



KLEIN MILLI

KLEINER MICRO

KLEINST NANO

nanonu

KLEIN MET EEN GROTE TOEKOMST?

INHOUD



Wie het kleine niet eert >> Nanowetenschap en nanotechnologie

Hoe klein is nano? >> De maat van Einstein

De eerste nanogolf >> Nanoproducten in het winkelrek

Over buckyballen en nanobuizen >> Nieuwe materialen met ongekende eigenschappen

Micromachines en nanotoestellen >> Onzichtbare gereedschapskist

Van micro- tot nanodokter >> Medische vooruitgang dankzij nanotech

Nano-elektronica >> More Moore en beyond Moore

Speeltuin voor onderzoekers >> Schuiven met atomen

Natuurlijk nano >> Miljarden jaren nano-ervaring

Nano in de maatschappij >> Kansen afwegen tegen risico's

Nano tijdslijn

3
4
6
8
10
12
14
17
17
18
22

SAMENSTELLING

Peter Raeymaekers

EINDREDACTIE EN PROJECTMANAGEMENT

Stef Steyaert en Els Van den Cruyce (viWTA)

TAALADVIES

Luk Vanrespaille

LAY-OUT

B.Ad

VERANTWOORDELIJKE UITGEVER

Robby Berloznik, directeur viWTA

Vlaams Parlement

1011 Brussel

klasse

eos

DeMorgen
een open geest beleeft meer

TECHNOPOLIS



M

HKA

KATHOLIEKE UNIVERSITEIT
LEUVEN

UNIVERSITEIT
GENT



Vrije Universiteit Brussel

Universiteit
Antwerpen

universiteit
hasselt

imec

VIB

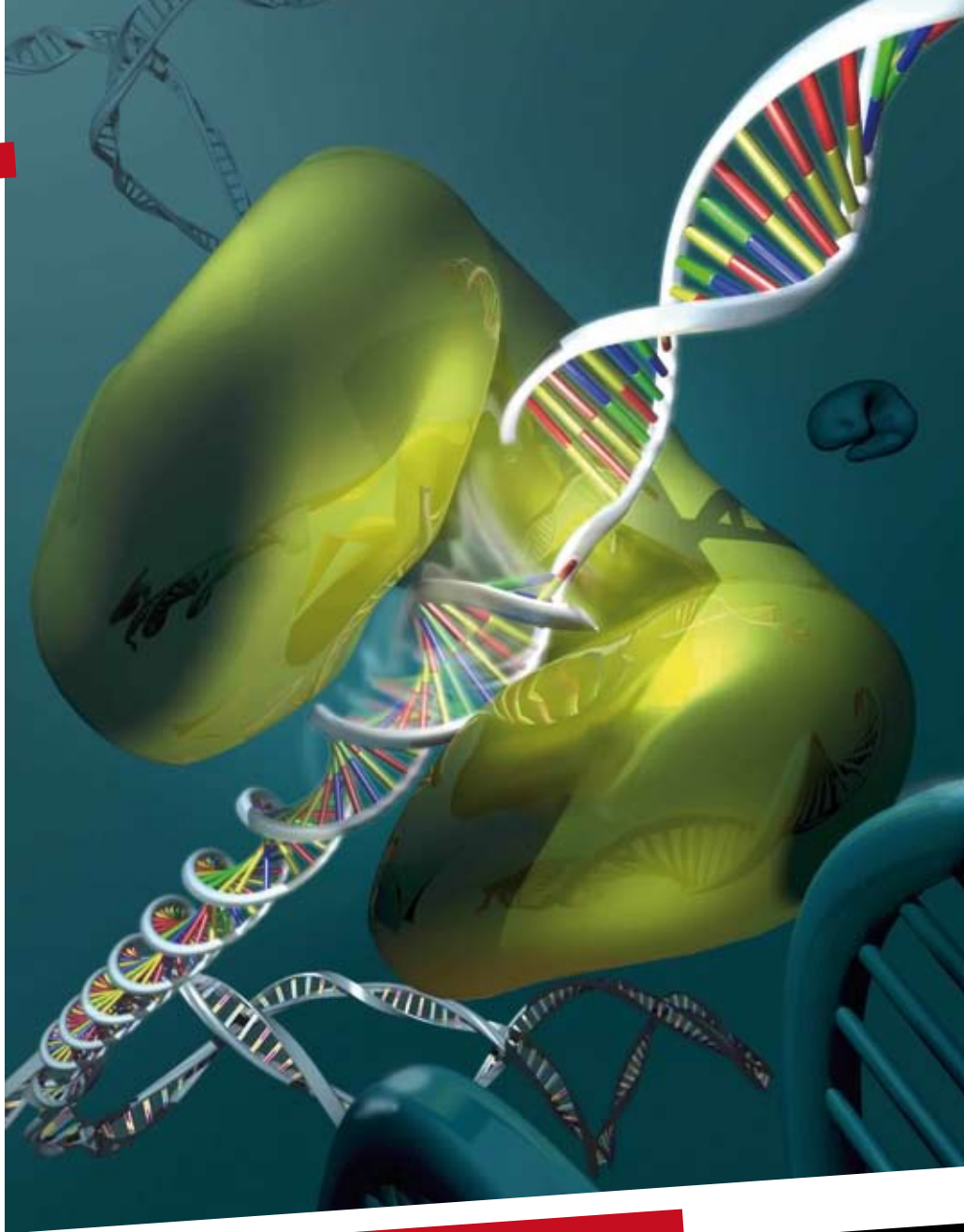
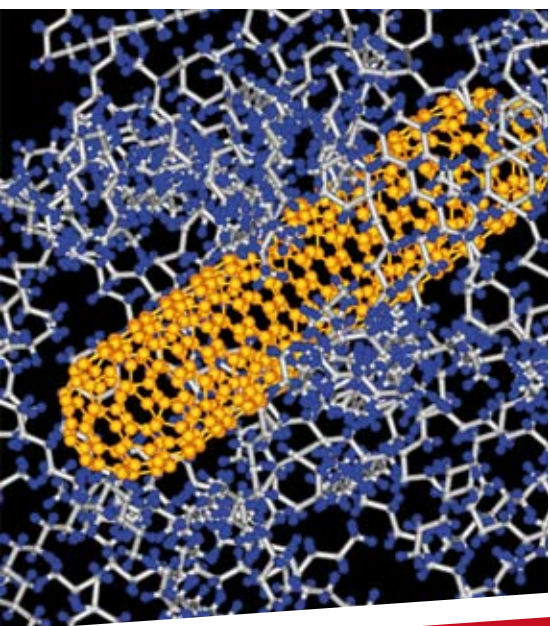
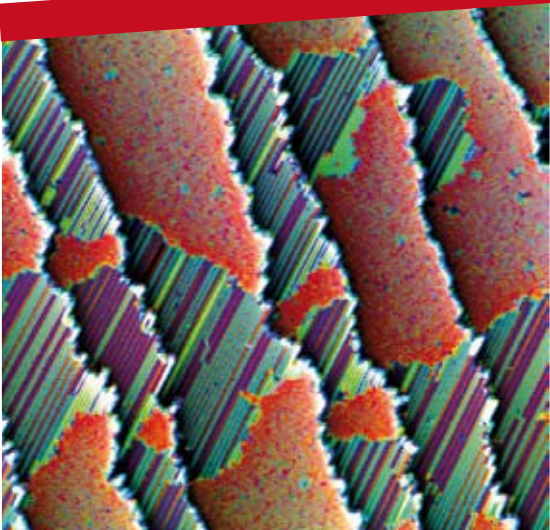
vito
www.vito.be

AGFA Agfa

INNOGENETICS

BEKAERT
better together

umicore
made with a better life



WIE HET KLEINE NIET EERT

Deze brochure gaat over de wereld van het kleine, de wereld van de nanowetenschap en de nanotechnologie. Het is een wereld die zijn naam dankt aan het Griekse woord 'nanos', wat dwerg betekent. In de fysica staat 'nano' voor een miljardste deel. Eén nanometer is het miljardste van een meter, het miljoenste van een millimeter of het duizendste van een micrometer. En dat is heel klein. Het is de schaal van de atomen.

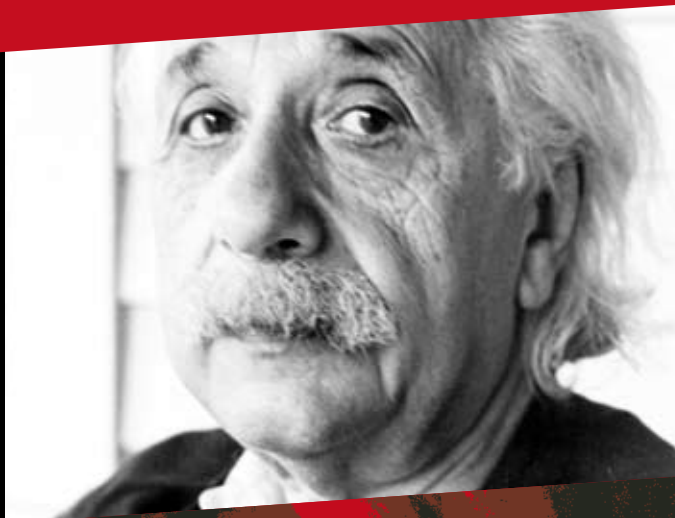
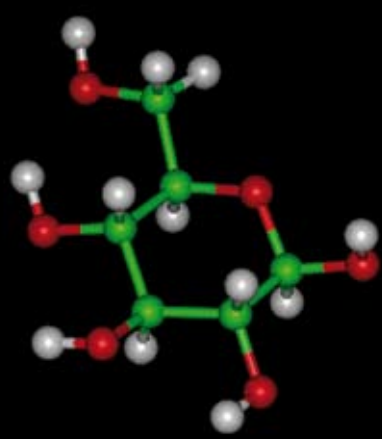
Het is ook de wereld waarin materiaaldeskundigen, chemici, moleculair biologen en ingenieurs materialen, systemen of producten ontwikkelen met nieuwe fysische, chemische of biologische eigenschappen. Nanotechnologie bezorgt ons snellere en kleinere computers, betere tennisballen, vlekvrije kleding, transparante en niet kleverige zonnecrème, moleculaire sensoren en nieuwe kankerbehandelingen. Vandaag zijn al honderden nanoprodukten op de markt, maar over tien tot twintig jaar zullen de ontluikende nanowetenschap en nanotechnologie ons pas echt verbazen.

