

ONDERZOEK

Onderzoek op de

TU/e groot in het kleine

vierkante nanometer

Het is verleidelijk nanotechnologie te zien als een verlengstuk van de precisietechnologie, als een soort super-precisietechnologie dus. Maar niets is minder waar. Nanotechnologie heeft zijn wortels in de natuurkunde, precisietechnologie is via de fijnmechanische techniek ontstaan vanuit de klassieke werktuigbouwkunde. Volgens prof.dr.ir. Wim de Jonge van de Technische Universiteit Eindhoven is nanotechnologie te beschouwen als een 'bottom up'-discipline, die probeert iets nuttigs voort te brengen vanuit de kleinste deeltjes. Precisietechnologie is daarentegen een 'top down'-discipline, die vanuit de zichtbare werkelijkheid afdaalt naar steeds kleinere details. Zullen nanotechnologie en precisietechnologie naar elkaar toe groeien en elkaar uiteindelijk ontmoeten? Volgens Wim de Jonge wel, al weet niemand wanneer, waar en hoe.

• *Gertjan Harberink, Frans Zuurveen* •

Al zijn nanotechnologie en precisietechnologie dan geheel verschillende vakgebieden, zeker is wel dat nanotechnologie onbestaanbaar is zonder precisietechnologie. Dat blijkt wel heel duidelijk uit de serie foto's bij dit artikel¹, dat tot stand is gekomen dankzij de welwillende medewerking van de redactie van *Matrix*, de fraai verzorgde kwartaaluitgave van het communicatiecentrum van de TU Eindhoven.²

Klein vereist groot

De foto's tonen een gigantisch apparaat met de naam EUFORAC in het gebouw van de faculteit Technische Natuurkunde. Het woord EUFORAC is zo ongeveer

gevormd uit de beginletters van 'Eindhoven University film deposition facility for research, analysis and characterization'. Die laboratoriumopstelling is niet alleen in staat atomaire lagen op nanometerniveau aan te brengen, maar kan die lagen ook – zoals de naam zegt – bijna gelijktijdig onderzoeken, analyseren en karakteriseren.

Op de foto's zijn prof. Wim de Jonge (met baard) en dr. Jürgen Kohlhepp - de operator van de opstelling – prominent aanwezig. Daardoor komen ook de afmetingen van het veelzijdige apparaat goed tot hun recht, waarbij – net als bij de wafersteppers van ASML - duidelijk wordt dat naarmate de details kleiner worden, de apparatuur groeit.

In de EUFORAC-opstelling heerst een ultrahog vacuüm van 10^{-11} Torr (ongeveer 10^{-9} Pa). Oorspronkelijk bestond het apparaat alleen uit een MBE-opstelling, die aan het eind van de jaren tachtig werd ontworpen en gemaakt in het kader van een Europees project, waarin de TU/e samenwerkte met Philips Research, Thomson en Siemens. Daarmee kunnen zeer dunne lagen (MBE: Molecular Beam Epitaxy) epitaxiaal worden aangebracht. Epitaxiaal wil zeggen dat de lagen groeien volgens de kristalorientatie van het onderliggende monokristallijne substraat.

