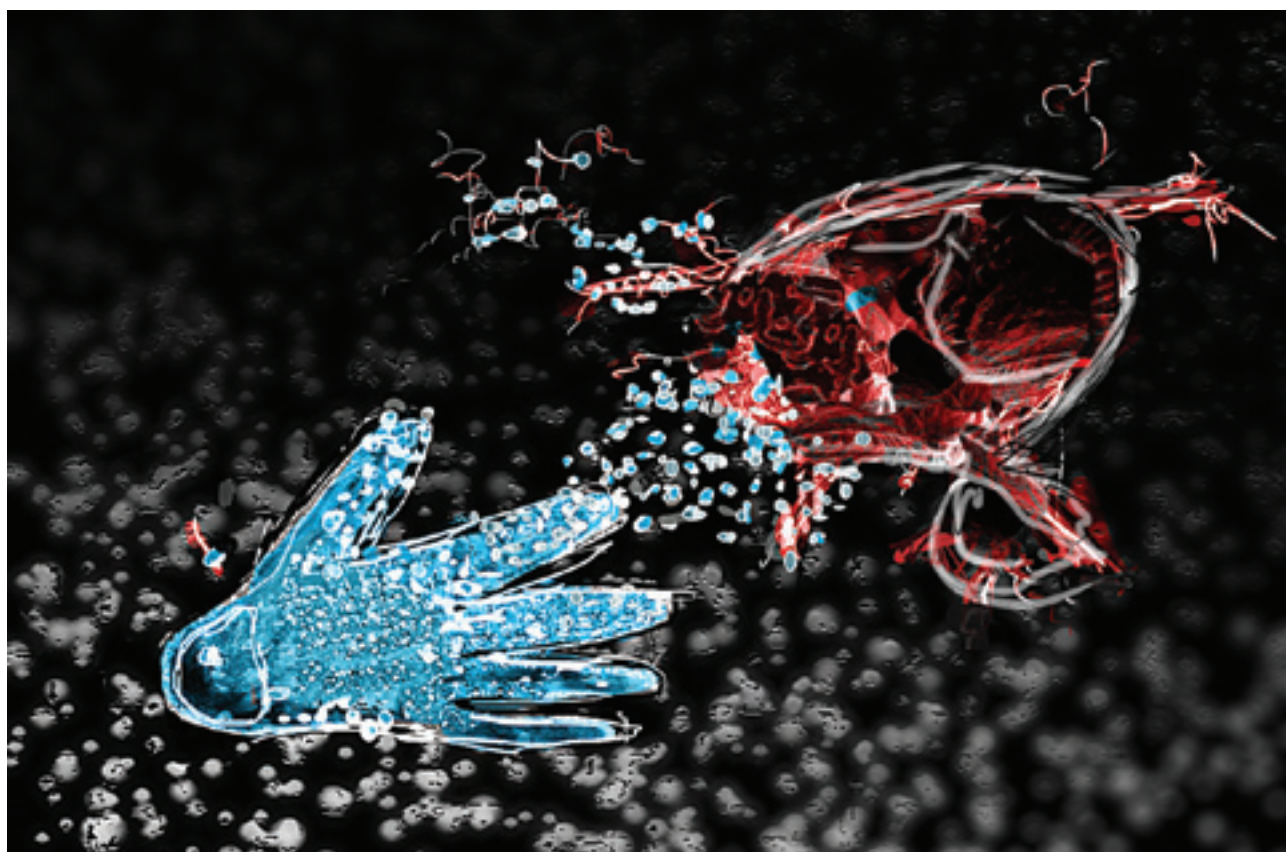


Grote kansen voor kleine deeltjes

Mr. drs. C. Homan

De technologie waarmee op het niveau van atomen en moleculen, materialen aangepast of gemaakt kunnen worden, biedt revolutionaire mogelijkheden. Ook in de defensiegemeenschap is de potentie van deze nanotechnologie onderkend.



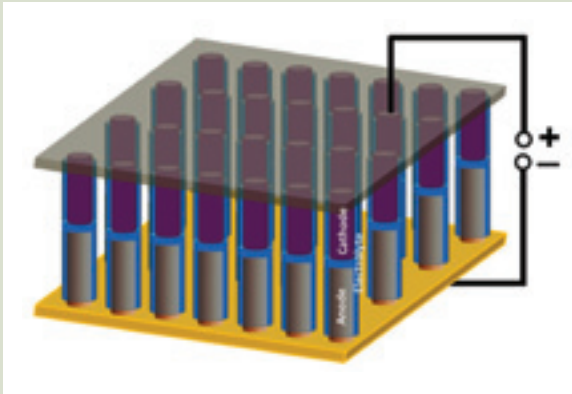
De blauwe nanobot valt de rode kankercel aan