Met het festival Nano Nu brengt het viWTA alles wat in Vlaanderen leeft rond nanowetenschap en nanotechnologie in het Vlaams Parlement samen voor een wervelend treffen. Deze brochure, gericht op jongeren, en het begeleidend educatief pakket maken een balans op van nano nu ... en morgen. Veel leesgenot.

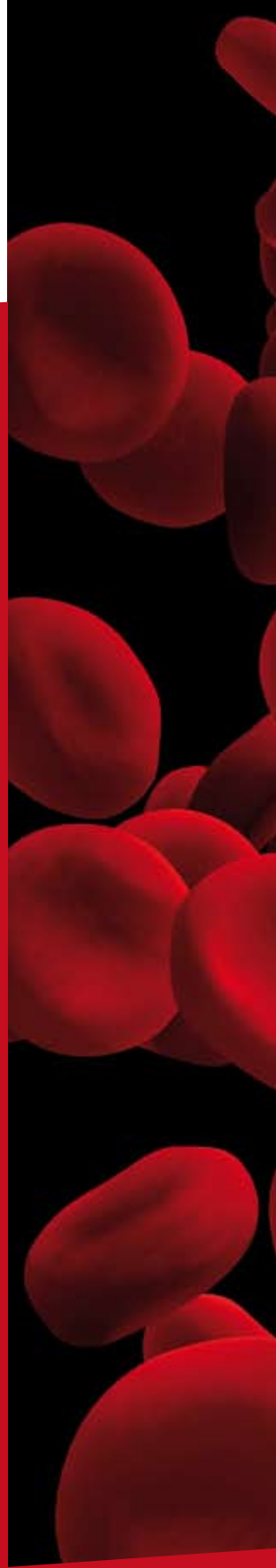
Het Nano Nu Team

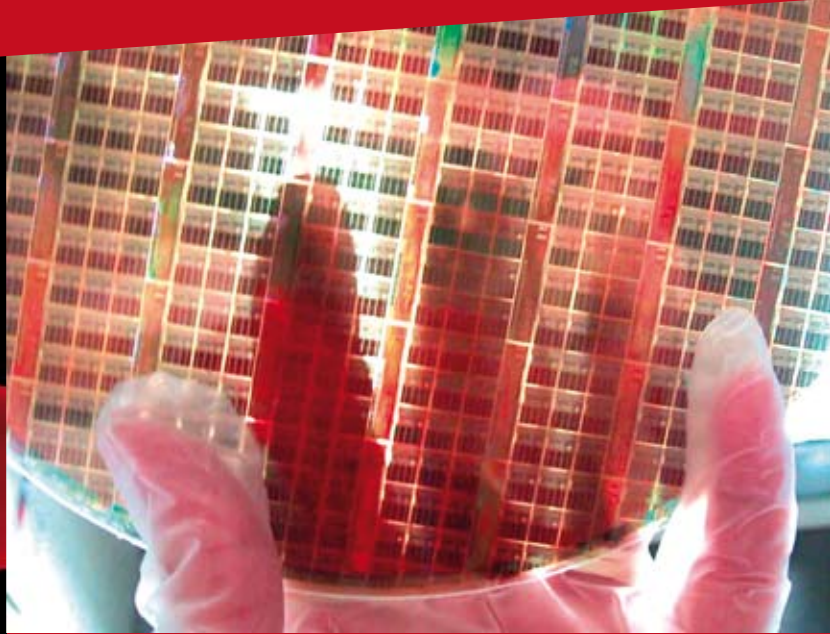
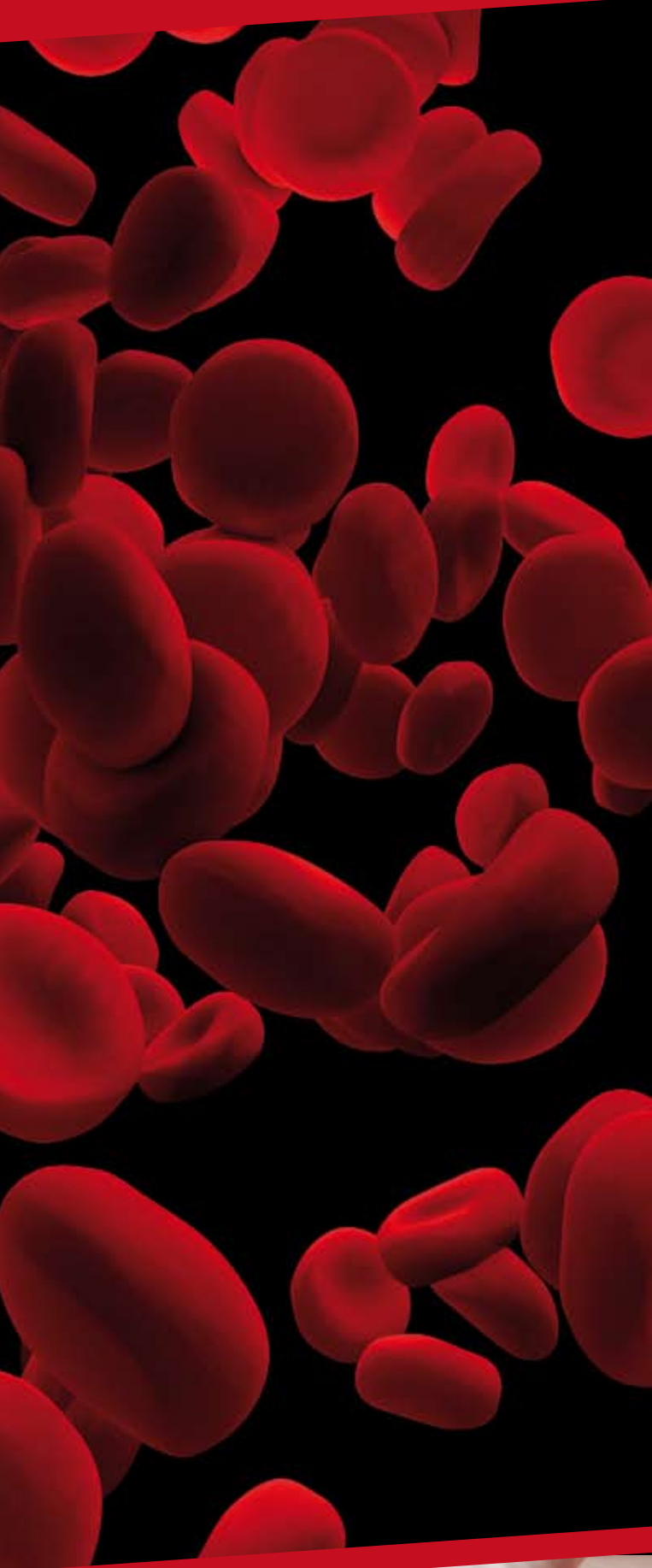
HOE KLEIN IS NANO?

De nanometer (nm) is de essentie van 'klein'. Albert Einstein hield zich tijdens zijn doctoraatsthe-
sis al bezig met 'de nanometer'. Hij berekende de omvang van een suikermolecule. 'Ongeveer één
nanometer in diameter' was zijn verdict. Een nanometer is met andere woorden de eenheidsmaat
van atomen en moleculen. Of om het te vergelijken met wat wij als klein ervaren in onze 'grote'
wereld: het punt aan het eind van deze zin heeft een doormeter van 300.000 nm, een menselijk
haar is tussen de 17.000 en 180.000 nm dik (afhankelijk of je blond- of zwartharig bent), een
rode bloedcel heeft een diameter van 6.000 nm, een vingernagel groeit elke minuut 5 tot 10 nm.

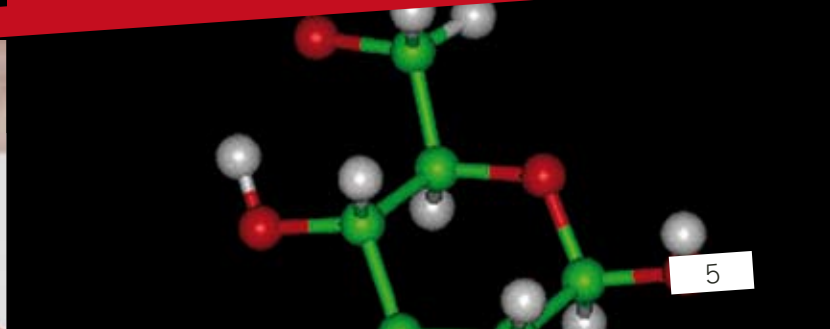


Als we de suikermolecule van Einstein 70 miljoen keer vergroten, krijgt
ze de omvang van een tennisbal. Passen we dezelfde vergrotingsfac-
tor toe op de tennisbal dan wordt die even groot als de maan.