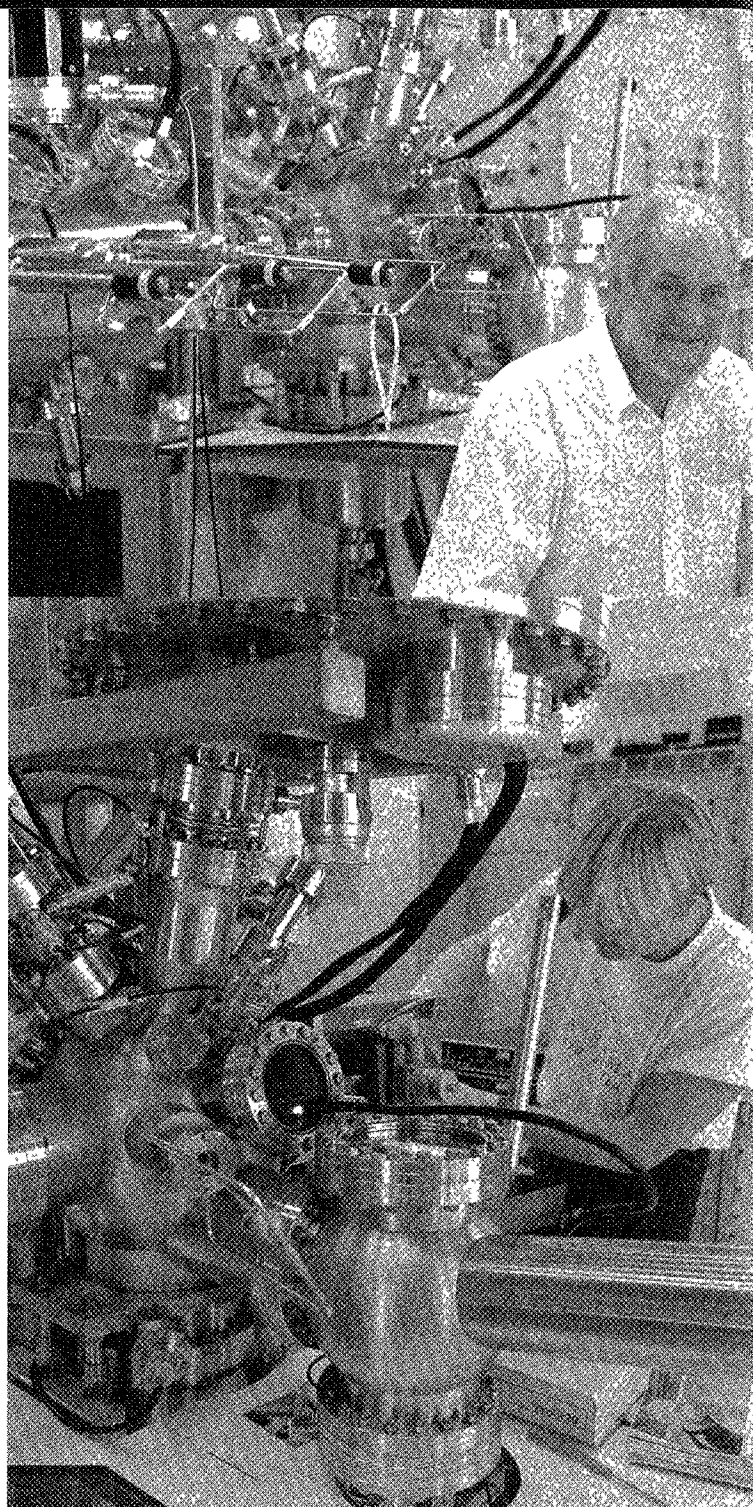
Later is aan de opstelling een magnetron-sputterapparaat gebouwd, waarmee eveneens dunne lagen kunnen worden gevormd. (MBE is een langzaam, laboratoriumachtig en dus duur proces, sputteren gaat daarentegen veel sneller en wordt daarom veelvuldig op industriële schaal toegepast.) Vervolgens zijn ook instrumenten aan de opstelling toegevoegd voor het onderzoeken, analyseren en karakteriseren van de opgebrachte lagen, zoals een STM: 'Scanning Tunneling Microscope'.

Sterke precisietechnologische staaltjes

Het zal duidelijk zijn dat EUFORAC niet alleen vanuit vacuümtechnisch maar ook vanuit precisietechnologisch oogpunt een sterk staaltje is. De preparaten moeten namelijk onder vacuümcondities uiterst nauwkeurig worden getransporteerd naar de diverse posities in de opstelling voor het aanbrengen en onderzoeken van de lagen. Daarvoor is door de Gemeenschappelijke Technische Dienst van de TU/e (onder leiding van de onlangs op kinematisch construeren gepromoveerde dr.ir. Peter Brinkgreve) een rail-transportstelsel ontworpen en gemaakt. Uiteraard zijn daarin materialen en smeermiddelen vermeden die het schone en ultrahoge vacuüm zouden kunnen contamineren.