“Hijgend staat de soldaat achter het half afgebrokkelde muurtje in het stadscentrum. Hij kijkt naar de kogelgaten in de wanden om hem heen, dan op het *display* van zijn horloge: hartslag 144, bloeddruk 130/70, hemoglobine 0,32 procent, geen gevaarlijke gassen in de buurt. Hij drukt op een van de knopjes naast het scherm; hartslag omlaag; tot rust komen nu. Millimeters kleine spionnen hebben dit terrein goed verkend en enkele tientallen meters boven hem hangt een onbemand vliegtuigje dat de omgeving nauwgezet in de gaten houdt. Heel voorzichtig voelt hij met zijn lin-

kerhand in de tas op zijn rug: zijn *genetic bomb*, alleen gevaarlijk voor mensen met het DNA van de vijand, zit nog op de goede plek...”

Zo begint een artikel over nanotechnologie van wetenschapsjournalist Jop de Vrieze in het populairwetenschappelijke tijdschrift *KIJK* van het afgelopen najaar. Of dit een realistische schets is van het toekomstige slagveld, is de vraag. Maar niet ontkend kan worden dat nanotechnologie een belangrijke rol zal gaan spelen in de toekomstige oorlogvoering.

Zo signaleert het eindrapport *Verkenningen – Houvast voor*

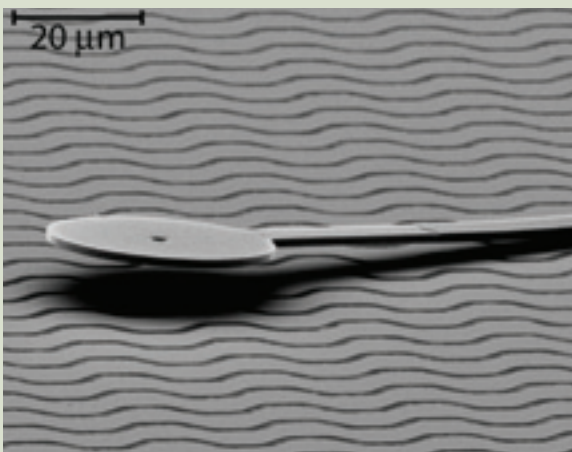


Onderzoekers van de Rice Universiteit bouwden een oplaadbare batterij in een nanodraad van 150 nanometer.



De rode nanomotor verplaatst door temperatuurverschillen langs de gele nanodraad en neemt de grijze vracht mee.

Bron: Universiteit van Barcelona en het Catalaanse Instituut voor Nanotechnologie.



Een nanorobot. Bron: Dartmouth College.

de krijgsmacht van de toekomst, onder meer dat er aanwijzingen zijn dat zich de komende decennia een nieuwe, revolutionaire doorbraak aftekent door de convergentie van innovatieve ontwikkelingen op het gebied van biotechnologie, informatietechnologie, nanotechnologie en cognitieve wetenschappen. Door deze integratie van de bètawetenschappen met verworvenheden uit alfa/gamma gerichte vakgebieden, komen nieuwe militaire toepassingsmogelijkheden binnen bereik, aldus de studie.

Nanotechnologie kan dus veel voor ons gaan betekenen op gebieden als duurzaamheid (betere verpakkingen, zuinige batterijen), gezondheidszorg (vroeg diagnose, nieuwe behandelmethoden voor kanker), energievoorziening (efficiënte zonnepanelen), materialen (krasvaste lak, vuilwerend textiel) en communicatie (zeer kleine en snelle computers, telefoons en camera's).

Moleculen en atomen

De meeste mensen weten dat het bij nanotechnologie (NT) gaat om 'heel kleine dingen'.

Nano komt van het Griekse woord 'nanos', wat dwerg betekent. Een nanometer is een miljardste van een meter. Een menselijke haar is niet minder dan 80.000 nanometer dik. Een rode bloedcel is 7000 nanometer groot. En onze vingernagels groeien per minuut vijf tot tien nanometer.

Maar er bestaat nog geen eenduidige, algemeen gebruikte definitie van nanotechnologie. Wel zijn er gemeenschappelijke elementen te onderkennen. NT maakt het mogelijk te werken op de allerkleinste schaal, die van moleculen en atomen. Verder gaat het bij NT om onderzoek en ontwikkeling van nieuwe materialen en componenten die toegepast kunnen worden in verschillende producten met nieuwe eigenschappen.