Nanowetenschap is het onderzoek naar verschijnselen en bewerking van materialen op atomaire, moleculaire en macromoleculaire schalen. Onder **nanotechnologie** wordt verstaan het ontwerpen, vervaardigen en toepassen van structuren, instrumenten en systemen door beheersing van vorm en afmeting op nanometerschaal. Op deze schaal verschillen de eigenschappen van de materie sterk. Een klompje goud bijvoorbeeld is volkomen inert en reageert met bijna niks. Gouddeeltjes met nanodimensies zijn bijzonder reactief en worden gretig gebruikt als katalysator voor tal van chemische processen. Materiaal, verdeeld in nanodeeltjes, heeft een veel grotere oppervlakte-volume-verhouding dan materiaal 'in bulkvorm'. Bovendien komen op nanoschaal de wetten van de kwantummechanica om de hoek kijken. Die stellen dat atoomfragmenten (zoals elektronen) niet alleen een materiële component hebben maar zich ook als golf functie voordoen en dus een energetische component hebben. Kenmerkend daarvoor is dat die energie slechts in bepaalde porties (kwantum) kan uitgezonden of geabsorbeerd worden. Omdat nanowetenschap en nanotechnologie ons in staat stellen om een heel gamma aan nieuwe materialen, systemen of producten te ontwikkelen, spreidt het potentieel van nano zich uit van micro-elektronica over materiaalkunde tot geneeskunde.



DE EERSTE NANOGOLF

Nanotechnologie belooft ons wonderlijke producten voor de toekomst. Toch liggen er vandaag al nanoproducten in de winkelrekken. Minstens driehonderd, volgens de jongste tellingen. En er komen er elke dag nieuwe bij.



1 Zonnecrèmes met nanodeeltjes titaandioxide en zinkoxide zijn transparant voor zichtbaar licht en absorberen of reflecteren beschadigende UV-stralen. Zelfs crèmes met een ultrahoge beschermingsfactor voelen niet langer vettig aan, zijn perfect uitsmeerbaar en laten geen witte strepen na. Ook de nanowetenschap achter schoonheid is 'big business'. Neem bijvoorbeeld L'Oréal. Deze Franse specialist in **cosmetica** experimenteert al sinds de vroege jaren '70 met liposomen - ultra-kleine vetdruppeltjes - en andere nanopartikels, om de actieve bestanddelen van zijn zalfjes en crèmes efficiënter te laten doordringen in de diepere lagen van de huid. Nanodeeltjes van ijzeroxide worden dan weer verwerkt in lippenstift.

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

3 De nanotechafdeling van de Amerikaanse ruimtevaartorganisatie Nasa ontwikkelde aerogel, een ultralicht, poreus materiaal met een superieur isolatievermogen. Vandaag wordt het materiaal verwerkt in 'toasty feet': inlegzolen tegen bevroren voeten.

4 Bayer besprenkelt leder en stoffen met **parfumeeltjes** verpakt in kleine bolletjes. 's Werelds kleinste parfumflesjes, noemt Bayer het. De bolletjes dringen tot diep in het materiaal door. 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.

5 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 Activ™, glas met een speciale coating die organisch vuil afbreekt onder invloed van zonlicht. De afbraakproducten worden weggespoeld met het regenwater. Nooit meer ramen lappen!

6 De **verf- en bouwmaterialen**industrie zal in de nabije toekomst een belangrijke producent van nanoprodukten worden. Titaandioxide verwerkt in beton, klinkers, verf en plaaster kan vervuilende stikstofoxides uit de lucht opnemen en omzetten tot onschuldige wateroplosbare afbraakproducten die via de regen worden weggevoerd. Ook antigraffiti- en scheurresistente verfsoorten op basis van nanodeeltjes zitten in de pijplijn.



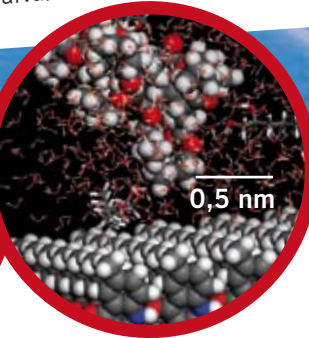
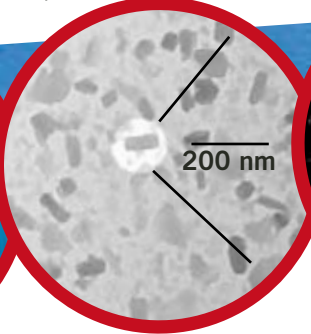
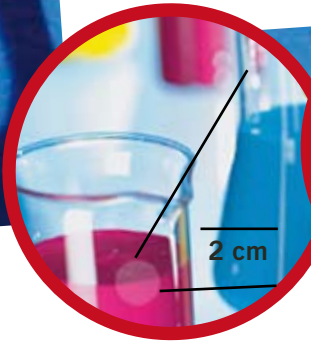
7 Sinds 2002 rust General Motors een aantal van zijn **auto's** uit met carrosserieonderdelen op basis van nanocomposieten. Sinds 2004 wordt zijn meest succesvolle model in de VS, de Impala, voorzien van deze onderdelen. Mercedes-Benz spuit sinds 2005 zijn C-klasse modellen met een krasresistente nanolak.



8 Ook de sportindustrie heeft verscheidene nanoprodukten op haar verkooplijstje staan. **Tennisballen** met aan de binnenzijde een speciale luchtdichte nanocoating behouden hun veerkracht twee keer langer, **golfballen** met nanometaal vliegen een rechte baan, gecoate skikledij houdt de skiër droog en warm, **nanowax** maakt ski's superglad, **tennisraketten en mountainbikes** met nanobuisjes zijn sterker, stabiel en lichter.



9 Ook Agfa Graphics uit Morsel 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 (links). Elk pareltje meet 50 nm in diameter en bij belichting met een 830 nm laser versmelten de parels waardoor ze inkaannemend worden. De niet belichte delen zijn hydrofiel en nemen alleen water aan en geen drukinkt. Onder deze nanolatexlaag zit een aluminiumoxidelaag van 1000 nm dik met nanoporiën tussen de 10 en 40 nm (rechts). Met deze nieuwe technologie is geen chemische processing meer nodig tijdens het drukproces. Daardoor bespaart de drukker immens op energie en produceert hij bijna geen afval meer. Het aluminium substraat wordt volledig gerecycleerd.



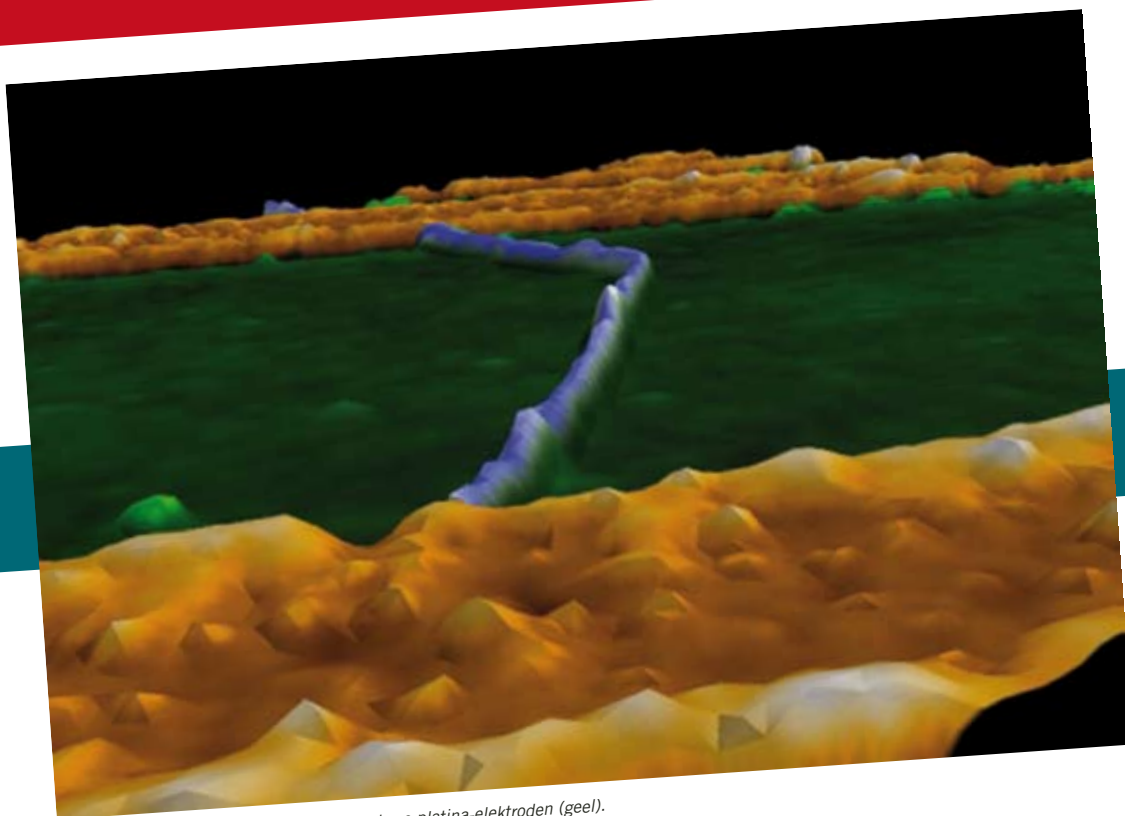
10 Ook in de nieuwste kleurinkten voor inkjetprinters heeft Agfa Graphics een flinke scheut 'design op nanoschaal' verwerkt. De basis van die inkten wordt gevormd door kleurpigmenten die uit nanokristallen bestaan. Door het inzetten van supramoleculaire designtechnieken kan men de grootte van de nanopigmenten 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.

