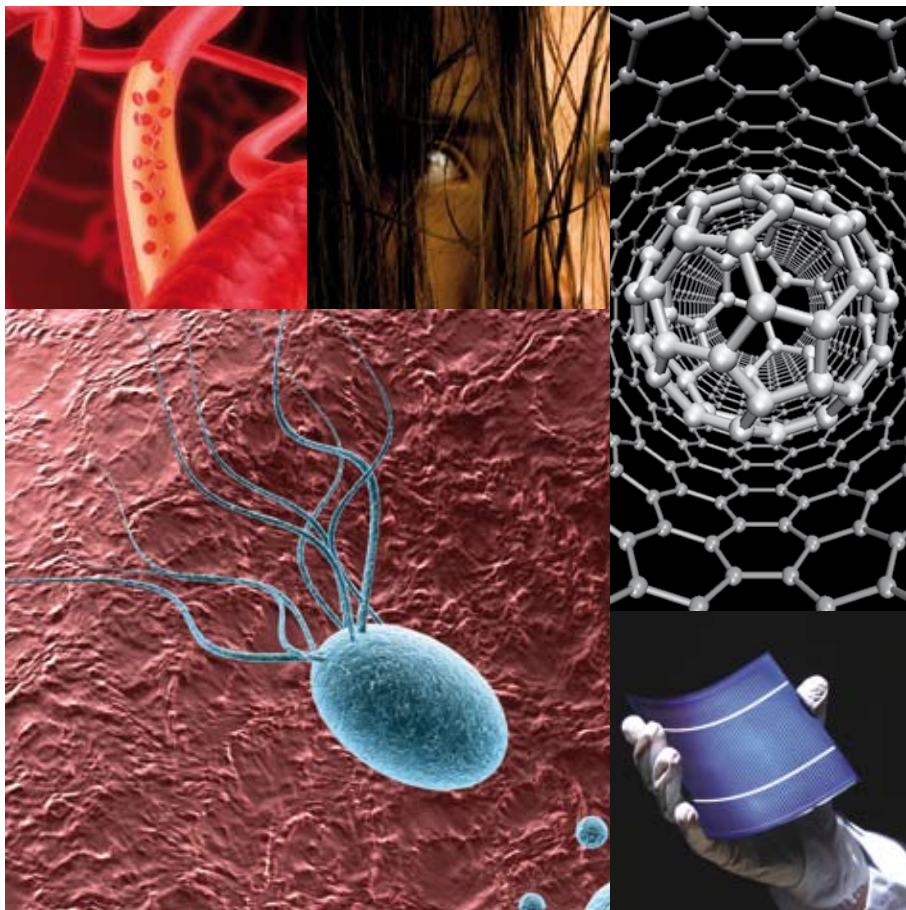
De ervaring leert echter dat achter de beloften van elke nieuwe technologie ook onvermoede en minder positieve aspecten schuilgaan. Die kunnen heel uiteenlopend

zijn: van milieuschade en gezondheidsproblemen, over inbreuken op de privacy, tot versterking van de sociale ongelijkheid en verschuivingen in de machtsverhoudingen. Nanotechnologie heeft, naast een zonnige, beloftevolle zijde, wel degelijk een schaduwrijke keerzijde. Ook daaraan wordt verder in deze brochure ruime aandacht besteed.

Met nanotechnologie kunnen materialen, systemen of producten worden ontwikkeld met revolutionaire nieuwe fysische, chemische of biologische eigenschappen.



NANO NU



NANO VANDAAG



Nanotechnologie belooft ons een toekomst met wonderlijke producten... Maar ook vandaag liggen al nanoproducten in de winkel. Minstens driehonderd verschillende, volgens de laatste tellingen¹³, en elke dag komen er nieuwe bij. Materialen op nanoschaal worden vandaag gebruikt in tal van elektronische, biomedische, farmaceutische, cosmetische en chemische toepassingen, maar ook in minder verwachte sectoren als de energie-, textiel- of bouwsector.

Zonnecrème en antirimpelzalf

De bekendste hedendaagse toepassingen van nanotechnologie in consumptiegoederen zijn zonneproducten en andere cosmetica. Crèmes met nanokristallen van titaandioxide of zinkoxide zijn transparant voor zichtbaar licht en absorberen of reflecteren beschadigende UV-stralen. Zelfs zonnecrèmes met een ultrahoge beschermingsfactor voelen niet langer vetig aan, zijn perfect uitsmeerbaar en laten geen witte strepen na.

De nanowetenschap achter schoonheid is overigens 'big business'. L'Oréal heeft patenten op tientallen verschillende cosmetische nanotoepassingen. Andere cosmetische bedrijven als Dior, Estée Lauder en Johnson en Johnson zijn eveneens op de trein van de nanocosmetica gesprongen. Het principe van deze producten is doorgaans gelijkaardig: verzorgende en voedende stoffen zoals vitamine A of E worden ver-



pakt in nanopartikels. Deze transporteren de vitamines doorheen de lagen van de opperhuid tot diep in de dermis of lederhuid. Hier worden de nanodeeltjes afgebroken en zetten ze hun voedende bestanddelen vrij aan de nog delende cellen van de onderhuid¹⁴. De producenten maken zich sterk dat de nieuwe nanoproducten veel efficiënter zijn en bovendien voldoende getest op veiligheid. Anderen trekken vooral het laatste in twijfel. Zij stellen dat er te weinig wetenschappelijke gegevens zijn over de gezondheidseffecten van deze nanocomponenten op korte termijn, en méér nog op lange termijn. Zij dringen aan op meer en diepgaander onderzoek en tegelijk op een moratorium voor het commerciële gebruik van deze nanostoffen totdat meer geweten is over hun mogelijke gezondheidseffecten en hun impact op het milieu¹⁵.



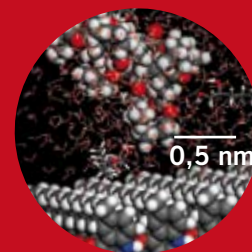
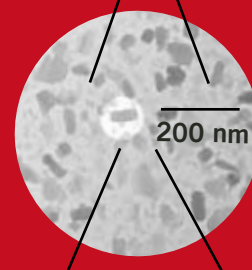
Polohemdjes, matrassen en geroosterde tenen

Stoffen voor kleding, matrassen, beddengoed, zetels en zacht speelgoed worden steeds vaker behandeld met nanodeeltjes onder de vorm van coatings. De mogelijkheid om porositeit op nanoniveau te beheersen, betekent dat men deze stoffen water-, vlek- en transpiratieresistent kan maken terwijl ze toch blijven 'ademen'. Nano-Tex is één van de belangrijkste producenten van deze stoffen. Merken als Nike, Dockers, Benetton en Levi's verwerken het materiaal in schoenen of kledij, matrasmakers Sleepmaker en Dreamland verwerken nanoproducten in hun beddengoed¹⁶.

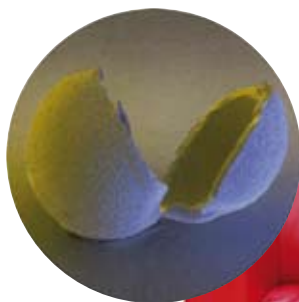
NANO NU

Ook Agfa Graphics uit Mortsel verkoopt tal van producten op basis van nanodesigned materialen. Een voorbeeld is de 'thermofuse'-digitale drukplaat. Die is opgebouwd uit een 500 nm dikke laag van nanolatexpareltjes. Elk pareltje meet 50 nm in diameter en bij belichting met een 830 nm laser versmelten de parels, waardoor ze inkt aannemen. De niet belichte delen blijven inktafstotend en nemen alleen water aan, geen drukinkt. Onder deze nanolatexlaag zit een aluminiumoxidelaag van 1.000 nm dik met nanoporiën tussen de 10 en 40 nm. Met deze nieuwe technologie is tijdens het drukproces geen chemische processing meer nodig. Daardoor produceert de drukker bijna geen afval meer en bespaart hij ook op energie. Het aluminium substraat van de platen wordt volledig gerecycleerd.

Ook in de nieuwste kleurinkten voor inkjetprinters heeft Agfa Graphics een flinke scheut 'design op nanoschaal' verwerkt. De basis van die inkten wordt gevormd door kleurpigmenten die uit nanokristallen bestaan. Door het inzetten van supramoleculaire designtechnieken kan men de grootte van de nanopigmenten bijsturen en de morfologie van de kristallen controleren. Hierdoor zijn de kleuren veel meer verzadigd. Dat geeft een optimale kleurweergave met minder inkt in vergelijking met pigmenten ingezet in de klassieke zeefdruktechniek.



Ook de Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA laat zich niet onbetuigd op het vlak van praktisch nano-onderzoek. Haar ingenieurs ontwikkelden 'aerogel', een ultralicht, poreus materiaal met superieure isolatiecapaciteit¹⁷. NASA gebruikt het materiaal, dat voor 99,8% uit lucht en 0,2% uit silicium bestaat, als superisolator tijdens ruimtereizen of als opvangnet voor ruimtestof. Op de aarde wordt het materiaal verwerkt in 'toasty feet', inlegzolen om het bevroren van voeten en tenen tegen te gaan.



De Duitse chemiereus Bayer heeft een nanotoepassing ontwikkeld om leer en stoffen te parfumeren. 's Werelds kleinste parfumflesjes, noemt Bayer de ultrakleine bolletjes gevuld met parfum¹⁸. De deeltjes dringen tot diep in het leer. Telkens iemand neerploft in het lederen salon breken er weer een paar open. In plaats van een scherpe leerlucht stijgt een wolk van aromatisch parfum op.

Nooit meer ramen lappen

Fabrikanten van vensterglas, tegels, wastafels en douchecellen adverteren met zelfreinigende ramen en badkamers. Meestal is het oppervlak van deze materialen gecoat met waterafstotende deeltjes. Fabrikant Pilkington ontwikkelde Pilkington ActivTM¹⁹, glas met een speciale coating die onder invloed van zonlicht organisch vuil afbreekt waarna de restanten worden weggespoeld met het regenwater. Nooit meer ramen lappen, dus!



NANO VANDAAG



De verf- en bouwmaterialenindustrie zullen in de nabije toekomst belangrijke producenten van nanoprodukten worden. Titaandioxide verwerkt in beton, klinkers, verf en plaaster wordt getest op zijn capaciteit om luchtvervuiling tegen te gaan²⁰. Daarnaast zitten ook antigriffiti en scheurresistente verf op basis van nanodeeltjes in de pijplijn.

Sportief met nano

De sportindustrie heeft eveneens verscheidene nanoprodukten op haar verkoopslijstje staan. Tennisballen met aan de binnenzijde een speciale luchtdichte nanocoating behouden hun druk en veerkracht twee keer langer dan 'gewone' ballen. Golfballen met nanometaaldeeltjes

vliegen een rechte baan, nanowax maakt ski's superglad, tennisraketten met nanobuisjes zijn lichter en sterker, kaders van mountainbikes met nanokoolstofvezels stabiel²¹.

Nanokatalyse

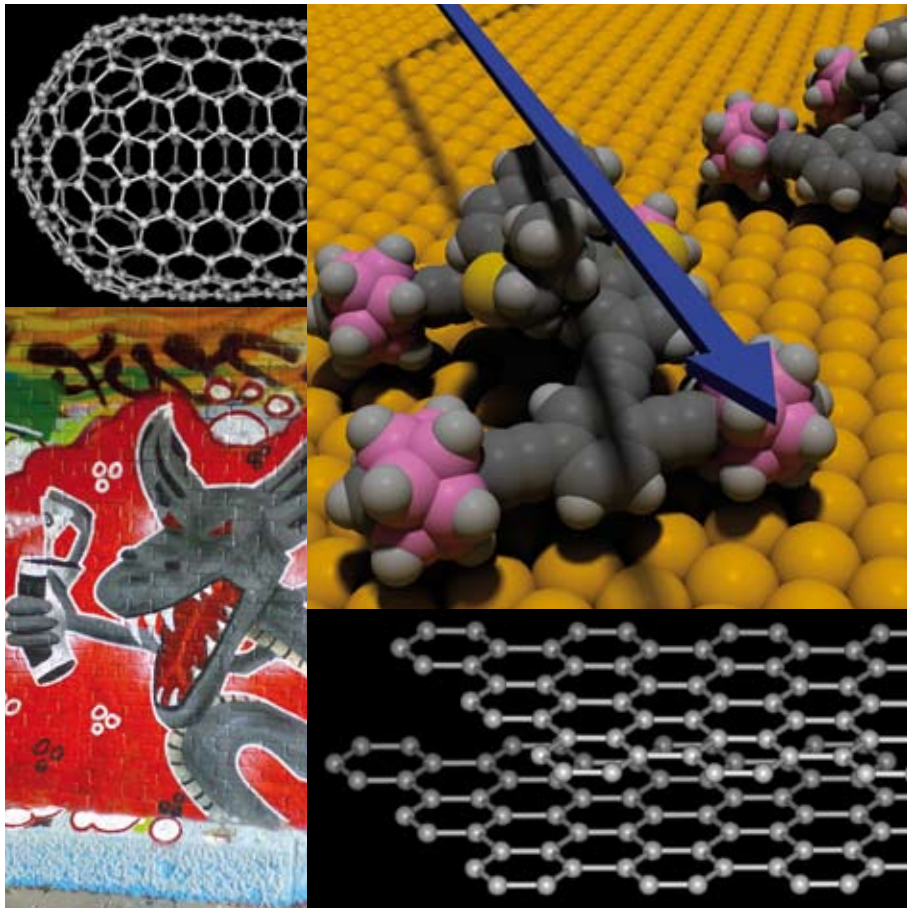
Nanotechnologie hoeft echter niet alleen te leiden tot afgewerkte producten. Nanoprodukten doen vaak ook dienst als 'tussenproducten' of ondersteunen productie- en verwerkingsprocessen. Ze worden bijvoorbeeld al tientallen jaren toegepast in de chemische industrie. De belangrijkste toepassingen liggen in het domein van de nanokatalysatoren, die chemische reacties versnellen. Nanotechnologie maakt het mogelijk om katalysatoren te ontwerpen die precies de gewenste 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 temperaturen²².

Dit alles is slechts een beperkte greep uit het – voor buitenstaanders veelal onbekende – aanbod van hedendaagse nanoprodukten. In principe kunnen we daar ook de huidige generatie processors op de chips van uw PC aan toevoegen, of de magnetische schrijfkoppen die gegevens wegschrijven op de harde schijf, of keramische filters met nanoporiën voor het zuiveren van water en lucht.... Volgens de meeste nanowetenschappers en nanotechnologen staat nano vandaag echter nog in zijn kinderschoenen en moeten we de echte nanorevolutie nog meemaken.

Nanotechnologie is dagelijkse kost voor Umicore, een internationale industriële groep met wortels in België en Zaïre. Het bedrijf produceert een waaier aan nanomaterialen zoals UV-pigmenten voor zonnecrèmes en vernissen, materialen om chips te polijsten, nanodeeltjes die verwerkt in beton of verf uitlaatgassen neutraliseren, componenten voor autokatalysatoren en batterijen enzovoort.



NANO NU



NANO MORGEN

Het studiebureau Lux Research schat dat de globale markt voor nanoproducten in 2014 een flinke 2.600 miljard dollar zal bedragen, tegenover 30 miljard in 2005²³.