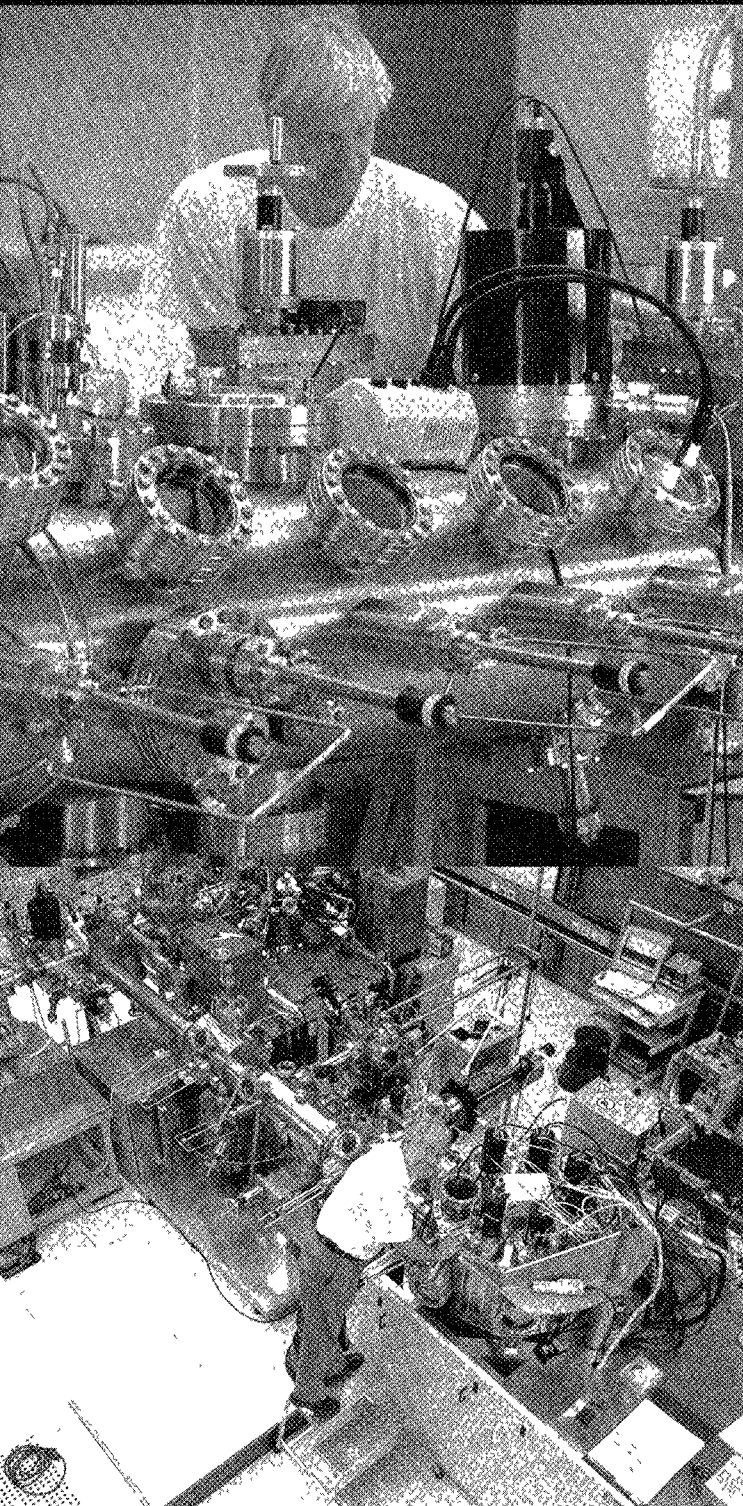
Het unieke van EUFORAC is dus dat lagen - zonder dat ze aan de atmosfeer moeten worden blootgesteld - vrijwel onmiddellijk na hun ontstaan kunnen worden onderzocht en geanalyseerd. Bijzonder is ook dat EUFORAC niet alleen anorganische lagen aanbrengt en analyseert, maar ook organische.