OVER BUCKYBALLEN EN NANOBUIZEN

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

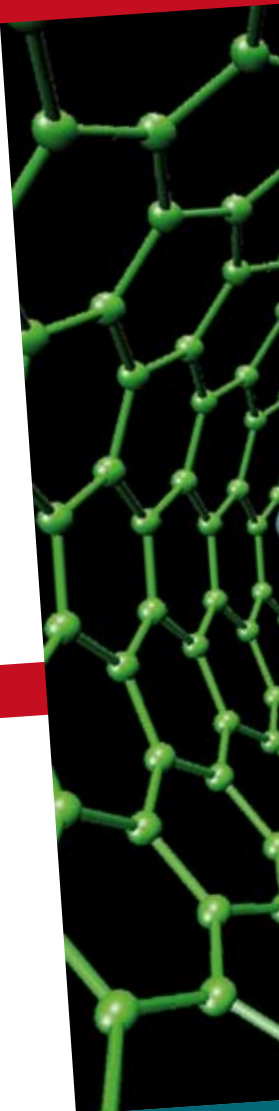
In 1985 ontdekten de latere Nobelprijswinnaars Robert Curl, Harold Kroto en Richard Smalley holle, voetbalvormige koolstofmoleculen die zijn opgebouwd uit zestig koolstofatomen en daarom worden aangeduid met de formule C₆₀. Zes jaar later, in 1991, ontdekte de Japanse onderzoeker Sumio Iijima de nanokoolstofbuisen. Het zijn holle, cilindervormige moleculen die uit één of meer lagen kunnen bestaan.

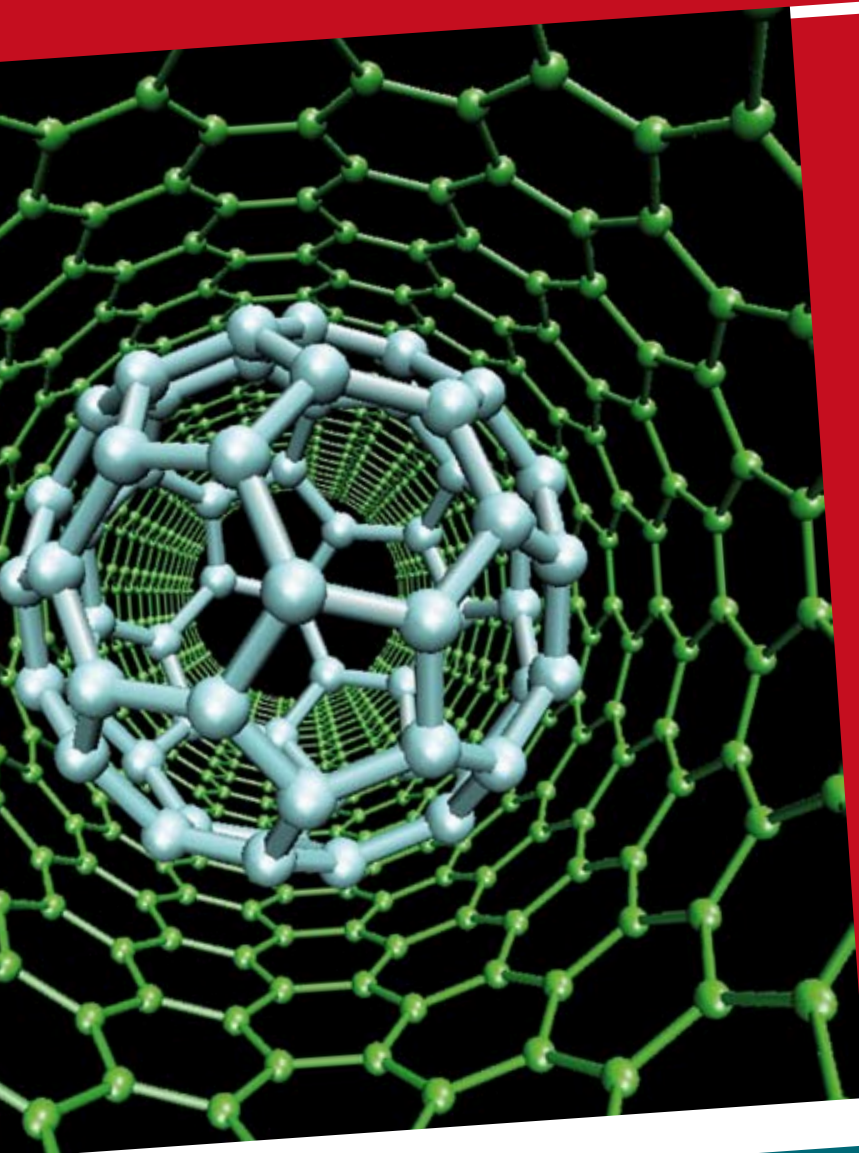
Deze nieuwe koolstofmoleculen kregen de verzamelnaam fullerenen, naar de Amerikaanse architect Buckminster Fuller die beroemd werd om zijn koepelvormige gebouwen. Al snel werden deze koolstofmoleculen populair onder de naam 'buckybal' en 'nanobuis'.



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

Nanobuisen uit koolstof hebben heel bijzondere eigenschappen. Ze zijn licht en buigzaam maar oersterk. Tot 100 keer sterker dan staal. Omdat deze koolstofmoleculen chemisch kunnen binden met tal van andere moleculen en atomen, vormen ze een ideaal substraat als vervoerder van medicijnen of wapening in composieten. Afhankelijk van hun structuur geleiden nanobuisen elektrische stroom beter dan koperdraad of vormen ze halfgeleiders die superieur zijn aan siliciumtransistors. Er wordt de nieuwe koolstofmoleculen dan ook een grote toekomst voorspeld in de ICT en de elektronica-sector, van nanobuiscomputer tot nanoplasmascherm. Kortom, buckyballen en nanobuisen zijn de meest opwindende materiaalontdekkingen van de voorbije decennia.



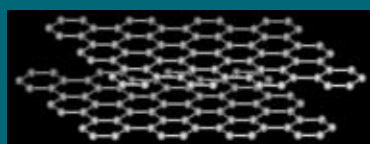


Sommige wetenschappers dromen er al van om verbindingen te maken tussen ruimtetuigen en de aarde, met draden gevlochten uit nanobuizen. En ingenieurs van de Amerikaanse ruimtevaartorganisatie Nasa onderzoeken zelfs of ze een ruimtelift kunnen bouwen met nanobuizen.

Diamant en grafiet, beide opgebouwd uit zuivere 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, waarbij de atomen in alle richtingen sterk met elkaar verbonden zijn. Grafiet bestaat daarentegen uit los op elkaar liggende vlakken met daarin de koolstofatomen gerangschikt volgens regelmatige zeshoeken. Stukjes kippengaas die opeen zijn gelegd, bij wijze van spreken. In het gas zijn de atomen sterk met elkaar verbonden, tussen de gaaslagen heersen slechts 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 het patroon van 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 met een diameter van slechts enkele nanometer.

Vandaag worden nanobuizen niet alleen meer gemaakt van koolstof alleen. Allerhande elementen of verbindingen - van koper, aluminium, goud, germanium tot magnesiumoxide, siliciumcarbide en cadmiumselenide - kunnen dienen als uitgangsmateriaal.



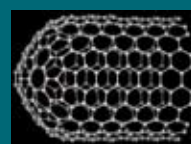
grafiet



diamant



buckybal



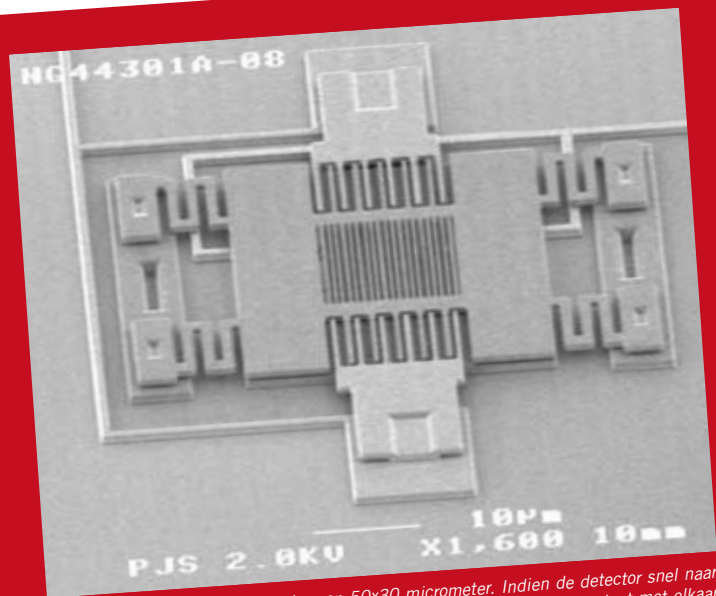
nanobuis

MICROMACHINES EN NANOTOESTELLEN

Micro-elektromechanische systemen (MEMS) zijn miniatuurmachines opgebouwd uit mechanische elementen, sensoren en een flinke brok elektronica. De mechanische componenten in MEMS hebben dimensies die vandaag worden gemeten in micrometer. Dat is onzichtbaar voor het menselijke oog. Maar toch behoren deze MEMS nog niet echt tot het domein van de nanotechnologie. Daarvoor zijn ze te groot. Zonder twijfel zullen echter over tien of twintig jaar de NEMS – nano-elektromechanische systemen – het roer overnemen.

Naast MEMS en NEMS worden nog andere machines, toestellen of systemen ontwikkeld op basis van micro- en nanotechnologie, bijvoorbeeld biosensoren in miniatuurvorm. Die dienen om sporen van toxische stoffen in het milieu op te traceren of om industriële en farmaceutische productieprocessen te volgen, microbiologische verontreiniging in voeding of kankercellen in het menselijke lichaam te detecteren. Maar ook filtersystemen uit keramische materialen of silicium met nanoporiën voor de ultrafiltratie van vloeistoffen of gassen zijn voorbeelden van nanotechnoestellen die in ontwikkeling zijn.