Nieuwe materialen

Buckyballen en nanobuizen

Ze zijn een rage geworden onder natuurkundigen en chemici, maar ook sommige elektronici en computerwetenschappers zijn dol op buckyballen en koolstofbuizen. Het zijn vormen van zuiver koolstof die tot voor 1985 totaal onbekend waren. Tot dan toe dacht men dat zuiver koolstof in de natuur hoofdzakelijk onder twee gedaanten voorkwam: als diamant of als grafiet.

In 1985 ontdekten de latere Nobelprijswinnaars Robert Curl, Harold Kroto en Richard Smalley²⁴ holle, voetbal-

vormige koolstofmoleculen die zijn opgebouwd uit zestig koolstofatomen en daarom worden aangeduid met de formule C_{60} . In de natuur komt C_{60} slechts in kleine hoeveelheden voor, maar sinds men actief naar ze op zoek ging, werden ze aangetroffen in gesteenten maar ook in buitenaards materiaal. Er zijn inmiddels ook andere varianten gevonden, bijvoorbeeld het rugbybalvormige C_{70} , of de superballen C_{90} of C_{120} .

Zes jaar later, in 1991, ontdekte de Japanse onderzoeker Sumio Iijima de koolstofnanobuizen. Het zijn holle, cilindervormige moleculen opgebouwd uit koolstofatomen. Ze kunnen bestaan uit één of meer lagen. Soms zijn ze aan het eind afgesloten door een halve buckybal. Iijima vond zijn eerste koolstofnanobuizen in schoorsteenroet, vandaag worden ze op industriële schaal geproduceerd.

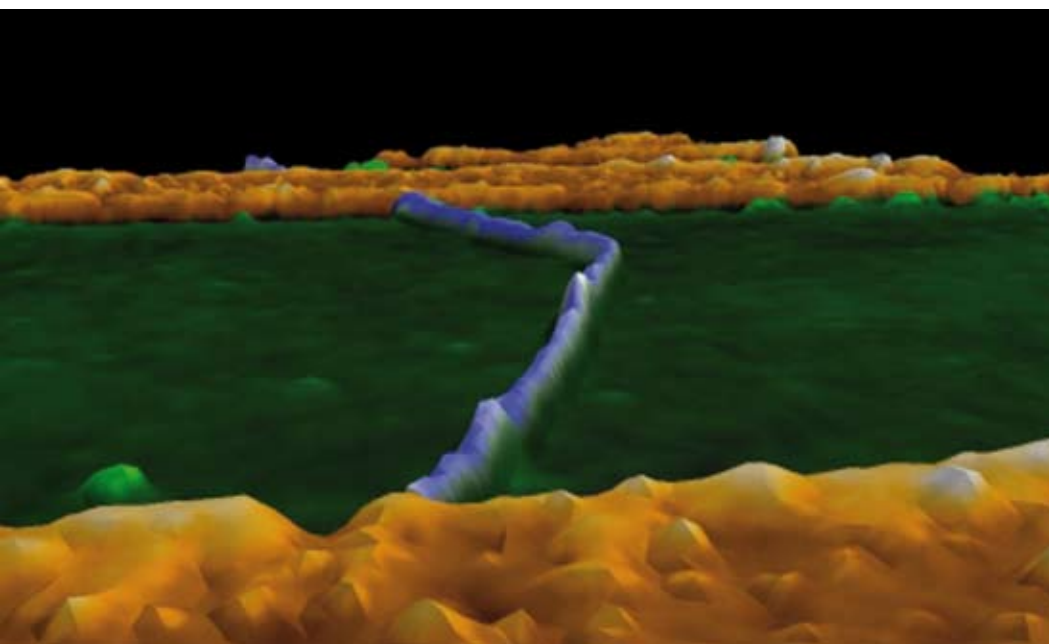
Met een verzamelnaam worden deze koolstofmoleculen aangeduid als fullerenen, naar de Amerikaanse archi-

tect Buckminster Fuller, die beroemd werd om zijn koepelvormige gebouwen. Al snel werden deze koolstofmoleculen populair onder de naam 'buckybal' en 'nanotubes'.

1001 toepassingen

Ruimtelift met nanoraden

Inmiddels is duidelijk geworden dat buckyballen en koolstofnanobuizen heel bijzondere eigenschappen hebben.

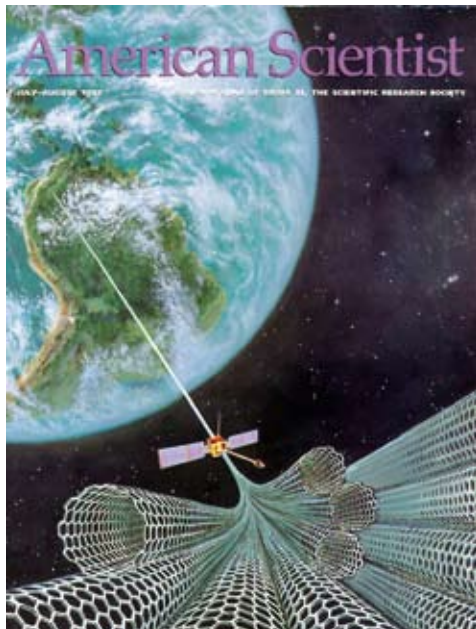


Koolstofnanobuis (blauw) geleidt stroom tussen twee platina-elektroden (geel).



NANO NU

Nanobuizen zijn vederlicht, soepel en buigzaam, waardoor er bijvoorbeeld touwen mee te vlechten vallen. Tegelijk zijn ze ook oersterk. Tot 100 keer sterker dan staal.



Sommige wetenschappers dromen er zelfs van om ruimtetuigen met de aarde te verbinden via draden gevlochten uit nano-buisjes. Anderen, waaronder de NASA, onderzoeken of ze een heuse ruimtelift kunnen bouwen met nanovezels²⁵.

Buckypil

Buckyballen en nanobuizen staan ook in de belangstelling als potentiële geneesmiddelen. De nieuwe koolstofmolecule zou een krachtige antioxidant zijn die vrije radicalen kan wegvangen. Deze radicalen, nevenproducten bij tal van biochemische processen in het lichaam, zijn uiterst schadelijk voor de cellen en zijn betrokken bij menig ziekte- en verouderingsproces. Onderzoek in de reageerbuis heeft uitgewezen dat de nieuwe koolstofmoleculen kunnen optreden als radicaalspons en tot twintig radicalen per individueel koolstofmolecule neutraliseren. Daarmee ligt hun potentieel als antioxidant honderd keer hoger dan bijvoorbeeld dat van vitamine E^{26 27}.

Geleider en halfgeleider

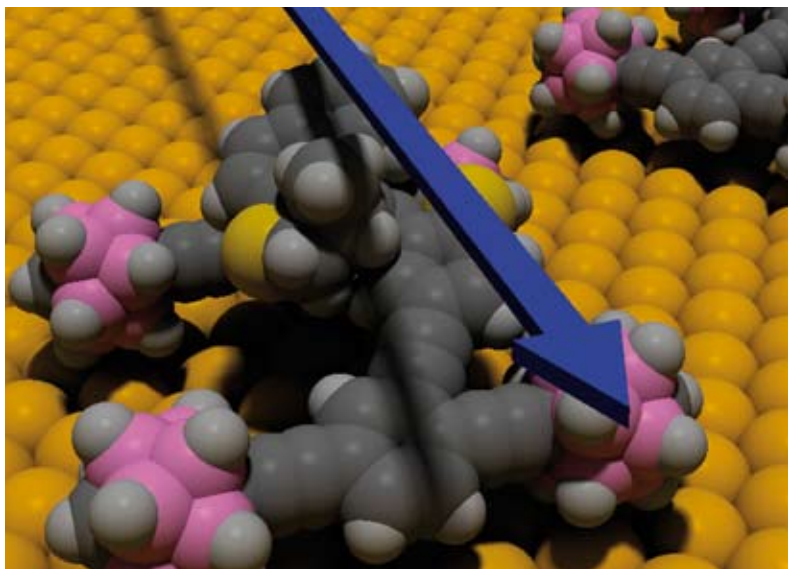
Afhankelijk van hun structuur, geleiden nanobuizen elektrische stroom beter dan koperdraad²⁸ of vormen ze halfgeleiders die superieur zijn aan siliciumschakelingen²⁹. Er wordt de nieuwe koolstofmoleculen dan ook een grote toekomst voorspeld in de ICT- en elektronica-sector, van nanobuiscomputer tot nanoplasmascherm.

Kleinste gocart

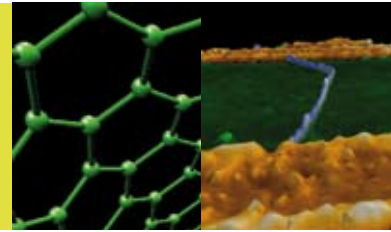
Nanobuizen en buckyballen zijn ook leuk speelgoed. Amerikaanse fysici van de Rice University ontwierpen de kleinste gocart ter wereld. Het speeltje bestaat uit een chassis van koolstofverbindingen en wielen van buckyballen. De nanocar is 3 tot 4 nanometer breed en de eerste versie kon worden voortbewogen met de naald van een STM-microscop. Vorig jaar werd het karretje uitgerust met een moleculaire motor afkomstig van de Universiteit van Groningen (Nederland). De moleculaire motor roteert van zodra hij in aanraking komt met licht³⁰.

Gouden toekomst met keerzijde

Buckyballen en nanobuizen zijn volgens sommige waarnemers de meest opwindende materiaalontdekkingen



NANO MORGEN



van de voorbije decennia. Ze worden een gouden toekomst voorspeld in tal van toepassingen. Al zijn er ook keerzijden. De vraag wordt luidop gesteld of deze nieuwe koolstofmoleculen, die slechts in beperkte mate in de natuur voorkomen, geen schade kunnen toebrengen aan mens en milieu. Sommigen vrezen dat nanobuizen wel eens het 'nieuwe asbest' zouden kunnen zijn. Ook de overheden in de VS, Europa en Japan onderkennen deze gevaren en hebben fondsen uitgetrokken om de potentiële risico's van deze nieuwe koolstofmoleculen te onderzoeken.

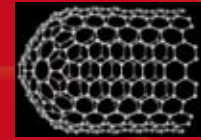


Andere nanomaterialen van de toekomst

Materiaalkunde en nanotechnologie beperken zich echter niet tot buckyballen en koolstofbuizen. Er is nog veel meer. Met nanodeeltjes van allerhande pluimage weten wetenschappers en ingenieurs verbazingwekkende materialen te maken. Onbrandbaar karton, textiel waar water vanaf glijdt, autolak waar geen nagel of mes een kras in krijgt, verf waar graffiti als natte yoghurt vanaf druipt Nanomateriaalkunde gaat over nanokristallen, nanocomposieten, nanocoatings, nanokatalysatoren, microcapsules, nanovezels enzovoort. Het zou ons echter te ver leiden om in deze brochure een volledig overzicht te geven van het domein van de nanomaterialen.



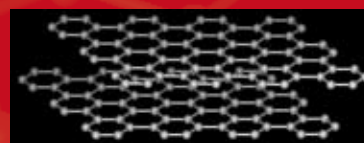
buckybal



nanobuis

Diamant en grafiet, beide opgebouwd uit zuiver koolstof, verschillen nogal van elkaar. Het eerste is harder dan steen en kostbaar, het tweede potloodzacht en goedkoop. Het onderscheid zit in de stapeling van de koolstofatomen: diamant heeft een dichte stapeling in alle drie de dimensies, grafiet bestaat uit losse opeengestapelde vlakken met daarin de koolstofatomen gerangschikt volgens regelmatige zeshoeken. Stukjes kippengaas die opeen zijn gelegd, bij wijze van spreken. In het gaas zijn de atomen sterk met elkaar gebonden, tussen de gaaslagen heersen slechts zwakke bindingskrachten. De verschillende lagen schuiven gemakkelijk over elkaar heen, wat meteen de werking van grafiet in potloden en als smeermiddel verklaart.

Plaats je 60 koolstofatomen in 12 regelmatige vijfhoeken en 20 zeshoeken - vergelijkbaar met een voetbal - dan krijg je een C₆₀-molecule of een buckybal. Een nanobuis kan je dan weer bouwen door het kippengaaspatroon van een grafietlaag op te rollen tot een kokertje. Bovendien kan men de buis aan het uiteinde sluiten door er een halve buckybal tegenaan te plaatsen. De buckybal is genoemd naar de Amerikaanse architect Buckminster Fuller die een netwerk van vijf en zeshoeken gebruikte om koepels te bouwen. Van zijn achternaam is de term 'fullereen' afgeleid die vaak wordt gebruikt als verzamelnaam voor al deze koolstofmoleculen. Vandaag worden nanobuizen niet meer alleen gemaakt van koolstof. Allerhande elementen of verbindingen kunnen dienen als uitgangsmateriaal: koper, aluminium, goud, germanium, magnesiumoxide, siliciumcarbide of cadmiumselenide...



grafiet



diamant



NANO NU

Nano-elektronica

De krimpende transistor

Nano-elektronica is identiek aan micro-elektronica, alleen duizend keer kleiner. In werkelijkheid is de micro-elektronica vanzelf in de nanowereld terecht gekomen. Door de wens van de industrie om steeds meer transistors op een chip te proppen, is die transistor zo klein geworden dat zijn omvang vandaag op nanometerschaal wordt uitgedrukt. Vóór 2004 was de industriële standaard voor de grootte van een transistor nog 130 nm. In 2004 werd dat 90 nm, vandaag is dat 65 nm, in 2010 wordt gestart met de productie van de 45 nm transistor, in 2013 de 32 nm en in 2016 de 22 nm³¹.

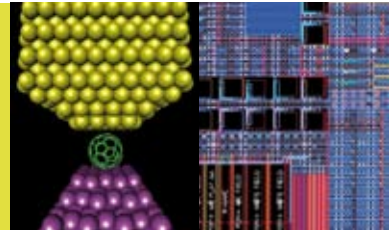
Die evolutie volgt de zogenaamde wet van Moore, genoemd naar Gordon Moore, een van de stichters van chipmaker Intel. Moore voorspelde in 1965 dat het aantal transistors op een computerchip elke twaalf maanden zou verdubbelen. Later stelde hij zijn wet bij tot een verdubbeling om de achttien maanden. In 1965 pasten er zowat 50 transistors op een chip, in 1975 waren dat er al 65.000 en vandaag rollen er chips uit de fabriek met één miljard componenten en meer³².

Al die ontwikkelingen zorgen ervoor dat de vederlichte draagbare computer van vandaag sneller is en meer rekenkracht heeft dan zijn gewichtige tafelbroertje van enkele jaren geleden. Deze trend heeft er eveneens voor gezorgd dat alledaagse elektronische producten als dvd-spelers, digitale camera's, gsm's of gps-toestellen steeds goedkoper worden, minder vermogen behoeven en toch meer functies hebben.