Nanomaterialen en nanoapparaatjes kunnen bijna overal toegepast worden: van chemotherapie met minder bijwerkingen via zonnecellen naar textiel en voeding.

Dankzij NT kunnen we inzicht krijgen in de bouwstenen van alle levende en dode materie. Vervolgens kunnen we die bouwstenen aanpassen en kunnen we ermee gaan bouwen. NT staat dan ook bekend als een doorbraaktechnologie.

Het is een technologie die als een *enabler* van alles mogelijk maakt en die voor net zulke revolutionaire veranderingen gaat zorgen als de Informatie en Communicatie Technologie (ICT) dat deed.

NT maakt het ook mogelijk om kennis en kunde te combineren. NT gaat namelijk voorbij aan de grenzen van de huidige, wetenschappelijke vakgebieden en convergeert (versmelt) met biotechnologie, informatietechnologie en de cognitieve (hersenen-)wetenschappen. Dit heet ook wel NIBC-convergentie.

Groeiende schaal

Miniaturisatie op het terrein van chips, mogelijk gemaakt door NT, biedt uitzicht op een breed scala van toepassingen zoals de verkleining van pacemakers, de productie van bio-nische ogen en behandeling van dwarslaesie. President Clinton verklaarde al in 2000, dat in de toekomst de gehele bibliotheek van het Congres op een *memory stick* ter grootte van een suikerklontje kan worden opgeslagen.

NT wordt op steeds grotere schaal toegepast. Een aantal zonnebrandmiddelen is uitgerust met nanopartikels. Ook bij het maken van platte beeldschermen speelt nanotechnologie in toenemende mate een rol. Maar de auto-industrie is op dit gebied de belangrijkste voortrekker. Zo zijn er toepassingen

in katalysatoren, in *coatings*, in rubberbanden en in *airbag*-sensoren. Volgens het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) was er in 2010 sprake van niet minder dan 858 consumentenproducten die nanodeeltjes bevatten. Sinds 2000 is er wereldwijd sprake van sterke intensivering van de overheidsinvesteringen in onderzoek naar NT. Het 'Actieplan Nanotechnologie' van ons kabinet uit 2008 wil deze technologie gebruiken voor gezondheid, voeding en schoon water.

Moleculaire nanotechnologie

Een bijzondere vorm is moleculaire NT, waarvan de haalbaarheid echter door vele wetenschappers wordt betwijfeld. Moleculaire NT betreft de ontwikkeling van apparaten, genaamd *assemblers*. Deze kunnen worden gezien als een assemblagerobot ter grootte van een virus. Het Amerikaanse *Foresight Institute* voorziet op het gebied van moleculaire NT de opkomst van goedkope nanobots (zelfreproducerende robots ter grootte van een bacterie) voor medisch gebruik. Deze nanobots zouden virussen en kankercellen kapot maken, kapotte weefsels repareren en opgehoopte gifstoffen uit de hersenen kunnen verwijderen. Maar naast allerlei 'optimistische' toekomstbeelden met ongekende technologische mogelijkheden, worden ook doemscenario's geschetst. In zijn boek *Prey* schetst Michael Chrichton, de auteur van *Jurassic Park*, de ontsnapping van een zwerm zichzelf voortplantende nanobots uit een defensielaboratorium in de Verenigde Staten. Deze nanobots zijn geprogrammeerd om hun prooi te vernietigen: mensen.

Militaire nanotechnologie

Terwijl het onderzoek naar NT zich in de meeste landen beperkt tot civiele toepassingen, zien militaire strategen in de Verenigde Staten NT als de speerpunttechnologie voor de 21e eeuw als middel om hun militaire overwicht te behouden. In de Verenigde Staten is meer dan 25% van het onderzoek op het gebied van NT aan defensie gerelateerd.

Met NT kunnen traditionele militaire systemen worden verbeterd maar kunnen vooral nieuwe systemen worden ontwikkeld. Zo biedt NT mogelijkheden om te komen tot veel kleinere en tegelijkertijd veel snellere, minder energie verbruikende elektronica en computers. Zulke systemen – aangevuld met nieuwe vormen van kunstmatige intelligentie – kunnen zelfs ingebracht worden in geweren, brillen, uniformen, robots en munitie. Met lichtere, sterkere en meer hittebestendige materialen, zullen conventionele land-, water- en luchtvoertuigen een grotere snelheid kunnen ontwikkelen en tevens wendbaarder zijn. Voor (militair) gebruik in de ruimte zal NT mogelijkheden bieden voor veel kleinere satellieten, samen met kleinere lanceerinstallaties.