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 aansturen. De mechanische componenten van deze sensor 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. De beslissing om de airbag te ontplooiën, moet in fracties van seconden gebeuren. Verder worden er bewegingsdetecterende MEMS verwerkt in dynamische controlesystemen om slippende wagens onder controle te krijgen, in antidiefstalsystemen en in navigatiemodules om de rijrichting te bepalen. Ook vrachtwagens, treinen, vliegtuigen en schepen krijgen steeds meer MEMS ingebouwd.



Bewegingsdetector met dimensies van 50x30 micrometer. Indien de detector snel naar links of rechts wordt bewogen, maken de tanden van de kammetjes contact met elkaar en wordt een elektrische stroom doorgegeven.

MEMS-mastodont

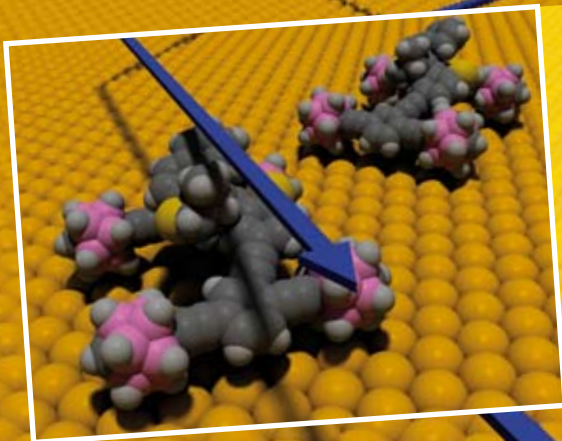
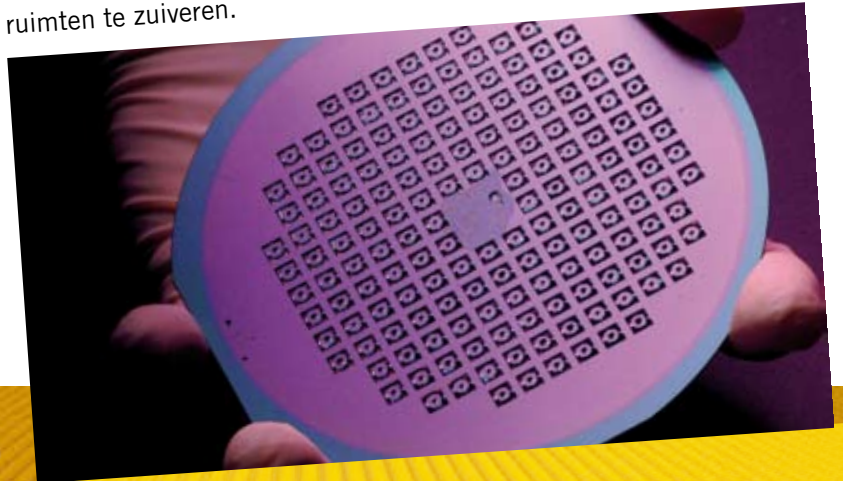
In 2007 bracht Agfa Graphics 'iM-Press' op de markt, een inkjetprinter die de snelste hoge volumedigitale drukmachine in zijn soort is. Deze machine bevat een blok met 64 printkoppen die elk 764 spuitmondjes bevat met een doorsnede van 18 micrometer. Achter elke spuitmond zit een inktkanaaltje dat wordt 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 afdrucken in de vier basiskleuren. Niet dadelijk een printer voor in je huiskamer, wel bedoeld voor de professionele drukker.



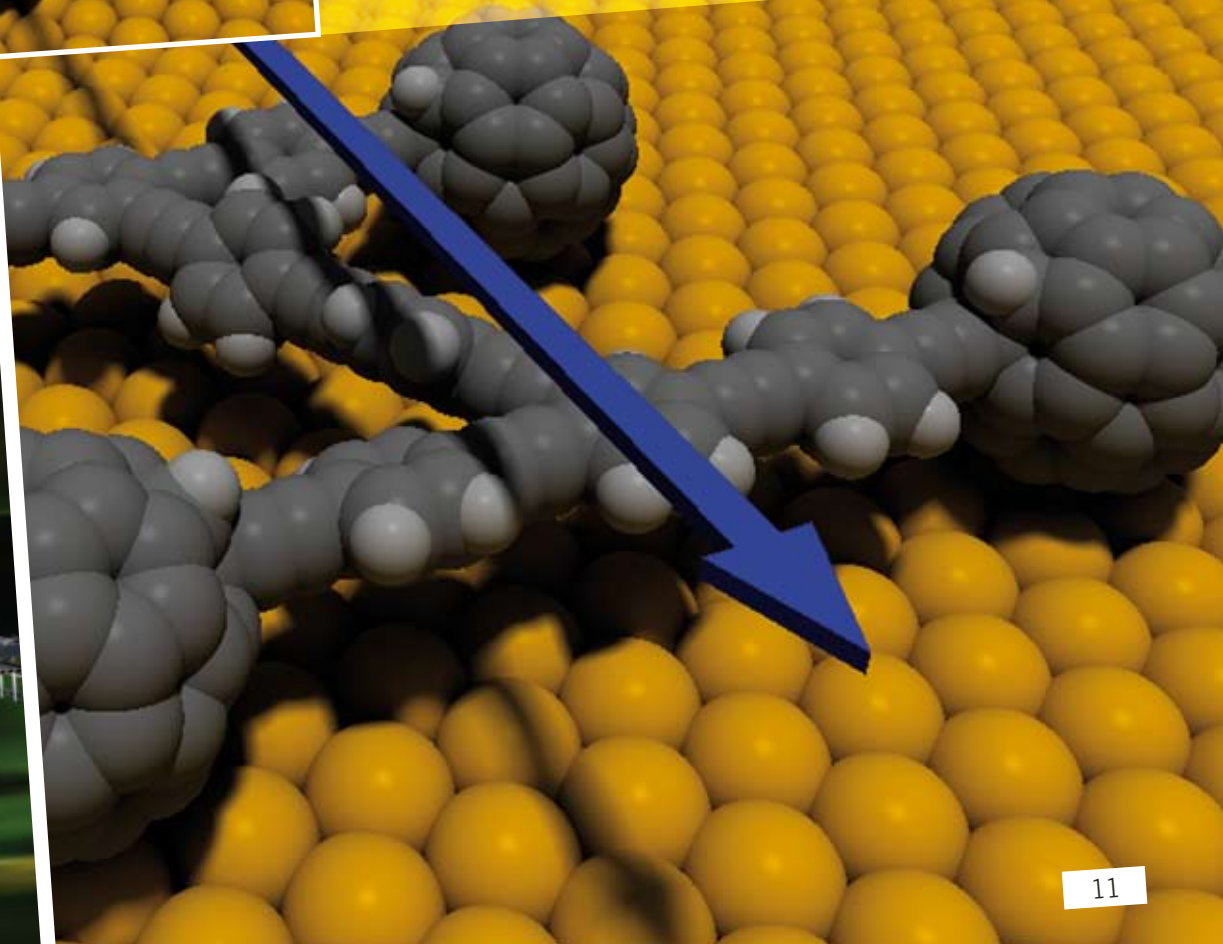
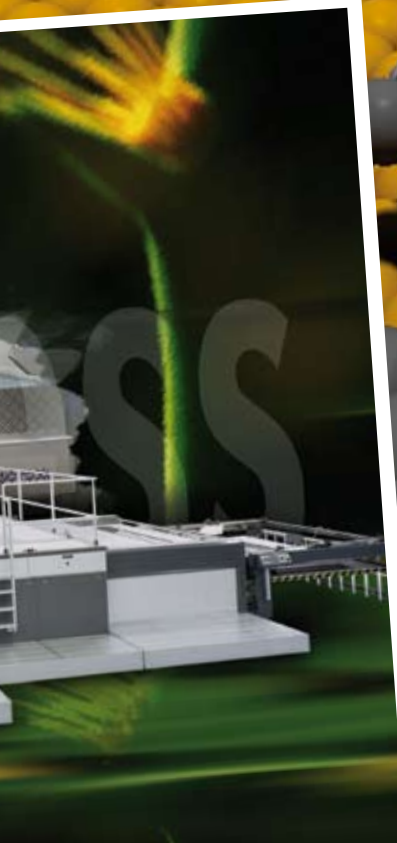
Ingenieurs hebben een superdun siliciummembraan ontworpen van amper 50 atomen dik. Het membraan zelf – op de foto 160 membraantjes ingebed in een siliciumplak - is van op de zijkant met het menselijk oog niet zichtbaar. Voor de chemische industrie kan het membraan een revolutie in de scheidingstechnologie betekenen en in de medische wereld kan het filtertje gebruikt worden bij nierdialyse, maar ook om lucht en water in ziekenhuizen en kiemvrije laboratoriumruimten te zuiveren.



In de VS werkt vooral het Nationaal Laboratorium voor Veiligheid (Sandia) aan MEMS en NEMS. Als voorbeeld een functionerende versnellingsbak en kettingkast kleiner dan een millimeter.



De kleinste gocart ter wereld bestaat uit een chassis van koolstofverbindingen en wielen van buckyballen. De nanocar is 3 tot 4 nanometer breed en kan worden voortbewogen met de naald van een STM-microscoop. Bouwjaar: 2005. Bouwplaats: Rice University, Houston, VS. Vorig jaar werd het karretje uitgerust met een moleculaire motor afkomstig van de Universiteit van Groningen (Nederland) die roteert van zodra hij in aanraking komt met licht.