Het einde van de wet

Maar ooit komt er een einde aan het verkleinen van computercomponenten met de huidige technologie. Daar is zelfs Moore van overtuigd. Naast technologische moeilijkheden, worden chipbouwers ook steeds meer gehinderd door fundamentele fysische barrières. Vandaag rekenen onze computers aan de hand van elektronenstromen. Hoe kleiner de transistor echter wordt, hoe meer die elektronen onder invloed van kwantummechanische fenomenen komen te staan. De wetten van de kwantummechanica stellen dat atoomfragmenten (zoals elektronen) niet alleen een materiële component hebben maar zich ook als golven voordoen met een golflengte die afhangt van hun energie. Kenmerkend daarvoor is dat die energie slechts in bepaalde porties (kwanta) kan uitgezonden of geabsorbeerd worden. De wetten die in de subnanowereld gelden zijn met andere woorden van een andere orde als de klassieke fysische regels en wetten. Anderzijds wordt ook voorspeld dat technische problemen de verkleining van de traditionele transistor in de weg staan. Microchips worden gemaakt met behulp van optische lithografie. In essentie worden de patronen die een netwerk van transistors definiëren op een plak silicium aangebracht, door een lichtbundel doorheen een masker te projecteren op het oppervlak. De technologie gebruikt lichtgevoelige deklagen, etsstappen en multi-laagtechnieken. Lithografie met optisch licht van 400 nm is echter niet erg geschikt voor het produceren van chips met nanodetails omdat de golflengte van het gebruikte licht te groot is³³. Voor de jongere generatie chips biedt lithografie met UV-golven van 193 nm nog soelaas, maar

NANO MORGEN



om nóg kleinere transistors te maken moet ook die grens doorbroken worden³⁴.

Tot slot is het economische plaatje de derde bottleneck waarmee de elektronische industrie kampt. De chip van morgen moet niet alleen kleiner zijn en beter kunnen rekenen, hij moet ook nog een flink stuk goedkoper zijn. Door steeds nieuwe technologieën te introduceren in het productieproces - op zich een kostelijke zaak - moeten de bedrijven toch steeds goedkopere chips produceren. Als ze er op zeker ogenblik niet langer in slagen om hun prijsefficiëntie te verbeteren, zal ook de technologische vernieuwing in de halfgeleiderindustrie stilvallen.

Toch stellen de meeste waarnemers dat de wet van Moore nog wel enige tijd overeind blijft. Minimaal tot 2015 menen ze en misschien nog wel een stuk langer. Pas dan zal, om onze PC of digitale toestelletjes van rekenkracht te voorzien, een alternatieve technologie nodig zijn voor diegene die we nu gebruiken, en die meestal met de term CMOS-transistors wordt aangeduid.

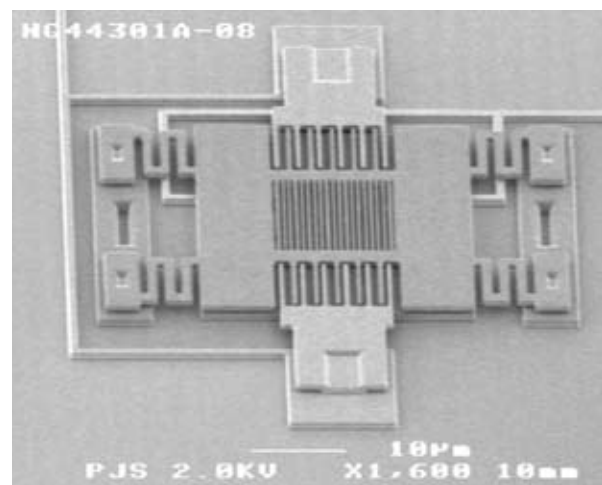
ICT en multimedia 'post-Moore-tem'

Tientallen universitaire onderzoekslabs en onderzoeksinstituten, waaronder het Vlaamse IMEC, maar ook bedrijven als IBM, HP, Intel, Philips, Siemens en andere bezinnen zich over de vraag hoe het met de computerindustrie verder moet na Moore. Het is nu onmogelijk om te voorspellen welke nanocomponenten uiteindelijk in de huiscomputer de huidige CMOS-transistors zullen vervangen. Sommigen zweren bij de nanobuisjescomputer waarbij niet alleen de bekabeling maar ook de componenten van de transistors zijn vervangen door

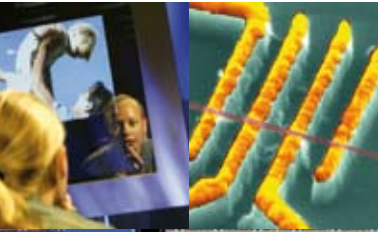
nanobuizen uit koolstof, silicium of een ander materiaal. Anderen zetten zwaar in op de kwantumstipcomputer die rekt op basis van individuele elektronen, nog anderen verwachten veel van spintronica of magnetische computers waarbij de draai beweging of 'spin' van het elektron wordt gebruikt in plaats van de lading. In de nog verdere toekomst ziet men computers werken op basis van fotonen of lichtdeeltjes als alternatief voor elektronen. Welke technologie uiteindelijk de bovenhand haalt, zal de toekomst uitwijzen³⁵.

Micromachines en nanotuigen

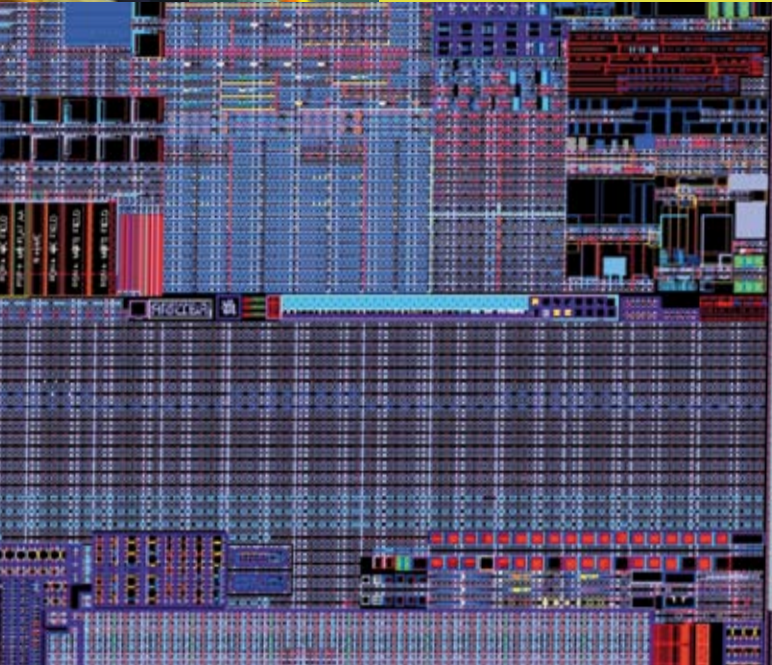
Een andere belangrijke ontwikkeling in de elektronica zijn de micro-elektromechanische systemen (MEMS). Dit zijn miniatuurmachines opgebouwd uit mechanische elementen, sensoren en elektronische componenten. De mechanische bestanddelen in MEMS hebben vandaag dimensies op micrometerschaal. Dat is onzichtbaar voor het menselijk oog, maar toch behoren deze MEMS nog



Bewegingsdetector met dimensies van 50x30 micrometer. Indien de detector snel naar links of rechts wordt bewogen, maken de tanden van de microkammetjes contact met elkaar en wordt een elektrische stroom doorgegeven. Gelijkaardige detectoren worden vandaag gebruikt als airbagsensor.



NANO NU



niet echt tot het domein van de nanotechnologie. Daarvoor zijn ze te groot. Zonder twijfel zullen over tien of twintig jaar de NEMS – nano-elektromechanische systemen – het roer overnemen³⁶.

Van botsende auto's ...

Vandaag vinden we MEMS in heel diverse toepassingen. Eén van de eerste en meest gekende MEMS zijn de sensoren die de airbag van de auto sturen. De mechanische componenten van deze MEMS meten voortdurend de versnelling/afremming van de wagen. Wanneer die boven een bepaalde drempelwaarde komt, stuurt de processor een signaal uit dat de airbag doet afgaan. Bewegingsdetecterende MEMS worden verder verwerkt in dynamische controlesystemen om slippende wagens onder controle te krijgen, in antidiefstalsystemen, in navigatiemodules om de rijrichting te bepalen, enz. Ook in vrachtwagens, treinen, vliegtuigen en schepen worden steeds meer MEMS ingebouwd³⁷.

... tot ICT, multimedia en telecom

Maar ook de printkop van inkjetprinters bevat MEMS, evenals de schrijfkop van toekomstige harde schijven of andere informatiedragers. Zo werken ingenieurs van IBM bijvoorbeeld aan een nanoversie van de oude ponskaart waarin zogenaamde 'cantilever'-MEMS een cruciale rol spelen. Met een uiterst fijne naald, vergelijkbaar met die van een rastertunnelmicroscop, prikken ze nanogaatjes in een kunststofplaat. Een gaatje staat in de binaire computertaal voor een '1', als er geen gaatje werd geprikt, is dat codetaal voor een '0'. De huidige versie van de digitale informatiedrager bevat 4096 van dergelijke priknalden en kreeg de naam 'millipede' of 'duizendpoot' mee. Een door de duizendpoot bewerkte plaatje met de oppervlakte van een postzegel heeft dan al snel de opslagcapaciteit van enkele tientallen DVD's³⁸.

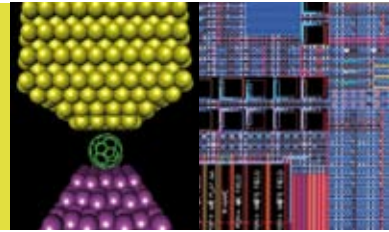
Ook in microprojectietoestellen, draadloze telefoons en diverse 'bluetooth'-applicaties nemen MEMS een steeds vooraanstaandere plaats in. Evenals in microsensoren om toxische stoffen op te sporen in het milieu of om lichaamsparameters te bepalen, zoals lichaamstemperatuur, bloeddruk, concentraties van biochemische stoffen in het lichaam (bvb. insuline, cholesterol, hormonen, lactaat, afbraakproducten), enzovoort. In de hoofdstukken over medische nanotechnologie en nanotechnologie in het milieu zal meer aandacht worden besteed aan deze toepassingen.

Intelligente omgeving

Elektronische apparaten worden voortdurend kleiner, goedkoper en krachtiger. Computers kunnen daardoor in



NANO MORGEN



MEMS-mastodont

In 2007 bracht Agfa Graphics 'M-Press' op de markt. Dat is een digitale drukpers voor hoge volumes op basis van de inkjettechnologie. Ze is de snelste in haar soort. De machine heeft een blok met 64 printkoppen die elk 764 spuitmondjes bevatten met een doorsnede van 18 micrometer. Achter elke spuitmond zit een inktkanaaltje dat wordt bediend door een micromachine. Door elk mondje kan 15.000 keer per seconde een inktdruppel worden afgeschoten. Alles bij elkaar kan deze digitale mastodont met 50.000 MEMS tot één miljard subpixels per seconde afdrukken in de vier basiskleuren. Niet dadelijk een printer voor in je huiskamer, wel het neusje van de zalm voor de professionele drukker.



de toekomst zo klein en handig worden dat mensen ze wellicht 24 uur per dag zullen dragen. Bovendien zullen de meeste producten (van auto's tot T-shirts) intelligentie bevatten, al was het maar onder de vorm van chips voor radiofrequentie-identificatie (RFID). Dat is een soort van 'slimme barcode' bestaande uit een kleine chip die een radiosignaal uitzendt. Vandaag is zo'n elektronisch label nog een vierkante centimeter groot, morgen heeft het wellicht de grootte van een zandkorrel. Over enkele ja-



ren zullen veel producten standaard voorzien worden van RFID-chips. Het hele logistieke proces van een product kan hiermee gevolgd worden. In Duitsland heeft supermarktketen Metro al proefwinkels die volledig op RFID-labels draaien. Een groot voordeel voor de uitbater want in een oogwenk kan hij meten hoeveel producten er nog in de winkel liggen. Ook de klant vaart er wel bij want ellenlange wachtrijen aan de kassa zijn verleden tijd. De RFID-labels worden in een fractie van een seconde vanuit het winkelwagentje ingelezen, de rekening ultrasnel opgemaakt en onmiddellijk doorgegeven aan de instelling die je kredietkaarten beheert. Eenmaal thuis aangekomen is er een ander deel van de RFID-chip dat het programma van je wasmachine stuurt, opdat het T-shirt toch niet per ongeluk op 90° wordt gewassen³⁹.

Altijd en overal aanwezig

Er is echter nog veel meer elektronische slimmigheid op komst. Wellicht zullen computers zo klein en draagbaar worden dat producten en mensen voortdurend door draadloze communicatiesystemen online en wereldwijd zullen verbonden zijn. Dit scenario is niet zo futuristisch als het eruitziet. Het is voor velen de 'normale' verdere evolutie van het internet en allerlei andere communicatiesystemen die vandaag al bestaan.

Plaatsgebonden communicatie zal volledig evolueren naar persoonsgebonden communicatie. Iedereen zal een persoonlijk lichaamsnetwerk met zich meedragen dat bestaat uit bijvoorbeeld een organizer, gsm en computer die draadloos en zonder tussenkomst van de gebruiker met elkaar communiceren. In een nog verder stadium zullen al deze functionaliteiten geïntegreerd worden in één



NANO NU

klein, zuinig en draagbaar toestel. Door een ingebouwde chip in dit apparaat (embedded connectivity) staan we in contact met de wijde wereld, gaande van lokale bedrijfsnetwerken, landelijke mobiele netwerken tot wereldwijde satellietcommunicatie⁴⁰.

Bovenal is het een toekomstvisie die gedeeld en nagestreefd wordt door de elektronica en de computer- en de telecommunicatiesector. Xerox en Nokia spreken in die optiek van ubiquitous computing, IBM noemt de ontwikkeling pervasive computing en Philips en de Europese Unie hebben het over ambient intelligence (de intelligente of slimme omgeving)^{41 42}.

Hulp of privacyaanslag?

De intelligente omgeving zal er echter niet alleen voor zorgen dat we voortdurend toegang krijgen tot alle soorten informatie die we wensen maar zal ook proberen om proactief in te spelen op onze wensen en behoeften. Ze kan op die manier een hulp betekenen in ons dagelijkse leven, anderen vrezen echter dat ze een (te) grote impact zal hebben op de privacy en autonomie van het individu⁴³.



IMEC – Vlaams kroonjuweel in nano en elektronica

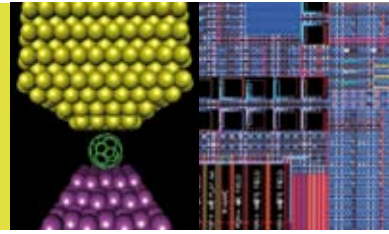
IMEC, met hoofdzetel in Leuven, is het grootste Europese onafhankelijke onderzoekscentrum voor elektronica. IMEC verricht onderzoek dat de industriële behoeften drie tot tien jaar voorafgaat. De focus ligt op micro- en nano-elektronica, nanotechnologie, ontwerpmethoden en -technologieën voor ICT-systemen.

Het centrum heeft een gecentraliseerd onderzoeksplatform opgezet waar wereldleiders in chipproductie samen met de belangrijkste toestel- en materiaalleveranciers aan oplossingen werken voor het sub-45nm-tijdperk. De onderzoekers behandelen onderwerpen als lithografie, substraatmodulen, de poortmodule, interconnecties, reinigingstechnieken en nieuwe transistorarchitecturen.