Toenemend complexe en meer discriminerende sensoren kunnen erg klein en zo goedkoop worden, dat ze in grote aantallen een gebied kunnen verzadigen, met *total awareness* tot gevolg.

Kanonnen zullen verder gaan schieten en projectielen en raketten met goedkope geleidesystemen zullen kleiner worden en preciezer.

De opslag van energie vormt een essentieel probleem voor veel militaire systemen. NT wordt vaak beschouwd als middel

om dit probleem op te lossen.

Complexe gevechtrobots, de opvolgers van de hedendaagse *killer drones* die de Amerikanen onder meer boven Afghanistan en Pakistan inzetten, zullen mogelijk worden door geavanceerde computers, slimme materialen, geavanceerde voortstuwingssystemen en andere op NT gebaseerde verbeteringen.

Robotica zal gebruikt worden in logistiek, productie en automatisering van complexe wapensystemen. Belangrijke *enabler* van robotcattoepassingen zullen geavanceerde computers zijn die situaties kunnen beoordelen en acties kunnen plannen. Daarbij kan gedacht worden aan het plannen van het tempo dat nodig is om behendige, op afstand opererende manipulators te coördineren of te manoeuvreren door de *battle space*.

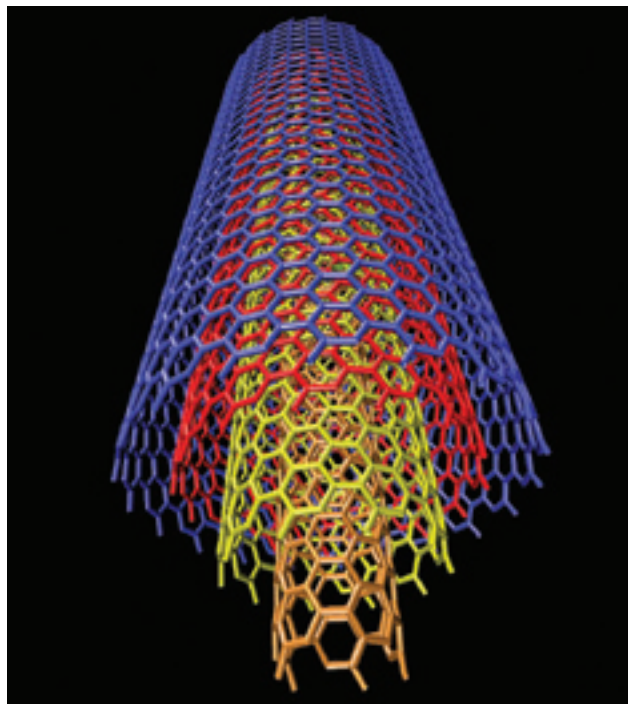
De individuele militair

Het Amerikaanse onderzoek op het gebied van militaire NT richt zich ook op de bescherming en overlevingskansen van de militair. De Amerikaanse landmacht

heeft geld toegekend aan het prestigieuze *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) voor het daarbij ondergebrachte *Institute for Soldier Nanotechnology* (ISN). Ook de industrie draagt geld bij aan het ISN. Dit instituut telt ongeveer 150 medewerkers die fundamenteel en toegepast onderzoek verrichten. Het ISN wil met een groot aantal NT-projecten de veiligheid, prestaties en overlevingskansen van infanteriesoldaten verhogen.

Zo moet het gewicht van de bepakking van een soldaat worden teruggebracht van ongeveer negentig tot ongeveer veertig pond.

Nanotechnologie als de speerpunttechnologie voor de 21e eeuw



Nanobuisjes kennen vele toepassingen vanwege hun eigenschappen zoals grote sterkte, goede geleiding (of semigeleiding) en hittebestendigheid

... de veiligheid, prestaties en overlevingskansen van infanteriesoldaten verhogen.

Met miljoenen ingebouwde nanomotortjes zou de nieuwe militaire kleding ook de spierkracht van militairen kunnen vergroten, zodat ze in staat zijn een gewicht van 150 kg op te tillen.

Het lichtgewicht militair pak dat ontwikkeld wordt, moet bescherming bieden tegen kogels en drukgolven van ontplofende bommen.

Ook moet het mogelijk worden voor de militair zijn camouflage snel aan een veranderende omgeving aan te passen. Het wordt zelfs niet uitgesloten dat de militair zijn signatuur zodanig kan manipuleren, dat hij onzichtbaar wordt in het veld. In de militaire kleding ingebouwde sensoren moeten de commandant in staat stellen niet alleen de locatie van de militair maar ook zijn fysieke conditie vast te stellen.