VAN MICRO- TOT NANODOKTER

Resultaten van nano-onderzoek zijn vandaag al terug te vinden in de gezondheidszorg. Sommige apothekers verkopen al pleisters met zilveren nanodeeltjes om de wonde bacterievrij houden, kunstgewrichten worden gecoat met slijtvaste nanolagen, chirurgische mesjes en hechtnaalden zijn versterkt met nanodiamanten, contrastmiddelen voor beeldvorming bevatten nanodeeltjes, stents om bloedvaten open te houden zijn bedekt met een nanolaagje geneesmiddel enzovoort.

Innovatieve nanomedische toepassingen kunnen de gezondheidszorg op fundamentele wijze veranderen. Er komen nieuwe mogelijkheden voor diagnose, behandeling en preventie van ziekte. Het ultieme doel van medische nanotechnologie is om 'gereedschappen' te ontwikkelen, waarmee we specifiek kunnen detecteren waar het misloopt in de cel om haar vervolgens, al of niet met nanotechnologische geneesmiddelen, te repareren of te genezen.

MICROGENEESKUNDE VANDAAG:

Camerapil Een kleine videocamera, verwerkt in een doorzichtige capsule, reist door de darm, maakt elke seconde twee beelden en stuurt die door naar een computer. Acht uur na het inslikken van de capsule bekijkt een arts de videofilm van de darm op zoek naar ontstekingen, poliepen of kankergezwellen. Sciencefiction? Niks van, dagelijkse realiteit, ook in Belgische ziekenhuizen.



Micro-array Glasplaatjes waarop micro- of nanodruppeltjes met genen zijn aangebracht, maken het mogelijk om in één keer de activiteit van honderden of zelfs duizenden genen in levende cellen te bestuderen. Microarrays worden vandaag in het ziekenhuis al gebruikt om de moleculaire wijzigingen in kankercellen op te sporen.



Lab-on-chip De miniaturisatie van analysetoestellen is al ver gevorderd. De minuscule laboratoria (op de foto op een drinkrietje) kunnen tal van biochemische tests uitvoeren. De toekomst is aan toestelletjes die in het lichaam worden geplaatst en fungeren als sensoren, bijvoorbeeld om het suikergehalte van diabetici te meten.



NANOGENEESKUNDE MORGEN:

Nanobodies uit de woestijn Het Belgische bedrijf Ablynx ontwikkelt behandelingen tegen reuma, chronische darmontsteking, beroerte en alzheimer, op basis van minuscule antilichamen afkomstig van kameelachtigen. Deze antilichamen zijn veel kleiner dan de antistoffen van de mens. Dankzij hun unieke structuur kunnen ze zich beter richten op therapeutische doelen die minder toegankelijk zijn voor conventionele antilichamen. Omwille van hun beperkte omvang doopte Ablynx deze eiwitfragmenten 'nanobodies'.



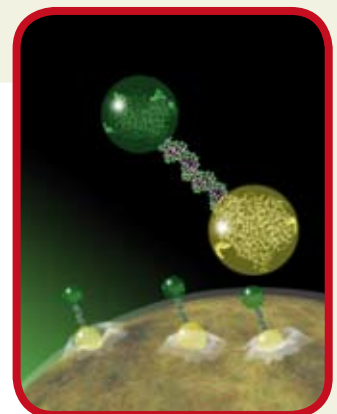
Nanobommen roosteren tumor Kleine glaspelletjes (minder dan 100 nanometer in diameter) hechten zich vast aan tumorcellen dankzij de tumorspecifieke antilichamen waaraan ze zijn gebonden. De buitenwand van de glaspelletjes is bovendien bedekt met een laagje metaal, meestal goud. Dat warmt op als men de tumor met warmtestralen uit een infraroodlaser behandelt. De gloeiende bolletjes barbecueën de tumorcellen.



Nanocapsules Medicijnen worden ingebed in holle structuren als liposomen en micellen (vetdeeltjes), dendrimeren (foto) of koolstofbuisjes. Deze transportcontainers laten slechts geleidelijk hun geneesmiddel vrij zodat het over langere periodes in constante hoeveelheden in het lichaam blijft.



Slimme pillen Nanocapsules van de tweede generatie worden uitgerust met moleculaire antennes. Wanneer die in contact komen met bepaalde structuren – bijvoorbeeld de buitenzijde van een kankercel, bacterie of virus – 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.



Niet-schurende scharnieren Een supergladde en knoetharde nanocoating wordt aangebracht op kunstgewrichten, zodat het gewricht soepeler beweegt en slijtvaster is. Skiën en voetballen met een kunstheup behoren binnenkort tot de mogelijkheden.



NANO-ELEKTRONICA

De micro-elektronica is vanzelf in de nanowereld terecht gekomen. Door steeds meer transistors op een chip te proppen, zijn die zo klein geworden dat hun lengte in nanometer wordt uitgedrukt. 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 elke 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 een dichtheid van één miljard componenten en meer.

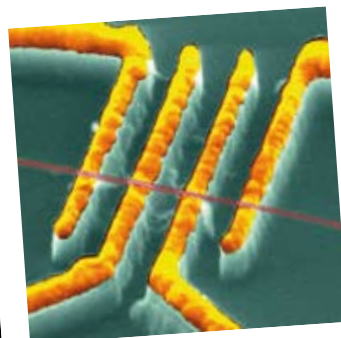
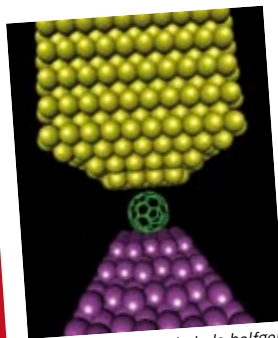
Vóór 2004 was de industriële standaard voor de grootte van een transistor nog 130 nm. In 2004 werd dat 90 nm, vandaag is dat 65 nm, in 2010 wordt met de productie van de 45 nm transistor gestart, in 2013 de 32 nm en in 2016 de 22 nm.

Detailopname van computerchip met nanotransistors'

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 ook voor gezorgd dat alledaagse elektronische producten als dvd-spelers, digitale camera's en gsm's steeds goedkoper worden, minder vermogen gebruiken en toch meer functies hebben.

Maar ooit komt er een einde aan het verkleinen van computercomponenten met de huidige technologie. Daar is ook Moore van overtuigd. Behalve door technologische moeilijkheden, worden chipbouwers ook steeds meer gehinderd door fundamentele fysische barrières. De wereld van de nano-elektronica betreedt het terrein van de kwantummechanica en daar gelden andere wetten dan in de klassieke fysica.

Tientallen universitaire onderzoekslabs, 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 in de huiscomputer van 2050 uiteindelijk het huidige silicium zullen vervangen. Sommigen zweren bij de nanobuisjescomputer waarbij alle 'bekabeling' maar ook de componenten van de transistors zijn vervangen door buizen uit koolstof, silicium of een ander materiaal. Anderen zetten zwaar in op de kwantumstipcomputer die rekent op basis van individuele elektronen, nog anderen verwachten veel van 'spintronica' of magnetische computer waarbij de 'spin' – draaibeweging – van het elektron wordt gebruikt, in plaats van de lading. In de nog verdere toekomst ziet men computers werken op basis van 'fotonen', waarbij lichtdeeltjes een alternatief zijn voor elektronen. De toekomst zal het uitwijzen.



Nanobuis of buckybal als halfgeleider.



'Was je handen, kam je haar en poets je tanden!' Binnenkort is het niet langer je moeder of vader die deze opmerkingen maakt maar de spiegel in de badkamer. De badkamerspiegel zal er overigens een reeks functies bij krijgen: je kan er 's ochtends je e-mails op lezen, de doelpunten bekijken van de Champions League-wedstrijd die je de avond voordien hebt gemist, de laatste verkeersinformatie opvragen of chatten met je vrienden. Dankzij nano-elektronica worden computers in de toekomst zo klein en handig dat de meeste gebruiksgoederen intelligentie zullen bevatten. Van de badkamerspiegel tot een paar sokken. Producten en mensen zullen voortdurend online zijn, en wereldwijd aan elkaar gekoppeld door glasvezels en draadloze communicatiesystemen.

Dit scenario is niet zo futuristisch als het eruitziet. Het is voor velen de 'normale' verdere evolutie van het internet en allerlei andere huidige communicatiesystemen. Bovenal is het een toekomstvisie die gedeeld en nagestreefd wordt door de elektronica-industrie, de computer- en de telecommunicatiesector. Xerox en Nokia spreken in dat verband over ubiquitous computing, IBM noemt deze ontwikkeling pervasive computing en Philips heeft (net als de Europese Unie) over ambient intelligence.

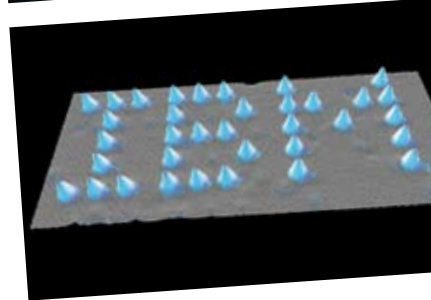
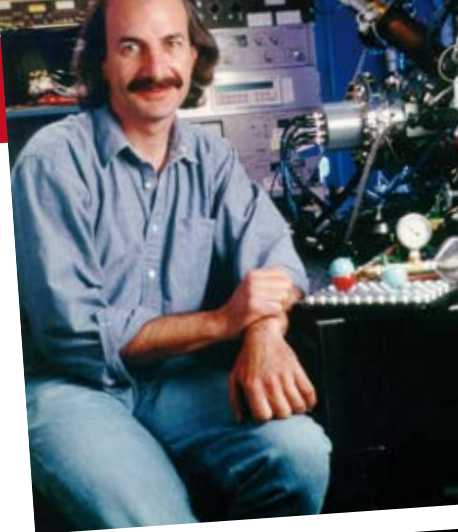


Wie het kleine niet
eert, is het grote
niet weerd.