Binnen 10 tot 15 jaar verwachten de ingenieurs van IMEC dat de traditionele manier van transistorverkleining op een muur van technologische beperkingen zal botsen. Nieuwe materialen op nanometerschaal en nieuwe concepten voor de opslag en verwerking van digitale informatie zullen nodig zijn om de mogelijkheden van chips na het huidige CMOS-tijdperk verder te uit te bouwen. De fundamentele kennis hiervoor wordt bij IMEC nu reeds opgebouwd. Ook op het gebied van nieuwe materialen en intelligente omgeving doet IMEC onderzoek. De gecontroleerde groei en depositie van koolstofnanobuisjes (carbon nanotubes), nanoraden met halfgeleidende eigenschappen (semiconducting nanowires), functionele nanodeeltjes (functional nanoparticles), nieuwe organische en biomedische elektronische componenten, RFID-systemen en draadloze autonome sensorsystemen zijn daarvan maar enkele voorbeelden.

www.imec.be

NANO MORGEN



Microdokter wordt nanodokter

Resultaten van nano-onderzoek zijn vandaag al terug te vinden in de gezondheidszorg. Sommige apothekers verkopen al pleisters met zilveren nanodeeltjes om wonden bacterievrij te houden. Kunstgewrichten worden gecoat met slijtvaste nanolagen. Chirurgische mesjes en heetnaalden zijn versterkt met nanodiamantjes. Contrastmiddelen voor beeldvorming bevatten nanodeeltjes. Metalen stents om dichtgeslibde bloedvaten open te houden, zijn bedekt met een nanolaagje geneesmiddel, enzovoort⁴⁴. Verwacht wordt dat innovatieve nanomedische toepassingen de gezondheidszorg op fundamentele wijze kunnen veranderen. Nieuwe mogelijkheden voor diagnose, behandeling en preventie van ziekte komen ter beschikking. Verder kunnen behandelingsmethoden in toenemende mate precies worden afgestemd op het profiel van de patiënt. Het ultieme doel van medische nanotechnologie is om 'gereedschappen' te ontwikkelen waarmee we specifiek kunnen detecteren wat in een misloopt cel om hem vervolgens, al of niet met nanotechnologische geneesmiddelen, te repareren of te genezen.

Microgeneeskunde vandaag

In de gezondheidszorg heerst al enkele decennia een tendens om de dingen te verkleinen. Vroeger werd de hele buik opengelegd om een ontstoken appendix te verwijderen, vandaag gebeurt dat met een kijkoperatie via een klein gaatje in je buikwand. Ook bij andere medische ingrepen wordt getracht op steeds kleinere schaal te werken, waarbij de arts over steeds kleinere en verfijndere gereedschappen moet beschikken. Hij of zij kan bijvoorbeeld het darmstelsel onderzoeken met een camera ter grootte van een pil⁴⁵ of genen die foutief zijn aangeschakeld in een tumor in één keer afgelezen via een microrooster – een glasplaatje waarop duizenden genfragmenten zijn gespot. Weldra zal hij of zij ook bloedstaaltjes analyseren in een minuscuul laboratorium-op-een-chip⁴⁶.



In tegenstelling tot de micro-elektronica heeft de microgeneeskunde echter nog niet de nanodimensie bereikt. Noch de camerapil, noch het lab-op-een-chip, noch de technologie van de microroosters kunnen we vandaag onder de noemer nanotechnologie rangschikken. Toch vormen ze de voorhoede van een medische technologie die in de nabije toekomst wel in nanodimensies zal rekenen.

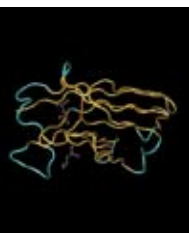
Nanogeneeskunde morgen

Een sensor voor elke kwaal

In de biomedische onderzoekswereld gaat veel aandacht naar biosensoren. Het zijn instrumenten die fysische of



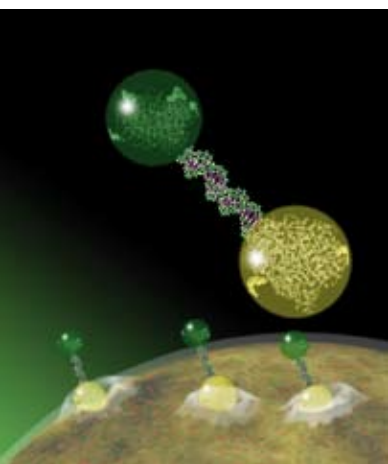
Laboratorium-op-een-chip op een drinkstrootje.



NANO NU

biochemische parameters opmeten. Toepassingen van biosensoren gaan van eenvoudige glucosemeters tot de gesofisticeerde DNA- en proteïnechips. Kenmerkend voor biosensoren is hun vermogen om biochemische metingen zeer snel, op kleine stalen en met hoge gevoeligheid uit te voeren. Tevens zijn biosensoren door hun onderliggende meetprincipes geschikt voor miniaturisatie. Dit is een belangrijk gegeven als men aan geïmplanteerde systemen denkt die in staat moeten zijn vitale parameters niet alleen continu op te meten maar ook bij te regelen.

De volgende generatie biosensoren zal, dankzij het gebruik van nanopartikels, veel gevoeliger en nieuwe moleculaire diagnostieën en -toepassingen mogelijk maken. Het onderzoekscentrum IMEC bijvoorbeeld werkt aan de ontwikkeling van een techniek om doelcellen (zoals bijvoorbeeld kankercellen) een 'etiket' mee te geven van magnetische partikels. Die kunnen dan in een lab-op-een-chip verder geanalyseerd worden. Eveneens in IMEC zoeken ingenieurs en biowetenschappers naar sensorsystemen waarmee ze heel snel de aanwezigheid van bepaalde virussen of bacteriën kunnen detecteren⁴⁷.



Nanocapsules en slimme pillen

Ook aan de kant van de therapie doet nanotechnologie zijn intrede. Medicijnen worden steeds vaker ingebed in holle structuren als liposomen en micellen (vetdeeltjes), dendrimeren of koolstofbuisjes. Deze transportcontainers laten slechts geleidelijk hun geneesmiddel vrij, zodat het

over langere periodes in constante hoeveelheden in het lichaam blijft.

Nanocapsules van de tweede generatie zullen uitgerust worden met moleculaire antennes. Wanneer die in contact komen met bepaalde structuren - de buitenzijde van een kankercel, bacterie of virus bijvoorbeeld - klampen ze zich vast en geven ze lokaal hun inhoud vrij. Hierdoor kunnen geneesmiddelen in een hoge dosis tot bij de ziektehaard worden gebracht, zonder de rest van het lichaam te belasten.

Nanobodies uit de woestijn

Ablynx is een Belgisch biofarmaceutisch bedrijf dat zich toelegt op de verdere ontwikkeling van nanobodies. Dit is een nieuwe klasse van therapeutische eiwitten gebaseerd op antilichaamfragmenten van kameelachtigen. Het technologieplatform van de nanobodies werd ontwikkeld door onderzoeksgroepen van het Vlaams Instituut voor Biotechnologie (VIB) en de VUB.

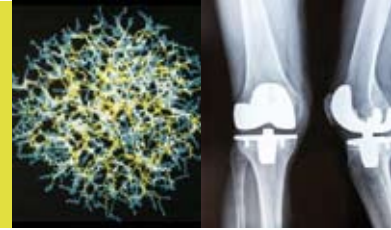
De nanobodies zijn veel kleiner dan de antistoffen van de mens, daardoor combineren ze de voordelige eigenschappen van conventionele antilichamen met de eigenschappen van geneesmiddelen gebaseerd op kleine moleculen. Nanobodies zijn stabiel, kunnen via injectie, oraal of zelfs via een spray



worden toegediend, geraken omwille van hun beperkte omvang op plaatsen waar conventionele antilichamen niet geraken, zijn goedkoper te produceren, enzovoort.

Ablynx heeft nanobodies in ontwikkeling tegen onder meer trombose, kanker, de ziekten van Alzheimer en Crohn, ontsteking ... en een twintigtal andere ziektedoelwitten.

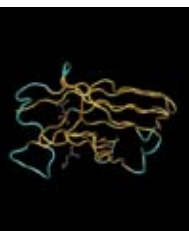
NANO MORGEN



De bovenstaande voorbeelden vormen slechts een beperkte selectie uit het brede domein van de biomedische nanotechnologie. Een overzicht van de enorme diversiteit aan vernieuwingen die nanotechnologie in de komende jaren in de medische sector kan teweegbrengen,

werd opgenomen in een studie van het Nederlandse Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)⁴⁸. Een samenvatting van deze studie is weergegeven in onderstaande tabel.

DOMEIN	TOEPASSING
Chirurgie	Verbetering conventionele chirurgische instrumenten, minimaal invasieve chirurgie, optische nanochirurgie
Nanoplatformen voor kankertherapie	Nanobolletjes, nanoshells en nanodeeltjes voor thermotherapie, fotodynamische therapie, chemotherapie, radiotherapie
Biosensoren	MEMS- en cantileversensoren, nanobuis- en nanodraadsensoren, optische sensoren, nanoarray- en nanodeeltjessensoren
Beeldvorming	Kwantumdot optische imaging, MRI, echografie, radiografie
Implantaten - orthopedisch en tandheelkundig	Gecoate implantaten, tand- en botvervangende materialen, weefselengineering
Implantaten - vasculair	Stentcoatings met of zonder capaciteit om geneesmiddelen vrij te zetten, pacemakers
Implantaten - bionica	Zichtrehabilitatie, hoorapparaten, zenuwaangestuurde systemen voor motorische controle, microchipsystemen voor controle van aflevering geneesmiddelen, prothetische gewrichten
Textiel en verbanden	Antimicrobieel textiel, biomedische slimme kleding, verbanden en pleisters
Chips voor moleculaire diagnose	DNA- en eiwitmicroroosters, lab-op-een-chip, celchips
Aflevering geneesmiddelen	Nanomaterialen voor brachytherapie, nanocapsules, nanodeeltjes om de bloed-hersenbarrière te doorbreken, afleversystemen met buckyballen en nanobuisjes, nanovectoren voor genterapie



NANO NU

Op de grens van mens en machine

Met de verdere ontwikkeling van de nanotechnologie in de elektronische én medische sectoren wordt ook de 'bionische' mens steeds meer een realiteit. Medische nanotechnologen trachten de verbinding te leggen tussen zenuwcellen en elektronica. Indien succesvol, plaveit dit de weg naar volwaardige elektronische zintuigen. Diverse onderzoeksteams werken bijvoorbeeld aan netvliesimplantaten of kunstmatige netvliezen, terwijl implantaten in het binnenoor al lang het experimentele stadium voorbij zijn en routinematig ingeplant worden bij doven en slechthorenden⁴⁹. Succesvolle koppelingen tussen zenuwen en elektronica zetten aan tot speculaties over het rechtstreeks in contact brengen van de hersenen met computersystemen of het internet. Sommigen stellen zich daarbij de vraag of de grens tussen mens en machine nog wel eenduidig zal zijn: waar eindigt de machine en begint de mens en omgekeerd. Het is duidelijk dat de verdere evolutie in de nanotechnologische bio-elektronica (bij uitstek) de filosofische en maatschappelijke discussie over de relatie tussen mens en machine op scherp zet⁵⁰.

Duurzame energie en een beter milieu dankzij nanotechnologie

Energie en milieu zijn belangrijke maatschappelijke thema's geworden. Onder meer door de klimaatverandering hangen milieu en energie ook steeds meer samen. Claimen dat nanowetenschap en nanotechnologie het energievraagstuk zullen oplossen en ons milieu redden, zou een schromelijke overdrijving zijn. Wel kan nano een belangrijke technologische bijdrage leveren.

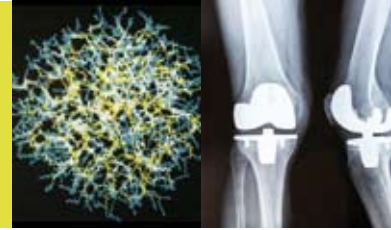
Nano-oplossingen voor megawatt-uitdagingen

Het energievraagstuk zal de komende decennia de politieke en maatschappelijke agenda's domineren. Er zal flink geïnvesteerd moeten worden om onze afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te beperken en de uitstoot van CO₂ fors te verminderen. Van nanotechnologie wordt verwacht dat ze een bijdrage kan leveren tot nieuwe typen zonnecellen die met een voldoende hoog rendement zonlicht zullen omzetten tot elektrische energie en die bovendien goedkoper zijn dan de bestaande fotonvoltaïsche cellen. Veel hoop is gevestigd op zogenaamde flexibele zonnecellen samengesteld uit nanolagen van organische materialen waarin misschien zelfs nanobuisjes zijn verwerkt. Het grote voordeel van dit type zonnecellen is dat ze goedkoper zijn en bij wijze van spreken met de verfborstel op grote oppervlakten (zoals daken) kunnen aangebracht worden.

Nanomaterialen kunnen echter ook van pas komen als efficiënt energieopslagsysteem in nanogestructureerde batterijen, verwerkt in membranen van brandstofcellen of als opslagmedium voor waterstof of bij de elektrolytische omzetting van water in waterstof en zuurstof⁵¹.



NANO MORGEN



Nanotoepassingen voor een proper milieu

Het US National Nanotechnology Initiative noemt milieuverbetering een van de acht kerntaken waar nanotechnologische toepassingen het verschil moeten maken. Milieuspecialisten denken daarbij vooral aan de ontwikkeling van duurzame, op nano gebaseerde productietechnologieën die leiden tot minder vervuiling en die spaarzamer omgaan met grondstoffen. Daarnaast kan nanotechnologie ook worden ingezet voor de detectie en verwijdering van verontreinigende stoffen uit de lucht, het water of de bodem⁵². Enkele praktische voorbeelden:

Elektronisch snuffelen



Vooraleer milieuproblemen kunnen opgelost worden, moet men ze eerst ontdekken en dat kan alleen door te meten. Vandaag bestaan allerhande monitor- en meetsystemen om contaminerende stoffen in de omgeving en in ons voedsel op te sporen. Nanotechnologie biedt echter de mogelijkheid tot nog gevoeliger en snellere detectiesystemen. De nanosensoren van de toekomst zullen in staat zijn om individuele cellen of micro-organismen (bacteriën of virussen) of zelfs individuele atomen te detecteren. Een voorbeeld zijn sensoren met een film van nanokristallijn tindaioxide die uiterst lage concentraties NO₂ of CO in de lucht kunnen meten. Sommige sensoren zijn nu al in staat om vervuilingsniveaus van enkele nanogram per liter op te sporen⁵³.

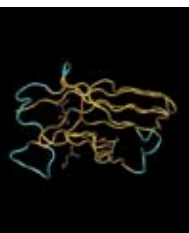
Zuivering van water, lucht en bodem

Filtratie op nanoschaal kan een oplossing bieden om uit drinkwater onzuiverheden als pesticiden, pseudohormonen of geneesmiddelresidu's te verwijderen. Mogelijk wordt nanofiltratie zelfs een bruikbare techniek om zout zeewater om te vormen tot zoet drinkwater. Op dit ogenblik worden nanomembranen met nanobuisjes of aluminium nanovezels of filters met nanoporiën op basis van keramische materialen en silicium ontwikkeld⁵⁴.