Al met al biedt EUFORAC faciliteiten om van allerlei soorten deeltjes - van de kleinste atomen tot de grootste macromoleculen - de bruikbare eigenschappen op te sporen. Door daarna individuele deeltjes te manipuleren - oppakken, draaien, verplaatsen en op de gewenste plaats neerleggen - zouden die eigenschappen uiteinde-



lijk kunnen resulteren in nieuwe technische toepassingen. Dat is voor een deel nog verre toekomstmuziek, maar voor een deel al in het zicht komende realiteit.

Een voorbeeld van zo'n nieuw technisch toepassingsgebied is de zogenaamde 'spintronics', een soort 'andere elektronica' waarin niet van de lading van elektronen gebruik wordt gemaakt, maar van hun spin, dat wil zeggen hun intrinsieke impulsmoment. Daarmee zijn wel-



licht nog kleinere en krachtigere schakelingen te realiseren dan met de 'klassieke' elektronica.

De TU/e aan het woord

Voor een overzicht van de TU/e-activiteiten op het gebied van nanotechnologie, en de visie en ideeën van prof. Wim de Jonge over zijn vakgebied Fysica van Nanostructuren, volgt hier de bijna integrale tekst van het reeds genoemde artikel in *Matrix*:

«De term nanotechnologie is een benaming voor wetenschap en technologie die zich bezighoudt met wat je de nanowerld zou kunnen noemen. Het is een wereld bevolkt door atomen en moleculen, de bouwstenen van het leven en de wereld om ons heen. Eén nanometer (nm) is onwaarschijnlijk klein. De meeteenheid staat voor één miljoenste millimeter.

TU/e-hoogleraar dr.ir. Wim de Jonge, decaan van de faculteit Technische Natuurkunde en groepsleider van de facultaire onderzoeksgroep Fysica van Nanostructuren, presenteerde begin dit jaar het rapport 'Nano-Science and Technology @ TU/e'. Het behelst een inventarisatie en een uitvoerige beschrijving van alle plekken op de TU/e waar nanotechnologie wordt bedreven. Vorig jaar nog ontving De Jonge samen met dr. Reinder Coehoorn de prestigieuze Gilles Holst Prijs voor hun onderzoek naar elektrische geleiding in gelaagde magnetische nanostructuren.

Puristen

De Jonge over zijn inventarisatiewerk: "Binnen de universiteit en de faculteiten zijn we doorlopend op zoek naar nieuwe, uitdagende onderzoeksterreinen. In dat kader vonden we het binnen het Bestuurlijk Overleg verstandig om eens op een rijtje te krijgen wat we in Eindhoven op het gebied van nanotechnologie deden. In eerste instantie leek het erop dat we te maken hadden met een activiteit die binnen de TU/e maar in geringe mate ontwikkeld was. Niets is echter minder waar."

Wat is nanotechnologie volgens De Jonge? "De puristen onder ons noemen het 'shaping the world atom by atom'. Zij spreken pas over nanotechnologie als je de individuele moleculen en atomen kunt adresseren en manipuleren. Je moet ze bij wijze van spreken kunnen beetpakken, omdraaien en tegen elkaar aandrukken."

Dat is voor de natuurkundedecaan een iets te krappe definitie. "Nanotechnologie beoogt op moleculair en atomaire niveau materialen op te bouwen. Je engineerst bewust de structuren, de materialen, verschijnselen en systemen die je nodig hebt. Als je het als vakgebied wilt definiëren is het van belang om de samenhang te zien. De kennis, de multidisciplinariteit, de zeer verfijnde apparatuur en technologie, al dat soort dingen samen maken een vakgebied. Dat is dus veel meer dan alleen een molecuul omdraaien."

Assembleren

Tegenover de opvatting van de puristen die structuren atoom voor atoom op willen bouwen, staat het idee dat

structuren zichzelf ook heel goed kunnen rangschikken. Daarbij wordt goed gekeken naar de biologie, waar cellen zichzelf groeperen en ontwikkelen. Ze assembleren zichzelf tot iets nieuws. Aan de ontwikkeling van cellen naar leven zitten nanotechnologische aspecten.

De Jonge: "Als je ooit serieus aan de slag wilt met nanotechnologie, zul je gebruik moeten maken van het principe van zelfassemblage. Je kunt nou eenmaal niet elk atoom persoonlijk begeleiden."