SPEELTUIN VOOR ONDERZOEKERS

De ontwikkeling van de nanotechnologie kreeg een enorme impuls door de uitvinding van de rastertunnelmicroscop (STM van 'Scanning Tunneling Microscope'). Met deze microscoop kunnen materialen met grote gevoeligheid aan de buitenkant worden afgetaast, zodat afzonderlijke atomen zichtbaar worden aan het materiaaloppervlak. Sterker nog: het is mogelijk om één atoom op te pakken en elders weer neer te leggen. Met die krachttoer katapulteerde IBM-onderzoeker Don Eigler zich in 1989 naar de eeuwige wetenschappelijke roem. Eigler vormde met 35 xenonatomen de letters 'I' 'B' 'M'. Zijn schrijffpen was een STM-naald. Elke letter was 5 nm groot.

Het atomaire logo van Eigler bracht een heel team IBM-onderzoekers op de been. Ze bouwden onder meer een 'ijzeren arena': 48 ijzeratomen in een grote ellips op een koperen oppervlak. Normaal kunnen elektronen op een koperplaat vrij bewegen, maar nu raken ze gevangen in de brandpunten van de ellipsvormige arena. Gelijkwaardige arena's werden gebouwd in de vorm van vierkanten, driehoeken, zeshoeken en cirkels.



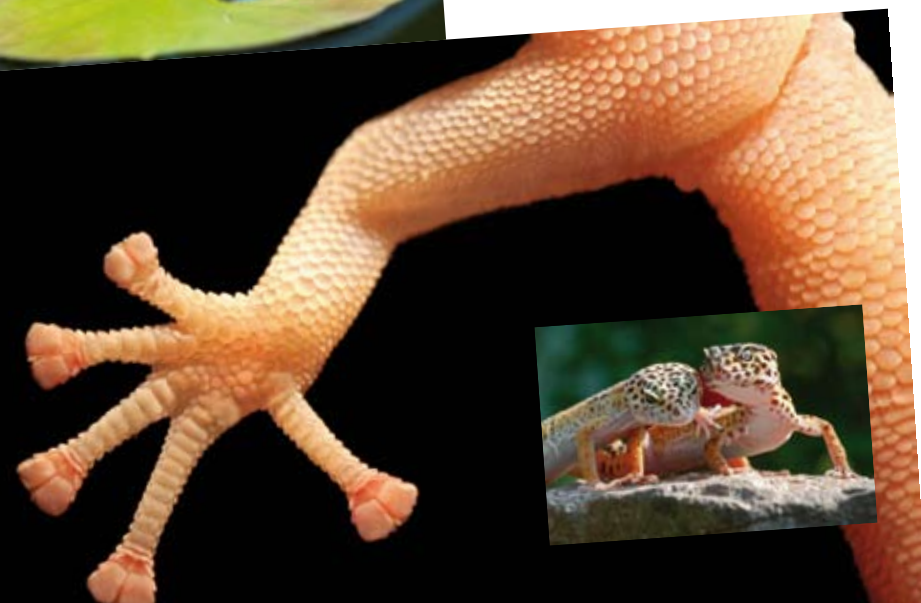
NATUURLIJK NANO

Niet alle nanowetenschappers schuiven atomen heen en weer met STM-naalden. Een groot aantal van hen heeft de blik gericht op de natuur. Logisch ook, want daar wordt al miljarden jaren geëxperimenteerd met atomen en moleculen. Die natuur is een voortdurende bron van inspiratie voor nanotechnologen en nanowetenschappers.

Neem nu een flagellum, de zweepstaart die we bij bacteriën, pantoffeldiertjes en zelfs spermacellen terugvinden. Deze propellerachtige, chemisch aangedreven, vloeistofgekoelde motor, met een draaisnelheid tot 20.000 omwentelingen per minuut, is een natte droom voor elke ingenieur die een nanomachine wil bouwen.

Water of vuil krijgen geen vat op lotusbladeren. De zelfreinigende eigenschap van plant is te danken aan de vele kleine oneffenheden op het blad. Ook andere planten als Oost-Indische kers en kool vertonen dit effect. Materiaaldeskundigen proberen bij de ontwikkeling van zelfreinigende materialen deze natuurlijke water- en vuilafstoting na te bootsen.

Een gekko kan urenlang roerloos ondersteboven hangen. Zelfs aan de meest gladde oppervlakken en desnoods aan één poot. De 'kleverige' voeten van gekko's hebben wetenschappers jarenlang voor raadsels geplaatst. Tot men in 2002 ontdekte dat het diertje aan elke voet tot een half miljoen haartjes droeg. Door de zwakke bindingskrachten - zogenaamde Van der Waalskrachten - tussen de haarpuntjes en de moleculen van het oppervlak, kan de gekko urenlang de zwaartekracht tarten. Natuurlijke nanotechnologie op zijn fijnst!



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 aardse bewoner morgen over voldoende voedsel beschikt, kanker niet meer van deze wereld is, pollutievrije energie rechtstreeks van de zon wordt afgetapt en onze PC aan een sleutelhanger past. De ervaring leert echter dat achter de beloften van elke nieuwe technologie ook onvermoede negatieve aspecten schuilgaan: milieuschade, gezondheidsproblemen, inbreuken op de privacy, versterking van sociale ongelijkheid (de 'haves' en de 'have-nots'), verschuivende machtsverhoudingen met conflicten, burgeroorlogen en vluchtelingenstromen tot gevolg, Ook met nanotechnologie zal het niet anders zijn. Nano heeft met andere woorden, naast een zonnige zijde, wel degelijk een schaduwrijke keerzijde. Sommige discussies rond nanotechnologie zijn actueel en praktisch, andere hebben betrekking op de lange termijn en zijn veeleer filosofisch en ethisch van aard.

Het nieuwe asbest?



In 2006 werd de Duitse nanowereld opgeschrikt door het bericht dat 'Magic Nano', een reinigingsspray voor toilet en badkamer, bij tientallen mensen ernstige ademhalingsproblemen had veroorzaakt. De nanodeeltjes van siliciumoxide in Magic Nano vullen de poriën in het oppervlak van toiletpot, wastafel of bad, zodat die geen vuil meer kunnen opnemen. Er werd gevreesd dat dezelfde nanodeeltjes amok maakten in de longen van de patiënten. Nanosceptici zagen het Magic Nano-incident als het eerste van een lange reeks onvermijdbare ongelukken die nanoproducten in de toekomst zullen veroorzaken. Onderzoek toonde echter al snel aan dat de nanosilicaten niet de schuldigen waren, maar wel de anticorrosievloeistof waarmee de spuitbussen waren behandeld.

Het Duitse incident toont echter aan dat we best voorzichtig zijn met nanodeeltjes, alvorens ze massaal los te laten op mens en milieu. Niet dat alle nanodeeltjes per definitie gevaarlijk zijn. Er komen er immers heel wat in de natuur voor en die vormen helemaal geen probleem voor de gezondheid van mens en milieu. Dat betekent echter nog niet dat we voortstoots kunnen aannemen dat nieuwe, door de mens gefabriceerde nanodeeltjes, eveneens onschadelijk zijn. De bezorgdheid over de impact van nanoproducten op gezondheid en milieu komt overigens niet alleen uit de hoek van milieuoorganisaties. Ook onderzoeksinstituten en expertcommissies waarschuwen dat we de mogelijke gevolgen van nanodeeltjes best goed in kaart brengen om vervolgens de mogelijke risico's te beperken. Nano mag immers niet uitgroeien tot het asbest van de 21ste eeuw.

Kleine deeltjes met 'big brother'-allure

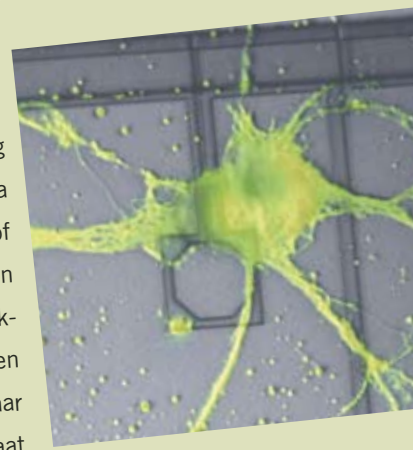
De PC wordt alsmaar kleiner en zal straks niet alleen geïntegreerd worden in gsm of PDA, maar ook in kleding, muren en ramen van gebouwen, auto's, de spiegel in de badkamer of de kredietkaart. De micro- en nano-informatietechnologie zal dan overal aanwezig zijn. Het doel van die intelligente omgeving is natuurlijk ons bij te staan in het dagelijkse leven: bijvoorbeeld om snel een plaatsje op een popconcert te reserveren, vanuit school na te gaan wat er thuis nog voor lekkers in de koelkast ligt of wereldwijd en op ieder ogenblik met wie je wil te communiceren.

Deze hypergeïnformateerde omgeving biedt echter ook uitgebreide mogelijkheden tot detectie, lokalisering en opvolging van individuen, met alle mogelijke risico's voor onze privacy. De intelligente omgeving zal immers alomtegenwoordig en onzichtbaar zijn. Ze zal veel zien en niets vergeten. Het is maar de vraag hoelang het duurt voor zo'n omgeving big brother-allures krijgt. De centrale bekommernis is dus hoe we in een slimme omgeving de privacy van individuen en groepen kunnen beschermen? Ongetwijfeld zullen daar rond nieuwe veiligheids- en privacymaatregelen moeten worden ingevoerd.