Membranen bestaande uit nanocomposieten kunnen niet alleen op een efficiëntere manier roet- en andere vaste deeltjes uit rookgassen zuiveren, ze zijn ook in staat om diverse gassen van elkaar te scheiden. Bijvoorbeeld CO₂ van waterstof of zuurstof, of stikstof van zuurstof, of organische gascomponenten van lucht. Deze membranen staan synoniem voor efficiëntere en schonere verbrandingsprocessen met minder smogvorming tot gevolg.

Onder de naam Picada ontwikkelt en test een consortium van Europese bedrijven en onderzoeksinstituten constructiematerialen die de luchtvervuiling kunnen verminderen. Door gebruik van nanokristallen van titaandioxide (TiO₂) in cement, specie en deklagen kunnen gebouwen zichzelf en de lucht in de omgeving schoner maken. Schadelijke stikstofoxiden uit de lucht hechten aan de nanodeeltjes van het cement of de deklaag. Daar worden ze door het titaandioxide, onder invloed van licht afgebroken in veel minder vervuilende stoffen. Bij een proef in Milaan werd 7.000 m² straat met een titaandioxide bevattend cement bedekt. Op straatniveau bleek dit te leiden tot een afname van de concentratie stikstofoxiden met 60 %^{55 56}.

Ook voor het zuiveren van verontreinigende bodems



NANO NU

worden nano-oplossingen gezocht. Veelbelovend zijn grondbarrières van ijzerdeeltjes die worden aangelegd om het doorlekken van chloorhoudende verbindingen, organische oplosmiddelen of zware metalen tegen te gaan. Wanneer deze pollutanten ter hoogte van de nano-ijzerdeeltjes komen, worden ze chemisch gereduceerd en onschadelijk gemaakt. Door dergelijke barrières aan te leggen, kunnen verontreinigende bodems dieper, efficiënter en goedkoper worden gesaneerd⁵⁷.

Meten, weten en verbeteren dankzij nano

Als onafhankelijke onderzoeksorganisatie verschaft VITO innoverende technologische oplossingen om duurzame ontwikkeling te stimuleren en te ondersteunen. Nanotechnologie vormt daarin een belangrijke schakel. Zo ontwikkelen VITO-onderzoekers nanodunne lagen die een oppervlak (bijvoorbeeld glas) waterafstotend maken, keramische nanocomposieten met verlengde levensduur, biosensoren om vervuiling te meten, membranen met nano-openingen om water perfect te zuiveren, nano-ijzerdeeltjes om verontreinigd grondwater te remediëren. Verder stellen VITO-onderzoekers metingen van (natuurlijke en synthetische) nanodeeltjes in de omgevingslucht op punt en bepalen ze de eventuele toxiciteit van nanodeeltjes voor mens en milieu.

www.vito.be

Met nano ten strijde

Net als met andere wetenschappelijke en technologische vernieuwingen worden ook nanowetenschap en nanotechnologie voor de militaire kar gespannen. Er zijn weinig nano-ontwikkelingsgebieden waarop militaire

onderzoekers geen belangrijk aandeel hebben, of het nu in transport, gezondheidszorg, communicatie of elektronica is. Het doel van de militaire nanotechnologie bestaat erin op het slagveld en daarbuiten een technologische superioriteit te bewaren of te verwerven. Ook onder de dekmantel van de 'nationale veiligheid' wordt stevig geïnvesteerd in nanotechnologie.

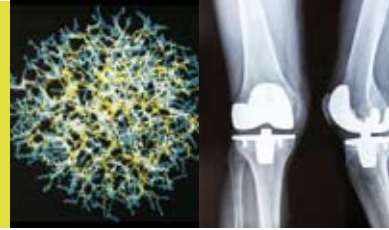
Nanowapens en futuristische soldaten

Tot de ontwikkelingsplannen van de militairen voor de nabije toekomst behoren heel diverse toepassingen. Een kort overzicht^{58,59}:

- De ontwikkeling van een intelligente en veilige gevechtsskleding voor soldaten. Niet alleen kan met nanotechnologie het gewicht van de gevechtssuitrusting worden verminderd, het nieuwe soldaten-tenuue zal ook de gezondheidstoestand van de drager monitoren, blessures voorkomen en verzorgen, de communicatiemogelijkheden verbeteren en de bescherming tegen chemische en biologische wapens verhogen.
- Lichtere, stevige en hittebestendige nanomaterialen kunnen in alle soorten wapens worden benut, de transporten van militaire benodigdheden versnellen, bepantsering versterken en een betere camouflage mogelijk maken.
- Door de miniaturisering van elektronica en sensoren zijn meervoudige militaire toepassingen te bedenken die bewapeningscontrolesystemen verbeteren en geautomatiseerde en autonome gevechtssystemen mogelijk maken.



NANO MORGEN



Tot mogelijke toepassingen van nanotechnologie met een tijdshorizon van veel meer dan tien jaar (en derhalve ook veel speculatiever), kan gedacht worden aan autonome systemen en minirobots met wapenfuncties die een oorlog zonder menselijke soldaten mogelijk maken, die volledig geleid wordt vanuit een regiekamer. Verder wordt ook gedacht aan minisatellieten en -raketten, mini-atoomwapens, nieuwe biologische en chemische wapens met een zeer verbeterde inzetbaarheid en effectiviteit, en biotechnische hybriden van machine en mens.

Slim stof

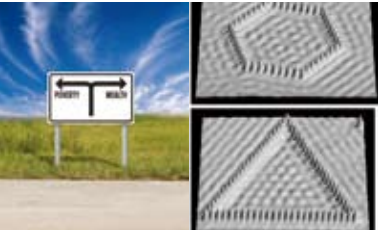
De militaire onderzoekswereld is verder bijzonder geïnteresseerd in de mogelijkheden die de intelligente omgeving met zich meebrengt. Informatie-inzameling wordt steeds meer een prioriteit, niet alleen op het slagveld, meer nog achter de vijandelijke linies, tot zelfs in de hoofdkwartieren van de tegenpartij. Het verzamelen van informatie is bovendien ook een hoeksteen in de zogenaamde oorlog tegen het terrorisme. Voor de generatie van die informatiestroom wordt steeds meer elektronische technologie ingezet. Het neusje van de zalm hierbij is 'smart dust' (slim stof), een bijproduct van het onderzoek naar MEMS en NEMS (micro- en nano-elektromechanische systemen)⁶⁰. Het zijn kleine computersystemen met een beperkte rekenkracht, maar uitgerust met sensoren en communicatiecapaciteit. Ze zijn in staat om zichzelf te organiseren in een draadloos netwerk. Het is de bedoeling om bij de vijand vele duizenden van deze minicomputers te droppen, waarna het netwerk informatie kan verzamelen over troepenbewegingen, opslagplaatsen van conventionele, chemische, biologische of nucleaire wapens, enzovoort. Onderzoekers verwachten dat de

grootte van zo'n 'slim stofdeeltje' in de nabije toekomst kan teruggebracht worden tot minder dan één kubieke millimeter⁶¹.

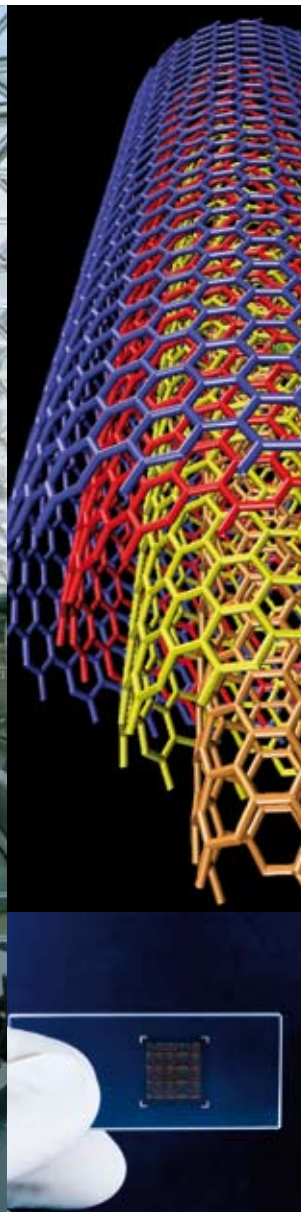
Evenmin valt uit te sluiten dat smart dust evolueert van een passief naar een actief wapensysteem en dat het bijvoorbeeld interfereert met de informatiesystemen van de vijand. Of dat het zelf beperkte hoeveelheden chemische of biologische oorlogswapens vrijzet, zodra een vijand in de buurt komt.

Achter de schermen

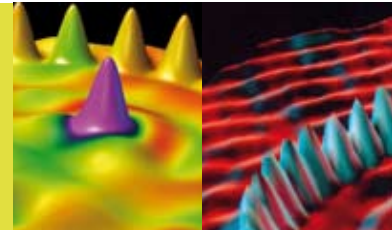
In 2004 besteedde het Amerikaanse Ministerie van defensie 300 miljoen dollar aan nano-onderzoek dat het in eigen laboratoria uitvoerde. Het Britse leger hield het bij een bescheidener 1,5 miljoen pond⁶². Daarnaast vallen de militairen ook steeds vaker terug op partnerschappen met academische onderzoeksgroepen, onderzoeksinstituten en civiele bedrijven. In de burgerlijke onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's van deze instellingen wordt dan een militaire component ingebouwd. Vaak resulteert dit in producten voor dubbel gebruik: van waterresistente dekzeilen (voor op de camping maar ook om latrines te bouwen), over nieuwe composietmaterialen voor de auto-industrie die tegelijk dienst kunnen doen als vederlichte maar oersterke bepantsering van militaire voertuigen, tot sensoren om voedselbederf te detecteren die omgebouwd worden tot detectiesystemen voor biologische wapens. De derde, en wellicht belangrijkste, militaire investeerder in nanotechnologie is echter de wapenindustrie die de krachtigste en meest gediversifieerde onderzoeksmotor vormt van het brede militair-industriële complex.



NANO NU



NANO IN DE MAATSCHAPPIJ



Van nanowetenschap en nanotechnologie wordt verwacht dat ze onze wereld beter zullen maken. Als we sommige nanoprofeten mogen geloven, zal nanotechnologie ervoor zorgen dat elke aardbewoner morgen over voldoende voedsel beschikt, kanker uit de wereld is gebannen, pollutievrije energie bijna gratis van de zon wordt afgetapt en de hedendaagse PC in een sleutelhanger past. Bij nader inzien blijkt echter dat de praktische realisatie van deze beloften veel langer op zich zal laten wachten dan oorspronkelijk voorspeld. Bovendien leert de ervaring dat achter de beloften van elke nieuwe technologie ook onvermoede negatieve aspecten schuilgaan: milieuschade, gezondheidsproblemen, inbreuk op de privacy, versterking van sociale ongelijkheid (de 'haves' en de 'have-nots'), verschuivende machtsverhoudingen, Met nanotechnologie zal het niet anders zijn. Nano heeft met andere woorden naast een zonnige zijde wel degelijk een schaduwrijke keerzijde.

Nano, gezond voor mens en milieu?

Op 27 maart 2006 werd in Duitsland 'Magic Nano' gelanceerd, een magisch schoonmaakproduct voor badkamers en toiletten. Een spuitbus Magic Nano bevat nanodeeltjes van siliciumoxide die de poriën van wastafels, toilet-potten of douches opvullen zodat er zich geen vuilresten in ophopen. Drie dagen later haalt de producent het product uit de winkelrekken nadat bijna tachtig gebruikers met ernstige ademhalingsmoeilijkheden af te rekenen kregen. Zes mensen moesten naar het ziekenhuis. Nanosceptici wereldwijd maakten van het incident gebruikt

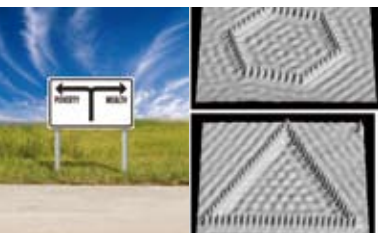
om de gevaren van deze - wat zij noemen - 'sinistere technologie' aan de kaak te stellen. Zij zien het Magic Nano-incident als het eerste van een reeks onvermijdelijke nano-ongelukken ...

Uiteindelijk liep het incident met een sisser af: niet de nanodeeltjes van siliciumoxide veroorzaakten de longproblemen, de boosdoener bleek de anticorrosievloeistof te zijn waarmee de binnenzijde van de spuitbus was behandeld. Toch deed Magic Nano wenkbrauwen fronsen, ook bij nanovoorstanders. Ook zij erkennen dat deeltjes met nano-afmetingen problemen kunnen veroorzaken voor mens en natuur.

Dode ratten

Al in 1995 sloegen enkele wetenschappers alarm, omdat ze bij toeval hadden vastgesteld dat ratten quasi onmiddellijk overleden als ze een relatief kleine dosis ultrafijne Teflondeeltjes inadenden. Alleen als de deeltjes nanodimensies hadden, bleken ze ernstige gezondheidsschade te veroorzaken, Teflon op microschaal bracht geen schade toe⁶³. Gelijkaardige experimenten werden nadien uitgevoerd met andere nanodeeltjes, onder meer koolstofnanobuizen en buckyballen.

De bezorgdheid over de gezondheids- en milieu-impact van nanodeeltjes wordt vandaag breed gedragen. Een van de meest kritische geluiden komt van de ETC Group (Action Group on Erosion, Technology and Concentration). De actiegroep bracht in 2003 een rapport uit over nanotechnologie waarin boudweg gepleit werd voor een moratorium op de verdere verkoop en ontwikkeling van nanoprodukten, zolang de risico's niet voldoende in kaart



NANO NU

gebracht zijn⁶⁴.

Veel minder verregaand, maar zich toch zorgen makend over de mogelijke negatieve gevolgen van nanoprodukten waren de verzekeringsmaatschappij Swiss Re⁶⁵ en de gezaghebbende Britse Royal Society en de Royal Society of Engineering⁶⁶. Beide rapporten komen tot de slotsom dat meer en diepgaander wetenschappelijk onderzoek nodig is naar de mogelijk negatieve gevolgen van nanodeeltjes op de gezondheid van mens en milieu.

Specifieke nanoproblemen

Belangrijke vraag is in hoever sommige toepassingen van nanotechnologie nieuwe risico's met zich meebrengen die verschillen van de risico's die we kennen van conventionele producten. Nanodeeltjes kunnen bijvoorbeeld na inademing via de longen in de bloedstroom terechtkomen. Andere ingeademde partikels (roet, stof, pollen, smog ...) kunnen dit doorgaans niet omdat ze daarvoor te groot zijn. In tegenstelling tot vele microdeeltjes raken sommige nanodeeltjes ook tot in de cel, waar ze allerlei biochemische reactieketens kunnen verstoren. Verder moet ook een onderscheid worden gemaakt tussen 'passieve' en 'actieve' nanodeeltjes. Sommige partikels zijn inert en reageren nauwelijks met biologische moleculaire structuren of andere moleculen, andere zijn dan weer ultra-actief of wijzigen hun activiteit naargelang de omstandigheden. De mogelijk schadelijke invloeden van nanomaterialen op mens (toxicologie) en milieu (ecotoxicologie) hangen dus af van zowel de fysische (grootte, mechanische, optische, magnetische en elektronische) als chemische eigenschappen (samenstelling,

aanwezigheid van actieve groepen ...) van de deeltjes. Daarom is het ook onmogelijk om alle nanopartikels over dezelfde kam te scheren^{67 68}.