De Jonge kan goed vertellen over nanotechnologie. Hoewel het vakgebied zich op de voor het menselijk oog onzichtbare dimensies richt, plukt hij atomen uit de lucht en schetst hij alleen met woorden een wondere atomaire wereld. Hij is het soort wetenschapper dat studenten en medewerkers kan enthousiasmeren voor een vak door zijn eigen geestdrift.

Voor De Jonge is de nanowereld een spannende ontdekkingsreis, waarvan het einde nog lang niet in zicht is. De ontwikkelingen op dit gebied gaan dan ook razendsnel. "We kunnen atomen en moleculen zichtbaar maken. Nu is dat heel normaal", aldus De Jonge. "In 1980 hoorde ik daar voor het eerst over vertellen en zag ik de eerste beelden. De kwaliteit was dan wel niet zo hoog als we nu gewend zijn, maar ik weet nog goed dat ik compleet versteld stond. Nu zijn we gewend aan al die dingen. We zijn vertrouwd met de Scanning Tunneling Microscope, waarmee je atomen zichtbaar kunt maken. En het is bijna vanzelfsprekend dat je ze kunt oppakken en neerleggen. Toen ik met studeren begon, was dat ondenkbaar"

Biosystemen

De Jonge haalt een concreet voorbeeld aan: carbon nanotubes. "Dit zijn minuscule koolstofbuisjes waar je van alles in kunt doen. Je kunt er medicijnen in stoppen en door ze te knikken worden het transistoren en diodes. Je kunt er ook moleculen aanhaken en er tandwieltjes van maken, waarmee je een motortje maakt. Je kunt je zelfs voorstellen dat die apparaatjes zichzelf reproduceren. Dan kun je ook bedenken dat je dat vervolgens kunt inspuiten in een bloedbaan, dat er een lasertje in zit en een antenne. Er zijn wetenschappers die daar heilig in geloven, maar het is er allemaal nog lang niet. Maar toch, die fantasieën zijn spannend en werken inspirerend."

In de toekomst zullen biotechnologie en nanotechnologie nadrukkelijker met elkaar verweven raken. Biosystemen

zijn de grote uitdaging voor de nanotechnologen van morgen. De Jonge: "Het zijn totaal andere systemen, maar ze worden door iedereen die er een beetje over nadenkt wel gezien als de uitdaging voor de toekomst. De gereedschappen die we hebben ontwikkeld voor nanotechnologie worden natuurlijk ook toegepast in de bioscience" Daarmee raakt het harde bètavak natuurkunde opeens heel erg aan het leven zelf.

De Jonge heeft gemerkt dat deze ontwikkelingen binnen nanotechnologie invloed hebben op het denken over het vak. "Natuurkundigen gaan voor grote gebaren. Studenten die hier komen studeren hebben gehoord over zwarte gaten, kwantummechanica, de Big Bang. Daarover willen ze meer weten. Het past binnen het kader van vragen als 'waar komen we vandaan?', 'waar gaat het naartoe?', 'hoe hangt het samen?'. Nu, langzamerhand, komt daar de vraag 'wat is leven?' bij. Dat hoorde nooit bij de grote vragen die natuurkundigen zichzelf stelden. Daarom inspireert de ontwikkeling van dit vakgebied een heleboel wetenschappers."

Multidisciplinair

Het resultaat van de nanotechnologie-inventarisatie leverde een opmerkelijk lange lijst op. In totaal zijn aan de TU/e zeker tweehonderd onderzoekers en wetenschappers te vinden die nanotechnologie beoefenen, of in ieder geval bezig zijn met activiteiten die daaraan raken. Uit de inventarisatie bleek duidelijk het multidisciplinaire karakter van het vakgebied.

De Jonge: "Het interessante is dat de nanotechnologie goed verspreid is over natuurkunde, scheikunde, werktuigbouwkunde, wiskunde en biotechnologie. Nanotechnologie is enorm multidisciplinair. De vakgebieden gaan door elkaar heen lopen. De grenzen tussen biomedische technologie, technische natuurkunde en scheikunde vervagen. We zullen elkaar moeten gebruiken en van elkaar moeten leren."