Weer een ander project voorziet bij ziekte van de militair in het afscheiden van de juiste medicijnen en het gebruik van nieuwe materialen om wonden te dichten. Mocht de militair een been of arm breken, dan veranderen de textielvezels plaatselijk van structuur en vormen ze een spalk. Bij een bloeding trekken ze samen tot een soort tourniquet.

Daarnaast zal radioverbindingmateriaal in het uniform worden verweven, waarbij de noodzakelijke energie voor communicatie kan worden voortgebracht door normale lichaamsbewegingen.

Bovendien moet de toepassing van NT in de militaire kleding het mogelijk maken dat bij een chemische of biologische aanval onmiddellijk de juiste antistof in de bloedsomloop worden gespoten.

Autonome wapens

Militaire NT maakt het ook mogelijk dat kleine, onbemande systemen tegen betrekkelijke lage kosten dezelfde prestaties kunnen leveren waartoe nu alleen grote, dure systemen in staat zijn. Als gevolg hiervan zullen autonome (geheel zelfstandig opererende) wapens die op weg zijn naar hun doel,



Een team van het Institute for Soldier Nanotechnology onderzocht met 'nanotechnieken' het 'schild' van een al vele miljoenen jaren bestaande vissoort, om daaruit lessen te trekken voor persoonlijke bescherming van soldaten.

over gedetailleerde kennis kunnen beschikken van het traject dat zij moeten afleggen. Zij zullen tevens over het vermogen beschikken om zich aan te passen aan weersveranderingen en ook in staat zijn om dreigingen die tegen hen gericht zijn, tijdig te onderkennen en te weerstaan.

Autonome mini- en microbots kunnen in beginsel tot ver beneden 0,1 mm. geproduceerd worden. Deze robots kunnen zich op de grond, op zee en in de lucht verplaatsen.

Mini- en microrobots kunnen voor velerlei doeleinden worden ontworpen, zoals voor verkenning, communicatie en doelaanduiding voor grote wapens en als zelfstandig wapensysteem.

De Amerikaanse politiek militaire strateeg Thomas K. Adams sluit niet uit dat in de toekomst de tactische oorlogvoering het domein wordt voor machines. De mens behoudt dan controle op het hoogste niveau en neemt de strategische beslissingen over *waar* en *hoe* moet worden toegeslagen.

Kanttekeningen

Militaire NT kan voor de huidige wapenbeheersingsverdragen problemen gaan opleveren. Zo kan het Biologisch Wapenverdrag ondermijnd worden door nieuwe middelen die gebaseerd zijn op nieuwe toepassingen van NT in de biotechnologie. Ook kan NT nieuwe wapensystemen mogelijk maken die niet vallen onder een wapenbeheersingsverdrag. Mini- en microrobots kunnen destabiliserend werken op de betrekkingen tussen elkaar minder welgezinde landen. Indien mini- en microrobots voordat vijandelijkheden beginnen naar het grondgebied van de opponent worden gezonden om op commando toe te slaan, verhoogt dit de onzekerheid en nervositeit. Ook moet gevreesd worden voor nieuwe wapenwedlopen op alle gebieden van militaire NT. Verder valt de proliferatie naar andere landen onder meer door overdracht van technologieën, materiaal en kennis, niet te vermijden.

Ten slotte is de vraag of nanomaterialen schadelijk zijn voor mens of milieu. Wetenschappers, beleidsmakers en politici worstelen met het dilemma dat nanomaterialen prachtige kansen bieden, maar dat de risico's nog grotendeels onbekend zijn. Vooral de verspreiding van losse, kunstmatig gemaakte en niet afbreekbare nanodeeltjes zou een risico kunnen vormen voor mens en het milieu. Critici associëren NT met risico's van eenzelfde kaliber als die van genetische manipulatie en kernenergie. Het grootste potentiële gevaar zit volgens hen in de toxicologie. Zij vragen zich af wat er gebeurt als nanobolletjes, nanobuisjes of andere kleine deeltjes uit de fabriek wegwaaien of via het afval op de schroothoop terecht komen. Stel dat ze in water, lucht of bodem terecht komen. Leveren ze dan gevaar op voor mensen, dieren en planten?

De risico's zijn echter moeilijk te meten en kunnen per toepassing sterk verschillen. Maar het uitzoeken van alle mogelijke risico's en het onderzoeken welke maatregelen daar tegen genomen moeten worden, gaat nog vele jaren duren. Onder wetenschappers en milieuactivisten is dan ook een flink debat gaande over de vraag hoe de veiligheid van nanomaterialen en nanoprodukten kan worden gewaarborgd. Een debat dat uiteraard ook voor de militair van groot belang is. <