Wetenschap komt ter hulp

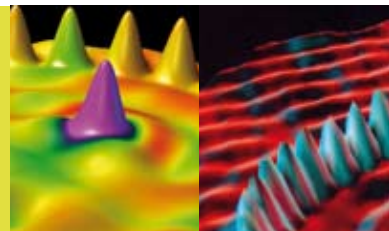
Het is echter niet de eerste keer dat we bij de introductie van nieuwe materialen of technologieën geconfronteerd worden met onbekende risico's en mogelijke gevaren.

Wat we alleszins uit het verleden

kunnen opsteken, is dat investeren in objectief wetenschappelijk onderzoek om de aard van deze risico's correct in te schatten, een eerste belangrijke stap is in de vrijwaring van de publieke veiligheid en het behoud van een gezond leefmilieu. Elke dag worden immers schadelijke chemische stoffen en materialen op een veilige manier geproduceerd en gebruikt, omdat we in het verleden hebben geïnvesteerd in kennisopbouw rond de mogelijke risico's en we maatregelen hebben genomen om de risico's te beperken. De meeste experts zijn dan ook van oordeel dat we de veiligheid van nanotechnolo-



NANO IN DE MAATSCHAPPIJ



gie en nanoprodukten kunnen managen, op voorwaarde dat we de risico's ervan goed in beeld brengen. Ook de Europese Commissie is die mening toegedaan⁶⁹. Ze beseft daarom dat het hoog tijd is om in actie te komen. Er zijn immers al honderden nanoprodukten op de markt. Ze zijn verwerkt in heel diverse toepassingen, van tennisballen over autobumpers tot cosmetica. Mogelijk is niet in al die toepassingen voldoende aandacht besteed aan de veiligheids- en gezondheidsaspecten. Het zou jammer zijn indien nano ooit zou uitgroeien tot het asbest van de 21ste eeuw.

Regulatie en controle

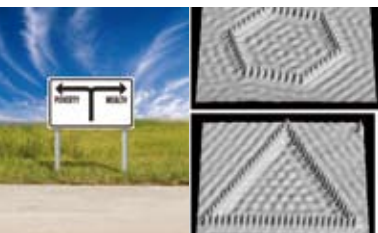
Om mogelijke problemen rond nanotechnologie te voorkomen, stelt zich echter niet alleen de vraag naar meer kennis maar is ook het toepassen van die kennis in regulatie belangrijk. Volgens sommige waarnemers zijn de bestaande mechanismen voor regelgeving en controle misschien onvoldoende aangepast aan de problemen die nanotechnologie met zich mee kan brengen. Volgens hen is het daarom niet uitgesloten dat nanotechnologie zich verder ontwikkelt buiten een aangepast regelgevend kader, omdat de overheid een te afwachtende houding aanneemt. Op die manier zouden ernstige

ongelukken kunnen plaatsvinden. Aan de andere kant kan een overregulerende overheid verstikkend werken op de innovatieve kracht die uitgaat van een zich ontwikkelende technologie.

Kleine deeltjes met 'big brother'-allure

Een ander belangrijk thema in de maatschappelijke discussie over nanotechnologie is de vrijwaring van de privacy en het autonoom beslissingsrecht. Door nanotechnologie wordt de pc immers alsmaar kleiner. Straks zal hij niet alleen geïntegreerd zijn in gsm of pda, maar ook kleding, muren en ramen van gebouwen, de spiegel in de badkamer of de klokradio zal beschikken over rekenkracht. De nano-informatietechnologie zal dan overal aanwezig zijn. Het doel van die intelligente omgeving is in de eerste plaats ons bij te staan in het dagelijkse leven: om bijvoorbeeld snel een toegangsticket te kopen voor een concert of een sportmanifestatie, om van op het werk na te gaan welke snelle hap er thuis nog in de diepvries ligt of om wereldwijd en op ieder ogenblik te communiceren met wie je wil.

Deze hypergeïnformateerde omgeving biedt echter ook uitgebreide mogelijkheden tot het detecteren, lokaliseren en volgen van individuen en dat zal een duidelijke impact hebben op de privacy en autonomie. De intelligente omgeving zal immers alomtegenwoordig en onzichtbaar zijn, zal veel zien en niets vergeten. Het is de vraag hoelang het duurt voor zo'n omgeving big brother-allures krijgt⁷⁰.



NANO NU

Zien en snuffelen

De slimme omgeving zal overigens niet alleen zien (via video-informatie), ze zal ook snuffelen en ruiken. Nu al worden er in luchthavens elektronische sensoren ingezet die via chemische herkenning drugs en explosieven detecteren. Bij een verdere optimalisatie van de lab-op-een-chip-technologie zullen op nanostructuren gebaseerde sensoren van alles en nog wat kunnen meten en ruiken. Bijvoorbeeld of iemand recent alcohol heeft gedronken of een sigaret heeft gerookt. Een werkgever zou dergelijke sensoren op de werkvloer kunnen installeren om na te gaan of zijn werknemers niet geïntoxiceerd aan het werk zijn. Enerzijds is dat een goede zaak voor de veiligheid van de werknemer en zijn omgeving, maar wat als zo'n sensor ook meet of je de vorige avond een glas wijn of een biertje teveel op had, of je een week geleden een jointje hebt gerookt... In hoeverre ontstaat dan een ongewenste vermenging tussen privé en werksfeer?

Ook als we ooit in een gezondheidssysteem terecht komen waarbij sensoren permanent worden gebruikt - al of niet ingeplant - om onze vitale gezondheidsparameters in de gaten te houden, zullen er problemen rond privacy ontstaan. Zeker als die gegevens ook rechtstreeks naar de behandelende arts of het gezondheidscentrum worden gestuurd. Wie krijgt dan toegang tot die gegevens en in welke mate beïnvloedt het continu gescreend worden het individuele beslissingsrecht van de patiënt.

Aanslag op de privacy

In diverse publieksbevragingen rond nanotechnologie⁷¹ ⁷² komt alleszins het privacyprobleem boven drijven. Ook

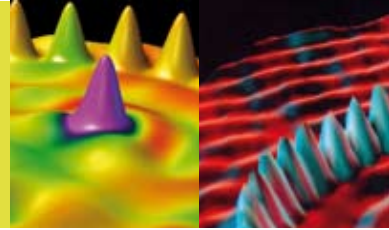
uit tussentijdse resultaten van het Vlaamse Nanosoc-project⁷³ wordt zowel in het luik rond 'de slimme omgeving' als 'bio-on-chip' de mogelijke aantasting van de privacy door de deelnemers ervaren als een prioritair maatschappelijk discussiethema⁷⁴.

Volgens Christine Peterson van het Amerikaanse Foresight Nanotech Institute moeten we er als samenleving over nadenken hoe we met het verzamelen van persoonlijke gegevens omgaan en hoe we misbruik kunnen vermijden. Allerhande vragen zijn nu aan de orde van de dag, zoals wie informatie collecteert, hoe en waar ze wordt opgeslagen, of die informatie bewijskracht heeft voor een rechtbank en of verzekeringsmaatschappijen of de werkgever er toegang toe krijgen? Verder moeten

NanoSoc – dialoog over nano in Vlaanderen

Ondanks de onmiskenbare voordelen die nanotechnologie te bieden heeft, rijzen ook vragen over de mogelijke ethische, juridische en maatschappelijke implicaties van deze nieuwe technologie. Zo is onduidelijk hoe de opkomst van alomtegenwoordige technologie zich verhoudt tot onze privacy bijvoorbeeld. Wie heeft in een 'slimme omgeving' toegang tot welke persoonsgegevens? Of wat te denken van biosensoren die in het lichaam ingebracht kunnen worden om vroegtijdig ziekten op het spoor te komen en ze preventief te behandelen? Wat als iemand liever niet geïnformeerd wordt over de gezondheidsrisico's die hij loopt? Welke potentiële gevaren voor mens en milieu zijn verbonden met de ontwikkeling van volstrekt nieuwe, voorheen ongekende materialen? Welk onderzoek naar nanotechnologie verdient eigenlijk aanbeveling en welke toepassingen zouden wel en niet moeten voorzien worden?

NANO IN DE MAATSCHAPPIJ



we er rekening mee houden dat, zowel in het geval van video- als van chemische informatie, de gegevenscollectie en -opslag vandaag nog relatief duur is. Daarom is ze nu vooral in handen van de overheid en van grote kapitaalkrachtige organisaties. De kostprijs neemt echter gevoelig af, waardoor 'gegevensverzameling' ook in het bereik komt van individuen. Een fenomeen dat zich de laatste jaren al duidelijk laat zien met video-informatie, denk maar aan populaire websites als 'YouTube' en 'MySpace'. Bij het uitwerken van een privacybeleid moet daarom zowel met wetenschappelijk-technologische als met maatschappelijke tendensen rekening worden gehouden⁷⁵.

Van zenuwchip tot cyborg

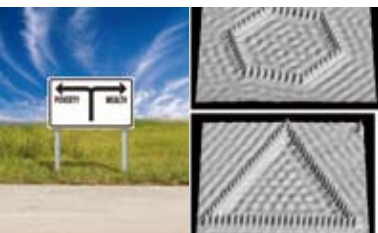
In 1998 liet de Britse professor Kevin Warwick een chip implanten in zijn rechteronderarm⁷⁶. De chip zendt een signaal uit naar de centrale computer van de universiteit. Telkens de professor zijn werkruimte binnenkomt, gaat de deur automatisch open, worden de lichten ontstoken en schalt een "Hello Kevin" door de luidsprekers van de pc van professor. In 2002 kreeg Warwick zijn tweede chip ingeplant. Deze keer werd de chip via een honderdtal elektroden verbonden met een zenuwbaan in zijn arm. Het zenuwstelsel van de professor staat sindsdien in directe verbinding met zijn computer. Via de chip kan Warwick een elektrisch aangedreven rolstoel besturen of

*Het project 'Nanotechnologieën voor de maatschappij van morgen' (NanoSoc) is een onderzoeksproject dat nanotechnologen, sociale wetenschappers, vertegenwoordigers uit de industrie en het middenveld en geïnteresseerde burgers samenbrengt om te reflecteren over wenselijke en onwenselijke implicaties van nanotechnologieën voor onze maatschappij. Met de projectdeelnemers worden toekomstige nanotechnologietrajecten verkend, afgewogen en verder aangevuld door de uitwisseling van diverse perspectieven, verwachtingen en ervaringen. Dit gebeurt voor drie specifieke domeinen van nanowetenschap en technologie-ontwikkeling in Vlaanderen: **slimme omgeving, biosensoren en nieuwe materialen**. Het NanoSoc-consortium biedt de mogelijkheid om door wederzijds overleg antwoorden te formuleren en samen nieuwe perspectieven te ontwikkelen op mogelijke 'nano'-toekomstscenario's voor Vlaanderen. Hoofddoel is het aanduiden van zowel nieuwe kansen als uitdagingen die innovatieprocessen met nieuwe technologieën met zich meebrengen.*

Daarnaast wordt nagegaan hoe de specifieke institutionele context, van waaruit nanowetenschappers en -onderzoekers in Vlaanderen opereren, aan verandering onderhevig is, door hun deelname aan de herhaaldelijke groepsinteracties. Vraag is in hoeverre de uitwisseling van visies en perspectieven tussen deelnemers kan bijdragen tot kritische reflectie over bestaande onderzoekspraktijken.

*Het project wordt gecoördineerd vanuit de **Universiteit Antwerpen (STEM, EMAT)**, in nauwe samenwerking met de **KULeuven** en het onafhankelijke onderzoekscentrum voor micro-elektronica en nanotechnologieën, **IMEC**. Het project wordt financieel ondersteund door het **IWT**.*

De evolutie van het project kan worden gevolgd op www.nanosoc.be



NANO NU

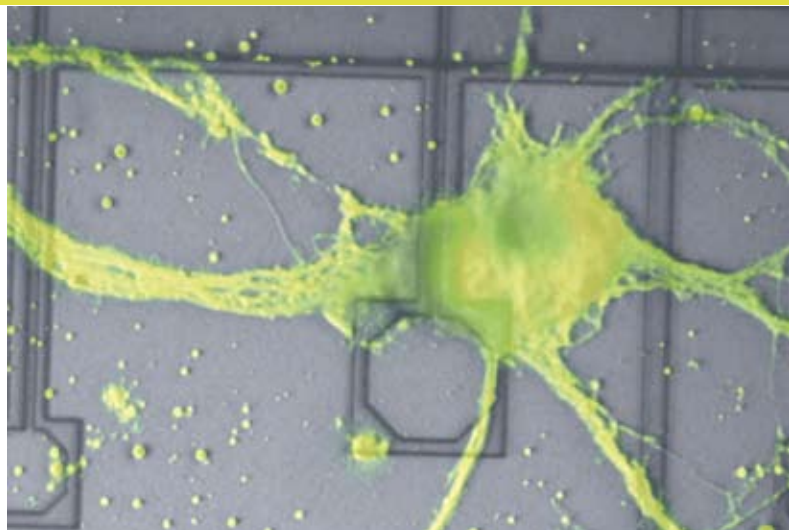
een artificiële hand doen bewegen. In de toekomst, aldus Warwick, zal signalenuitwisseling tussen menselijke en machinale breinen doodnormaal worden. Daarmee krijgt het menselijk brein toegang tot de geheugen- en reken capaciteit van de computer. Via die interface en internet zullen hersenen van mensen over heel de wereld rechtstreeks met elkaar communiceren. Uiteindelijk zal de 'niet-geconnecteerde' mens een lagere levensvorm worden, niet langer in staat om in competitie te treden met de cyborg, de ultieme combinatie tussen mens en machine, nog steeds volgens Warwick⁷⁷.

Is Warwick een knettergekke excentriekeling of neemt hij een optie op een toekomst waarin onze kinderen en kleinkinderen het normaal vinden dat ze elektronische gadgets in hun lichaam dragen en een directe connectie maken tussen brein en computer?

Een elektrode in je hoofd

De interactie tussen chip en zenuwcel staat hoog op het prioriteitenlijstje van sommige nano-onderzoekers. Via contactpunten ter grootte van enkele nanometer proberen ze optimale verbindingen te leggen zodat wederzijdse elektrische communicatie mogelijk wordt. Het doel van het onderzoek is de ontwikkeling van elektronische zintuigen en de vereniging van zenuwcellen en microchips. Of nog, de logische verwerkingseenheid uit onze hersenen combineren met die van de computer.

Op het eerste gezicht lijkt het allemaal verre sciencefiction maar aan de andere kant heeft de medische praktijk niet eens gewacht op een volledige optimalisatie van die verbinding tussen chip en zenuwcel. Nu reeds wordt bij



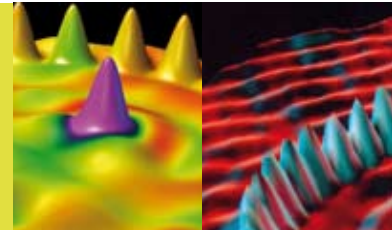
Menselijk neuron op een computerchip.

een aantal patiënten met de ziekte van Parkinson een elektrode in hun hersenen aangebracht die verbonden is met een onderhuids geïmplanteerde elektronische stimulator (vergelijkbaar met een pacemaker voor het hart). De elektrische impulsen naar de hersencellen verminderen de verschijnselen van stramheid en bewegingsproblemen die typisch zijn voor parkinson. Andere voorbeelden van verfijnde communicatie tussen brein en elektronica zijn de hedendaagse cochleaire implantaten (interne hoorapparaten die rechtstreeks verbonden zijn met de gehoorzenuw) of elektrode-implantaten, waardoor verlamde mensen via een computerscherm kunnen communiceren met hun omgeving^{78 79}.