Van zenuwchip naar cyborg

Denken, zien, voelen, ruiken, bewegen ... zijn allemaal het resultaat van een complex samenspel van elektrische en chemische signalen in onze hersenen. Een van de onderzoeksdomeinen in de nanotechnologie richt zich op de ontwikkeling van elektronische zintuigen en de verweving van zenuwcellen en elektronica. De snelle ontwikkeling in dit domein - ook wel bio-elektronica genoemd - voedt spectaculaire speculaties. Bijvoorbeeld over hersenen die in (draadloos of direct) contact staan met computersystemen of het internet of elektromechanische ledematen of zintuigen die vele malen beter presteren dan degene waarmee we geboren zijn. De bio-elektronica zet zonder twijfel de filosofische en maatschappelijke discussie over de relatie tussen mens en machine op scherp. Zij roept zijnsvragen op als: wat is het om een mens te zijn, maar ook machtsvragen als: waar, hoe en door wie wordt bepaald hoe de toekomstige mens eruit gaat zien.



Ongelijk verdeeld

Niet iedereen zal de vruchten van de nanowetenschap en nanotechnologie plukken. Sommigen zullen er ontzettend rijk door worden, anderen zullen er nauwelijks toegang toe krijgen. Mogelijk doet nanotechnologie de kloof tussen rijk en arm nog toenemen, doordat een beperkte groep mensen, gemeenschappen of landen met deze technologie een competitief economisch voordeel verwerven en anderen ervan verstoken blijven. Het valt evenmin uit te sluiten dat nanotechnologie de huidige wereldorde ondersteboven gooit en landen, die vandaag weinig betekenen op wereldvlak, morgen (economische) supermachten worden.



Nieuwe koude 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 beschermen tegen kogelinslag, nanosensoren op het lichaam houden hartslag en bloeddruk in de gaten. Maar nanotechnologie zal ook worden ingezet bij het superpenetrerend maken van kogels en bommen, het ontwerpen van militaire robots, microsensoren die gegevens verzamelen achter vijandelijke linies ('smart dust') of de ontwikkeling van chemische of biologische wapens. 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 een militaire suprematie te verwerven of te behouden.



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' (1986) introduceert de Amerikaan Eric Drexler de 'assembler'. Een ultrakleine robot - of 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, ongecontroleerd en zonder weerstand zichzelf kunnen repliceren. De roman 'Prey' (2002) van Michael Crichton neemt dit thema over. De auteur beschrijft er een ongeval waarbij zelfreplicerende nanobots ontsnappen en alle materie omzetten in 'grijze blubber' (Grey Goo).

Door nanowetenschappers worden deze denkbeelden doorgaans afgedaan als 'brokjes materiaal uit leerboeken, vastgeplakt 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 dankbaar discussiethema.

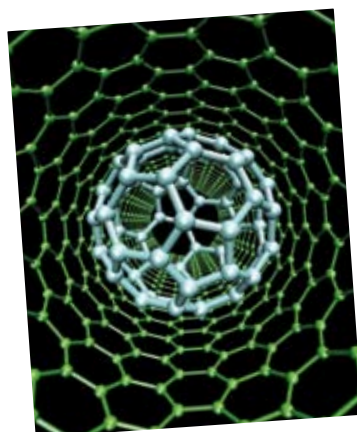
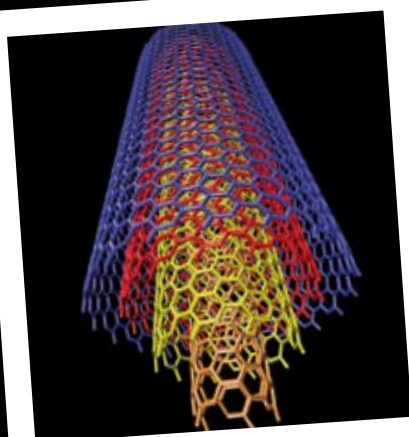
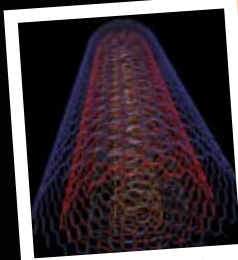


Regulatie en controle

Nieuwe technologie brengt nieuwe mogelijkheden met zich mee, maar ook nieuwe moeilijkheden. Om die problemen te voorkomen, stelt zich de vraag naar regulatie. Zijn de bestaande mechanismen voor regelgeving en controle voldoende aangepast aan de problemen die nanotechnologie met zich mee kan brengen? Het is helemaal niet uitgesloten dat nanotechnologie zich verder ontwikkelt buiten een aangepast regelgevend kader, omdat de overheid een te afwachtende houding aanneemt. Daardoor kunnen ernstige ongelukken plaatsvinden. Aan de andere kant kan een overregulerende overheid verstikkend werken op de innovatie die uitgaat van een zich ontwikkelende technologie.

Onbekend maakt onbemind

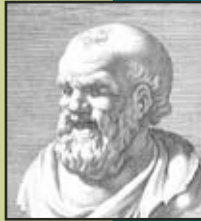
Net als bij de meeste nieuwe technologieën is het grote publiek ook tegenover nanowetenschap en nanotechnologie in de beginfase nog onwetend en ongeïnteresseerd. Dat houdt een gevaar in want in het onbekende zit ook het onbemide. Gebrek aan inzicht in de ontwikkelingsmogelijkheden en de mogelijke ongewenste toepassingen kunnen onrust veroorzaken. Die geuite zorgen en onrust zijn lang niet altijd reëel. Het ontstaan van angst of bezorgdheid vormt een indicatie dat uitleg en participatie nodig is over de inhoud van ontwikkelingen in het onderzoek. Ook de Europese Commissie meent dat de nanotechnologische vernieuwingen, zonder serieuze poging tot maatschappelijk debat, een hoger risico lopen op een negatieve ontvangst. Een dialoog die rekening houdt met de opvattingen van het publiek is dan ook onmisbaar.



DE GESCHIEDENIS VAN NANOTECHNOLOGIE

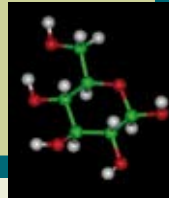
400 VOOR CHRISTUS

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 veld-ionmicroscop, het toestel dat vier jaar eerder door hem was uitgevonden.

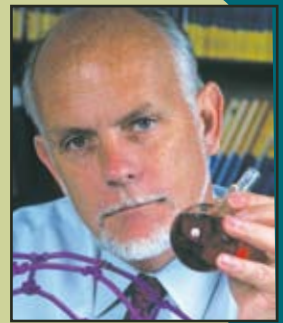
1986

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.



1985

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



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

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

2005

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



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.

2004

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

Bronvermelding illustraties:

Cover: groene nanobuizen en buckyballen A. Rochefort, Nano@polyMTL; inzetten: quantum corral IBM-Almaden Lab, gekko's iStockphoto, intelligente spiegel Philips, chip wafer IBM-Almaden Lab

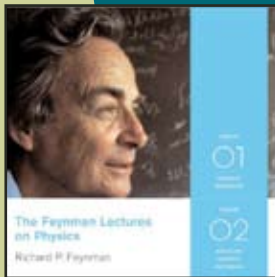
Pagina 3: (links boven) terbium op tungsteen René Pascal beugungsbild.de, (links midden) Nasa, (rechts boven) C. Dekker, Kavli Institute Nanoscience, Delft, (onder) quantum mirage IBM-Almaden Lab

Pagina 4 en 5: Einstein wikipedia, tennisballen, rode bloedcellen en bloedprik iStockphoto, maan Nasa, chip wafer IBM-Almaden Lab

Pagina 6 en 7: graffiti Alex Rando, vrouw op kussen (2), rode zetel (4), glaswand (5) iStockphoto, aerogel (3) Nasa, parfumbolletje (4) Bayer, impala en auto (7) General motors, tennisracket en -ballen (8) Wilson, Termofuse-printplaat (9) en kleurpigmenten (10) Agfa Graphics.

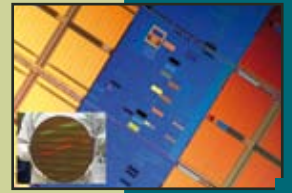
1959

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 officieuze begin van de nanowetenschap en nanotechnologie.



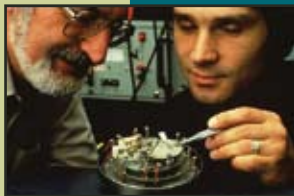
1965

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'.



1981

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



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.

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.

1998

De onderzoeksgroep van Cees Dekker uit Delft ontwerpt de eerste transistor die is opgebouwd uit koolstofnanobuizen.



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.



2002

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



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.



2000

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





een *grote*
STAP

voor de lezende mens

Wat u hier ziet is niet de maan, wel een van onze 'nanodesigned' drukplaten onder de microscoop. Die drukplaten zijn niet alleen high-tech, maar ook milieuvriendelijk. Ze vereisen immers geen chemische ontwikkeling voor ze op de drukpers kunnen gebruikt worden. Daardoor bespaart de drukker enorm op energie en produceert hij bijna geen afval meer.

Ook in de nieuwste kleurinkten voor industriële inkjetprinters heeft Agfa Graphics een flinke scheut design op 'nanoschaal' verwerkt, met kleurpigmenten die uit nanokristallen bestaan. Deze inkten zorgen voor sterker verzadigde kleuren, en zijn bovendien goed voor het milieu: omdat ze gedroogd worden met UV-licht, komen er bij de productie geen schadelijke solventen vrij.

Agfa Graphics, met hoofdzetel in Mortsel bij Antwerpen, is de wereldwijde marktleider op het gebied van drukwerkvoorbereiding. Drukkerijen kunnen bij ons terecht voor elke schakel in het proces van ontwerp tot afgewerkt drukwerk: van verbruiksgoederen en apparatuur tot de softwaresystemen die het hele drukproces automatiseren. Daarnaast produceren we ook hoogtechnologische industriële inkjetprinters en -inkten voor toepassingen zoals billboards, verpakkingen en decoratie.

Stay Ahead. With Agfa Graphics.

AGFA 