Homo cyborgiensis of Cyborg sapiens?

De snelle ontwikkeling in dit domein voedt spectaculaire speculaties. Bijvoorbeeld over elektronische chips die de geheugencapaciteit van de hersenen ondersteunen, of elektromechanische ledematen of zintuigen die vele malen beter presteren dan degene waarmee we geboren zijn. De bio-elektronica zet zonder twijfel de filo-

NANO IN DE MAATSCHAPPIJ



sofische en maatschappelijke discussie over de relatie tussen mens en machine op scherp. Zij roept zijnsvragen op als wat het is om een mens te zijn, maar ook machtsvragen als waar, hoe en door wie wordt bepaald hoe de toekomstige mens eruit zal zien⁸⁰. Tevens kan men zich de vraag stellen wie wie controleert: zal het menselijk brein de controle behouden over de elektronica (al of niet ingeplant), of nemen de chips de controle over van het menselijk brein⁸¹?

De diepe kloof

Nanotechnologie heeft de potentie om de derde wereld flink vooruit te helpen, daar twijfelt niemand aan. Nanotechnologie kan zorgen voor goedkope energie uit efficiënte zonnecellen en via nanotechnologie kunnen duurzame, compacte en goedkope filtersystemen worden ontwikkeld om drinkbaar water te maken. Hiv/aids en malaria kunnen dankzij de toekomstige nanotechnologie sneller worden opgespoord en veel beter behandeld en het tekort aan onderwijzend personeel kan worden opgevangen door onderwijs op afstand, via goedkope breedband- en informatietechnologie... En toch lijkt de kans dat nanotechnologie, of eender welke andere technologie, de derde wereld definitief uit het slop helpt, eerder klein.

In het verleden hebben andere nieuwe technologieën immers gelijkaardige beloften gedaan, meestal zonder succes. Neem bijvoorbeeld genetisch gewijzigde gewassen (GGG). Voorstanders haalden vaak het argument aan dat deze gewassen een oplossing gingen brengen voor het hongerprobleem in de wereld. Of ICT, dat de communicatiekloof tussen Oost en West en Noord en Zuid ging

dichten. Voorlopig is van al die beloften weinig in huis gekomen. Vandaag plukt lang niet iedereen de vruchten van de biotechnologie of de computertechnologie.

Verstoorde evenwichten

Met nanowetenschap en nanotechnologie zal het niet anders zijn. Sommigen zullen er ontzettend rijk door worden, anderen zullen er nauwelijks toegang toe krijgen. Daarom bestaat het risico dat een succesvolle ontwikkeling van nanotechnologie de kloof tussen rijk en arm, tussen 'haves' en 'haves not' eerder nog zal doen toenemen⁸². Evenmin valt uit te sluiten dat nanotechnologie de huidige wereldorde ondersteboven gooit en landen die vandaag op wereldvlak weinig betekenen, morgen (economische) supermachten worden. Elke nieuwe technologie brengt immers geopolitieke verschuivingen teweeg. Denk aan de explosie van de vraag naar aardolie, goed honderd jaar geleden. Landen die tot dan toe niet veel meer waren dan een reusachtige zandbak, werden op enkele decennia tijd schatrijk. Ook het omgekeerde gebeurde: de introductie van kunststoffen bracht klappen toe aan regio's waar traditionele industrieën gebaseerd op steenkool en staal tot bloei waren gekomen. Kan nanotechnologie ook dergelijke verschuivingen veroorzaken? Allicht wel, zegt onder meer de ECT Groep. De katoen- en rubberproductie kunnen bijvoorbeeld de eerste slachtoffers worden van de nieuwe nanomaterialen⁸³. Ook de platinaproductie wordt bedreigd. Dit zeldzame en dure edelmetaal is voor 70% afkomstig uit Zuid-Afrikaanse mijnen. De vraag naar platina nam de laatste decennia enorm toe omwille van het gebruik ervan in autokatalysatoren. Maar nanotechnologie kan ervoor zorgen dat



NANO NU

platina wordt vervangen door veel goedkopere grondstoffen. Sommigen economische waarnemers voorspellen dan ook het in elkaar storten van de Zuid-Afrikaanse platina-industrie⁸⁴. Het zijn slechts twee voorbeelden van hoe nanotechnologie onvermoede sociaal-economische verschuivingen kan teweeg brengen.

Koude nano-oorlog

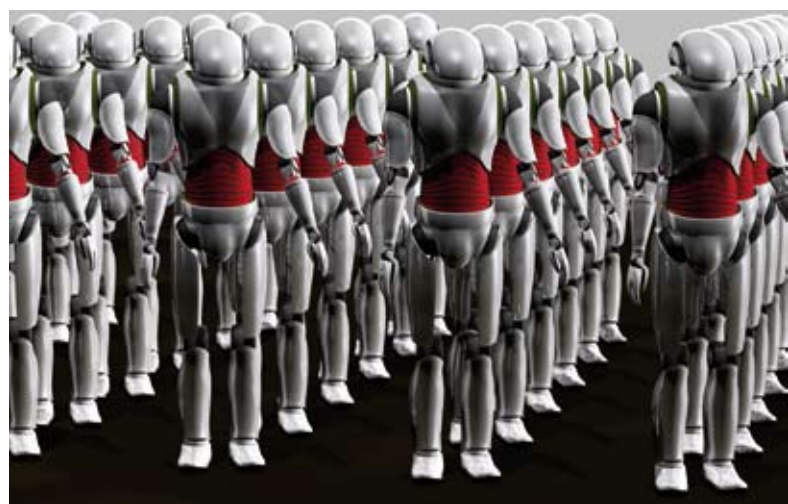
Nanotechnologie kent eveneens een breed scala van toepassingen op defensiegebied. Een aanpassing van de kleding van de militairen ('slim textiel') kan een betere bescherming bieden tegen hitte en koude, vesten met nanodeeltjes kunnen beschermen tegen kogelinslagen, nanosensoren op het lichaam houden hartslag en bloeddruk in de gaten. Maar nanotechnologie in de defensiesector zal niet alleen voor 'verdedigende' of beschermende doeleinden worden ingezet. Bij het superpenetrerend maken van kogels en bommen zal nanotechnologie een beslissende rol spelen. Evenzeer bij de ontwikkeling van militaire robots, de productie van microsensoren die gegevens verzamelen achter vijandelijke linies ('smart dust') of de ontplooiing van chemische of biologische wapens⁸⁵. De bewuste inzet van nanotechnologie voor het militaire bedrijf van de eenentwintigste eeuw roept allerlei maatschappelijke vragen op. Niet in het minst omdat sommige landen het pad van de nanotechnologie kiezen om militaire suprematie te verwerven of te behouden, met een nieuwe wapenwedloop als gevolg.

De nanobots zijn geland!

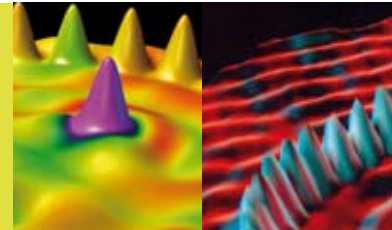
Als er in het verleden al enige controverse rond nanotechnologie heerste, dan was die vooral gericht op het fenomeen van de zelfassemblage. In zijn boek 'Engines of creation: the coming era of nanotechnology' introduceert de Amerikaan Eric Drexler de 'assembler'. Een ultrakleine robot, een nanobot, die atomen razendsnel verplaatst en met elkaar combineert. De assembler zou om het even wat kunnen maken: een eiwitmolecule, een bord biefstuk-friet of een nieuwe Eiffeltoren.

De denkbeelden over assemblerende nanobots gingen hun eigen leven leiden. Assemblers zouden ook eindeloos zichzelf kunnen repliceren. Ongecontroleerd en zonder weerstand. De roman 'Prey' (2002) van Michael Crichton neemt dit thema over: de auteur beschrijft een ongeval waarbij zelfreplicerende nanobots ontsnappen en alle materie omzetten naar 'grijze blubber' (Grey Goo).

Door de meerderheid van de nanowetenschappers worden deze denkbeelden afgedaan als 'brokjes materiaal uit leerboeken aan elkaar geplakt met grote stukken fantasie en sciencefiction'. Niettemin blijft zelfreplificatie van nanostructuren een belangrijke onderzoekstopic. En daarmee blijft het thema over de zelfreplicerende en allesvernietigende nanobots een gegeerd discussie-thema⁸⁶.



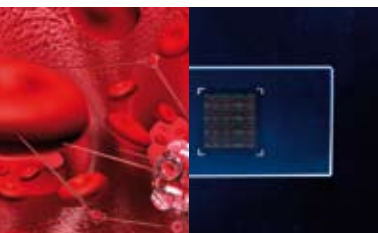
NANO IN DE MAATSCHAPPIJ



Maatschappelijke kwesties, droom- en schrikbeelden rondom nanotechnologie

Toepassingsgebied	Maatschappelijke kwesties	Droombeelden	Schrikbeelden
nanomaterialen / industriële productie	gezondheids- en milieueffecten zelf(re)productie	duurzaamheid universal assembler personal fabrication	nano-asbest grey goo
nano-elektronica	privacy	slimme producten en omgeving	big brother
bio-elektronica	maakbare mens mengvormen van leven en niet-leven	wereld zonder handicaps koppeling internet	discriminatie van 'handicaps' dehumanisering vervreemding
nanotechnologie in de medische sfeer	voorspellende geneeskunde	vroege diagnostiek medicijnen op maat	dwang / uitsluiting tweedeling in de zorg
militaire technologie	wapenwedloop ethiek van oorlog maakbare mens	veilige wereld zero-casualty remote control war invincible warriors	proliferatie terrorisme killer robots ruimte-oorlog cybersoldaten
algemeen / innovatie	patenten verdelingsvraagstuk sturing / dialoog economisch model	verspreiding van kennis en profijt gelijke verdeling van welvaart maatschappelijke sturing groei economie en werkgelegenheid	monopolisering van kennis en profijt nano-divide technologisch determinisme krimp economie en werkgelegenheid

bron: Om het kleine te waarderen, Rathenau Instituut, Nederland.



NANO NU

Participatie van het publiek

Net als bij de meeste nieuwe technologieën die zich in de beginfase bevinden, staat het grote publiek ook tegenover nanowetenschap en nanotechnologie nog onwetend en ongeïnteresseerd. Uit diverse publieksenquêtes blijkt dat de feitelijke publieke kennis over nanotechnologie laag is: twee derde van de ondervraagden heeft nog nooit van nanotechnologie gehoord of weet er alleszins bijzonder weinig over^{87 88 89 90}. Dat houdt een gevaar in want in het onbekende zit ook het onbeminde. Gebrek aan inzicht in ontwikkelingsmogelijkheden en mogelijke ongewenste toepassingen kunnen onrust veroorzaken. Die geuite zorgen en onrust zijn misschien lang niet altijd reëel, maar het ontstaan van angst of bezorgdheid vormt een indicatie van het feit dat uitleg en participatie over de inhoud van de ontwikkelingen in het onderzoek noodzakelijk zijn.

Het voordeel van de twijfel

Voorlopig lijkt het met die onrust nogal mee te vallen. Ondanks de geringe bekendheid van de technologie en van de kansen en risico's die zij met zich meebrengt, blijkt uit de onderzoeken ook dat het publiek (nog) overwegend positief aankijkt tegen nanotechnologie: 68% van de Britten verwacht dat nanotechnologie de kwaliteit van het leven zal verbeteren en 40% van de Amerikanen ziet meer voor- dan nadelen. Deze bevindingen worden ondersteund door de resultaten uit sessies met focusgroepen in Denemarken, Nederland en het Verenigd Koninkrijk. Nanotechnologie lijkt dus van het grote publiek het voordeel van de twijfel te krijgen⁹¹. Toch maken mensen zich ook zorgen, met name over de regulering en de controle op nanotechnologie, de moge-

lijke gezondheidsrisico's voor mens en milieu, het verlies van privacy, de onevenwichtige verdeling van de voordelen van nanotechnologie over Noord en Zuid en een mogelijke nieuwe wapenwedloop, stuk voor stuk knelpunten die we eerder in deze brochure hebben uitgespit. In de Rathenau-publicatie 'De dubbele boodschap van nanotechnologie', menen Rinie van Est en Lucien Hanssen dat het belangrijk is dat de zorgen en angsten van het publiek worden mee gewogen bij de vele nog te nemen beslissingen over nanotechnologie. Alleen op die manier kan men voorkomen dat het voordeel van de twijfel omslaat in wantrouwen. Het publiek verlangt niet zozeer absolute zekerheid over het feit dat risico's achterwege blijven, maar wil wel serieus worden genomen. Het wil erop kunnen vertrouwen dat nanotechnologie bij overheid, wetenschap en bedrijfsleven in goede handen is en dat maatregelen worden genomen om de onbedoelde consequenties tot een minimum te beperken. In een wetenschapsgebied waar de komende jaren enorme investeringen worden gedaan, zowel uit private als publieke middelen, en waar toepassingen worden ontwikkeld die een enorme weerslag kunnen hebben op de levens van burgers, mag men niet verwachten dat de samenleving slechts in bewondering vanaf de zijlijn blijft toekijken, stellen de Nederlandse onderzoekers nog⁹². Ook de Europese Commissie meent dat zonder serieuze poging tot maatschappelijk debat, nanotechnologische vernieuwingen een hoger risico lopen op een negatieve ontvangst. Zij vindt een open dialoog, die rekening houdt met de opvattingen van het publiek, onmisbaar om een eerlijke analyse en afweging van de voor- en nadelen en de impact van nanotechnologie op de samenleving mogelijk te maken⁹³.



Meer lezen

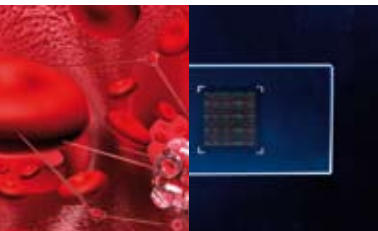
- viWTA Dossier 2 Nanotechnologie, stand van zaken, 2005.
 Nanotechnologie, innovatie voor de wereld van morgen, 2004, Europese Commissie.
 Om het kleine te waarderen : een schets van nanotechnologie, 2004, Rathenau Instituut, Rinie van Est en anderen.
 Nanotechnologie, klein heeft grote toekomst, Actuele onderwerpen (AO), 2007.
 Spelen met atomen, nanotechnologie wordt volwassen, MENS nr. 48, 2003, Herman Lemmens en Peter Raeymaekers.
 Nanotechnology, new promises, new dangers, 2006, Toby Shelley.
 The dance of molecules, how nanotechnology is changing our lives, 2006, Ted Sargent.
 Micromachines, ultra-small world of nanotechnology, Science Frontiers, 2006, David Jeffries.
 Nanotechnology, Science, innovation and opportunity, 2006, Lynn E. Foster.
 Nanotechnology demystified, a self teaching guide, 2007, Linda Williams en Wade Adams.
 The future of nanotechnology, we need to talk, 2006, Nanologue.
 Nanotech, the science of the small gets down to business, Scientific American Special Issue, 2001.
 When things get small (DVD), 2006, Ivan Schuller en Rick Wargo, UCSD-TV.
 Nanotechnology (DVD), 2004, Europese Commissie.
 Nano, the next dimension (DVD), 2002, Europese Commissie.

Websites over nanotechnologie:

- www.nanonu.be, 'Nano nu'-technologiefestival, viWTA.
www.nanosoc.be, 'Nanotechnologie voor de samenleving van morgen', Vlaams onderzoeksproject over de toekomstige maatschappelijke impact van nanowetenschap en nanotechnologie.
www.onderzoekinformatie.nl/nl/oi/nanotechnologie/, themawebsite van de Koninklijke Nederlandse Academie voor Wetenschappen.
cordis.europa.eu/nanotechnology, Engelstalige portaalsite van de Europese Commissie over nanotechnologie.
www.nanotech-now.com, www.nanowerk.com, nanotechnology.com, Engelstalige portaalsites over nieuwe ontwikkelingen in nanowetenschap en nanotechnologie.
www.nano.gov, website van het Amerikaanse National Nanotechnology Initiative.

Bronvermelding illustraties en foto's:

- Pagina 2 : Kind met molecuulmodel *iStockphoto*, nanobuizen A. Rochefort, *Nano@polyMTL*, ruimtelift Nasa, microscopische opname printplaat *Agfa Graphics*, quantum corral *IBM-Almaden Lab*.
 Pagina 4 en 5 : Quantum corals en chip wafer *IBM-Almaden Lab*, eiwit met DNA *C. Dekker, Kavli Institute Nanoscience, Delft*, modellen nanobuizen en nanobuis op elektroden *A. Rochefort, Nano@polyMTL*, slimme spiegel *Philips*, Buckybal in nanobuis *A. Rochefort, Nano@polyMTL*.
 Pagina 6 en 7 : Kind met molecuulmodel, rode bloedcellen en bacterie *iStockphoto*, bloedvat, haar en griepvirus *Dreamstime*.
 Pagina 11 : Eiwit met DNA *C. Dekker, Kavli Institute Nanoscience, Delft*.
 Pagina 12 : Don Eigler en IBM in nanoschrift *IBM-Almaden Lab*.
 Pagina 14 en 15 : Bloedvat, haar, bacterie met flagellum *Dreamstime*, buckybal in nanobuis *A. Rochefort, Nano@polyMTL*, flexibele zonnecellen *IMEC*, vrouw op kussen *iStockphoto*.
 Pagina 16 en 17 : Nanopigmenten *Agfa Graphics*, rode zetel, glaspartij en tennisballen *iStockphoto*, parfumbolletje *Bayer*, racket en verpakte tennisballen *Wilson*.
 Pagina 18, 20 en 21 : Graffiti *Alex Rando*, nanogocart *Rice University*.
 Pagina 19 : Koolstofnanobuis op elektroden *C. Dekker, Kavli Institute Nanoscience, Delft*.
 Pagina 23 : Bewegingsdetector *Sandia National Labs*.
 Pagina 24 en 25 : Detailopname computerchip *IMEC*, micro-tandwielkast *Sandia National Labs*, MEMS-mastodont *Agfa Graphics*.
 Pagina 26 en 27 : Digitaal hoofd *Dreamstime*, lab-op-eeen-chip *Sandia National Labs*.
 Pagina 30 en 31 : Flexibele zonnecellen *IMEC*.
 Pagina 32 en 33 : Soldaat *Oak Ridge National Laboratory*.
 Pagina 34 : Vlaams Parlement *viWTA*, nanobuizen *A. Rochefort, Nano@polyMTL*, micro-array *iStockphoto*.
 Pagina 36 en 37 : Man in beschermingspak *iStockphoto*.
 Pagina 40 : Neuron op chip *IMEC*.
 Pagina 42 : Nanobots *Dreamstime*.



NANO NU

Voetnoten

- 1 Novoselov, K.S. et al., Room-temperature quantum Hall effect in graphene, *Science*, 9 maart 2007 ; 315(5817):1379.
- 2 Aida, T., Nanotechnology scissors make the cut, 233rd National Meeting of the American Chemical Society.
- 3 DeNardo, S.J. et al., Thermal dosimetry predictive of efficacy of ¹¹¹In-ChL6 nanoparticle AMF--induced thermoablative therapy for human breast cancer in mice, *Journal Nuclear Medicine*, maart 2007 ; 48(3):437-44.
- 4 Stamenkovic, V.R. et al., Trends in electrocatalysis on extended and nanoscale Pt-bimetallic alloy surfaces, *Nature Materials*, maart 2007 ; 6(3):241-7.
- 5 Stix, G., Little big science, *Scientific American*, september 2001.
- 6 Van Est, R., Om het kleine te waarderen... Een schets van nanotechnologie: publiek debat, toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten, Rathenau Instituut, Den Haag, 2004
- 7 General Motors Communications, GM to use nanocomposites on highest volume car, media.gm.com en Brandstofcelauto "HydroGen1" in zware testfase, persbericht General Motors.
- 8 Nano, Nano, On The Wall... L'Oréal and others are betting big on products with microparticles, *Business Week*, 12 december 2005.
- 9 Feynman Richard P., Plenty of Room at the Bottom, december 1959, www.its.caltech.edu/~feynman/plenty.html.
- 10 Eigler, Don, biography, www.almaden.ibm.com/almaden/media/eigler2.html.
- 11 Nanotechnologie en nanowetenschap: waar gaat dat over?, KNAW Onderzoek informatie
- 12 Voordracht van de heer Barroso, voorzitter van de Europese Commissie tijdens de voorstelling van 'EGE Opinion n° 21 on the ethical aspects of nanomedicine', 24 januari 2007.
- 13 Lux Research, The nanotech report, 4de editie, 2006.
- 14 Williams L en Adams W, Nanotechnology demystified, 2007, p. 276.
- 15 ETC Group, The big down, 2003, p. 25.
- 16 Shelley T, Nanotechnology, new promises, new dangers, 2006, p. 17.
- 17 NASA Jet Propulsion Laboratory, Ideas that gel, www.jpl.nasa.gov/news/features.cfm?feature=490.
- 18 Research, the Bayer Scientific Magazine, 15de editie, 2003.
- 19 Pilkington Activ – Self cleaning glass, www.pilkington.com/international+products/activ/.
- 20 Innovative Facade Coatings with De-soiling and De-polluting properties, Picada project, www.picada-project.com.
- 21 Jefferis D, Micromachines, 2006, p. 14-15.
- 22 viWTA dossier 2, Nanotechnologie, stand van zaken, 2005.
- 23 Lux Research, The nanotech report, 4de editie, 2006.
- 24 The Nobel Prize in Chemistry 1996, nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1996/illpres/discovery.html
- 25 The space elevator, www.nasaexplores.com/show2_article.php?id=01-015.
- 26 Nano-C, Fullerene applications, www.nano-c.com/fullereneapp.html.
- 27 Jain, K.K., The role of nanobiotechnology in drug discovery, *Drug Discovery Today*, 10 november 2005, p. 1435-1442.
- 28 Collins, P.G. en Avouris, P., Nanotubes for Electronics, *Scientific American*, december 2000, p. 68-76.
- 29 Lieber, C.M., The incredible shrinking circuit, *Scientific American*, september 2001, 51-56.
- 30 Shirai, Y. et al., Directional Control in Thermally Driven Single-Molecule Nanocars, *Nano Letters*, 5, 2005, p. 2330 -2334.
- 31 International Technology Roadmap for Semiconductors, 2006 Update, www.itrs.net
- 32 Radhakrishna, H., From Moore's law to Intel innovation – prediction to reality, *Technology @Intel Magazine*, april 2005.
- 33 Ten Wolde, A., Nanotechnology, towards a molecular construction kit, Stichting Toekomstbeeld van de Techniek, 1998.
- 34 EUV Lithography: The next generation, ASML articles, www.asml.nl.
- 35 Beyond CMOS and Int'l Planning Working Group for Nanoelectronics, 3rd International Nanotechnology Conference on Communication and Cooperation, Brussel, 16-19 april 2007.
- 36 MicroElectroMechanical Systems (MEMS), Sandia National Laboratories, www.mems.sandia.gov.
- 37 Technical Foresights and Expected Orientations, intern document IMEC.
- 38 Vettiger, P. et al., The "Millipede" - More than one thousand tips for future AFM data storage, *IBM Journal of Research and Development*, 44, 2000, p 323-340.
- 39 RFID Technologie, rfid techniek en uitleg, www.rfidtechnologie.nl.
- 40 Draadloze communicatiesystemen, IMEC, www.imec.be/wwwinter/research/nl/wireless.shtml.
- 41 Van Est, R. et al., Om het kleine te waarderen..., Rathenau Instituut, 2003.
- 42 Aarts, E. en Marzano, S., The new everyday, Views on ambient intelligence, 2003.
- 43 Nanotechnologies for tomorrow's society, www.nanosoc.be.
- 44 Jain, K.K., The role of nanobiotechnology in drug discovery, *Drug Discovery Today*, 10 november 2005, p. 1435-1442.
- 45 PillCam™, Given Diagnostic System, www.givenimaging.com
- 46 The world of microarrays and microfluids, <http://www.lab-on-a-chip.com/>
- 47 IMEC, Jaarverslag 2006, pp. 31.
- 48 Roszek, B., de Jong, W.H. en Geertsma, R.E., Nanotechnologie in medische toepassingen: stand der wetenschap in materialen en producten, RIVM report 265001001/2005, www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/265001001.pdf.



- 49 viWTA dossier 7, Assistieve technologie, 2007.
- 50 Van Est, R. et al., Om het kleine te waarderen..., Rathenau Instituut, 2003.
- 51 Snijkers, F., GigaWatt challenges tackled by NanoSolutions : Potential impact of nanotechnology on sustainable generation of energy, VITO.
- 52 National Nanotechnology Initiative, strategic plan, december 2004, www.nano.gov/NNI_Strategic_Plan_2004.pdf.
- 53 Nanotechnology and environment, VITO.
- 54 Nanotechnology and environment, VITO.
- 55 PICADA: Slim cement maakt lucht schoon, De Ingenieur, 7 mei 2004.
- 56 Photoanalytic Innovative Coverings Applications for Depollution Assessment (PICADA), www.picada-project.com.
- 57 Nanoscale Iron Could Help Clean the Environment, www.nano.gov/html/news/SpecialPapers/Zhang%20Handout%202.htm.
- 58 Altman, J., Military Nanotechnology – Potential applications and preventive arms control, 2006.
- 59 Simonis, F. en Schilthuizen, S., Nanotechnology - innovation opportunities for tomorrow's defence, 2006.
- 60 Van Est, R. et al., Om het kleine te waarderen..., Rathenau Instituut, 2003.
- 61 Kimball, R., RFID Tags and Smart Dust, 2003, www.intelligententerprise.com/print_article_flat.jhtml?article=/030718/612warehouse_1_1.jhtml.
- 62 Shelley, T., Nanotechnology, new promises, new dangers, 2006, pp. 37.
- 63 Oberdorster, G., et al., Association of particulate air pollution and acute mortality: involvement of ultrafine particles? *Inhal Toxicol.*, 7, 1995, 111-124.
- 64 ETC Group, From genomes to atoms. The Big Down, 2003.
- 65 Nanotechnology, small matter, many unknowns, Swiss Re, 2004.
- 66 Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties, the Royal Society en the Royal Society of Engineering, 2004, www.nanotec.org.uk/finalReport.htm.
- 67 Maynard, A.D., Nanotechnology : A research strategy for addressing risk, 2006.
- 68 Renn, O. en Roco, M., White paper on nanotechnology risk governance, International Risk Governance Council, 2006.
- 69 Nanotechnology in the EC Programmes, Safety aspects, <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/safety.htm>.
- 70 Van Est, R. et al., Om het kleine te waarderen..., Rathenau Instituut, 2003.
- 71 Hanssen, L. en van Est, R., De dubbele boodschap van nanotechnologie, Een onderzoek naar opkomende publiekspercepties, Rathenau Instituut, 2004.
- 72 Rathenau nano-enquête, brochure, 2005.
- 73 Nanotechnology for tomorrows society, Nanosoc, www.nanosoc.be.
- 74 Lieve Goorden en Marianne Deblonde, Nanosoc, persoonlijke mededeling.
- 75 Peterson, C., No secrets in a future with nanosensors, interview voor 'Earth and Sky', www.earthsky.org/article/christine-peterson-interview
- 76 www.kevinwarwick.com.
- 77 Warwick, K., I want to be a cyborg, *The Guardian*, 26 januari 2000.
- 78 Braingate, Cyberkinetics Neurotechnology System, www.cyberkineticsinc.com.
- 79 viWTA dossier 7 Assistieve technologie, 2007.
- 80 Van Est, R. et al., Om het kleine te waarderen..., Rathenau Instituut, 2003.
- 81 Raeymaekers, P. en Rondia, K., Mijn bijzonder brein, Koning Boudewijnstichting, 2004.
- 82 Lieve Goorden en Marianne Deblonde, tussentijdse resultaten Nanosoc-project, persoonlijke mededeling.
- 83 Down on the Farm: The Impact of Nano-scale Technologies on Food and Agriculture, ETC Group, 2004.
- 84 Shelley, T. Nanotechnology, new promises, new dangers, 2006.
- 85 Simonis, F. en Schilthuizen, S., Nanotechnology, innovation opportunities for tomorrow's defence, TNO, 2006.
- 86 Raeymaekers, P. et al., Spelen met atomen, nanotechnologie wordt volwassen, *MENS*, 48, 2003.
- 87 Van Est, R. et al., Om het kleine te waarderen..., Rathenau Instituut, 2003.
- 88 Europeanen, wetenschap en technologie, Eurobarometer 55.2, Europese Commissie, 2001.
- 89 Sims Bainbridge, W., Public Attitudes toward Nanotechnology, *Journal of Nanoparticle Research* 4, 2002, pp. 561-570.
- 90 Royal Society & Royal Academy of Engineering, Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties, 2004.
- 91 Macoubrie, J., et al., Public Perceptions of Nanotechnology and Trust in Government – Major Findings of 2004 Study, www.azonano.com/details.asp?ArticleID=1395.
- 92 Hanssen, L. en van Est, R., De dubbele boodschap van nanotechnologie, Een onderzoek naar opkomende publiekspercepties, Rathenau Instituut, 2004.
- 93 Nanotechnology, communication and debate, Cordis, cordis.europa.eu/nanotechnology/src/public_debate.htm.

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.

De heer Robert Voorhamme is voorzitter van de Raad van Bestuur van het viWTA.
Mevrouw Trees Merckx - Van Goey en de heer Jean-Jacques Cassiman 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

mevrouw Ilse Loots

de heer Freddy Mortier

de heer Nicolas Van Larebeke-Arschodt

de heer Harry Martens

mevrouw Irène Veretennicoff

de heer Stefan Gijssels

als vertegenwoordigers van de Vlaamse wetenschappelijke en technologische wereld.