Behalve het multidisciplinaire karakter bleek uit de inventarisatie ook heel duidelijk dat veel van deze activiteiten sterk gerelateerd zijn aan de toponderzoekscholen. De Jonge. "Niet dat nanotechnologie de doelstelling van het Dutch Polymer Institute, Katalyse of Cobra is, maar de thema's die binnen die instituten bewerkt worden, blijken voor een deel als natuurlijke ontwikkeling uit te komen op het gebied van nanotechnologie."

Echt verbazingwekkend is deze uitkomst niet. Cobra is de Eindhovense toponderzoekschool die onderzoek doet naar optische communicatiemethoden. De Jonge. "Binnen de ICT moet het allemaal compacter en sneller. Dat betekent vooral dat het allemaal kleiner moet worden. Daarmee kom je al snel op het gebied van de nanotechnologie. Ook bij Katalyse en het DPI is het 'engineeren' van moleculen een belangrijk thema"

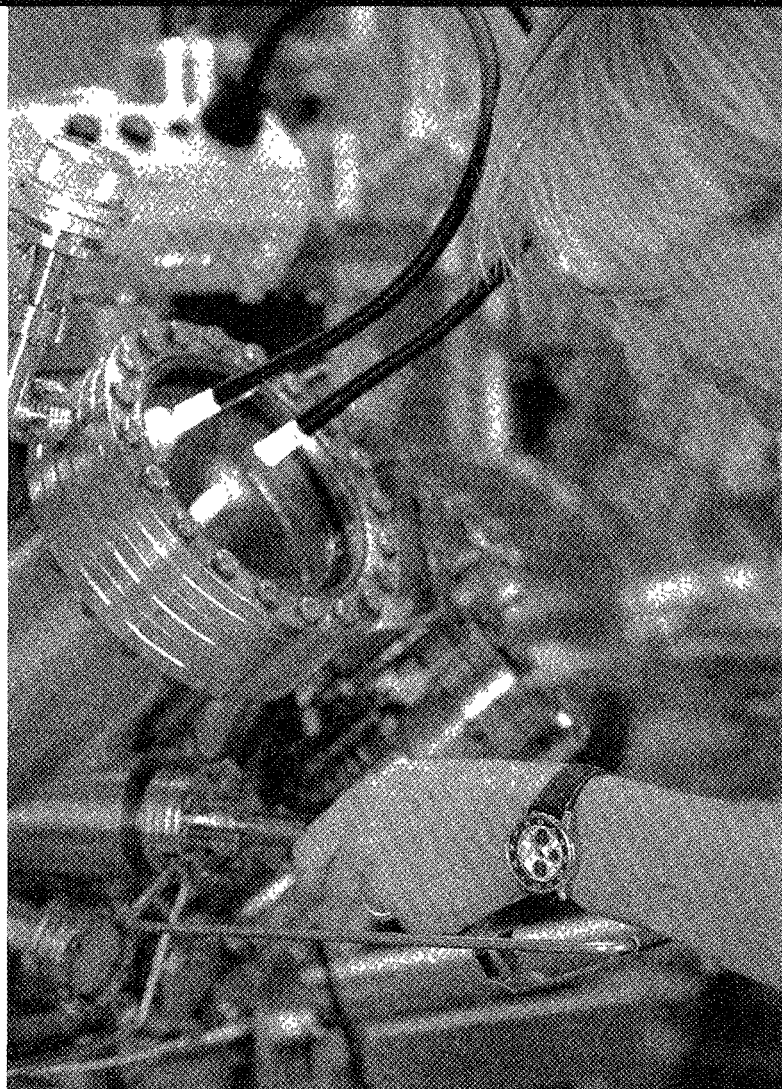
Uithangbord

De TU/e afficheerde tot dusver nooit duidelijk met haar activiteiten op het gebied van nanotechnologie. Alle nanotechnische initiatieven op de Eindhovense universiteit zijn ontstaan omdat er vraag naar was, of omdat bepaalde technieken of producten nodig waren vanuit de eigen discipline. Daarmee verschilt Eindhoven wezenlijk van Delft en Twente. De Jonge: "Zij hebben Dimes en Mesa, twee instituten die specifiek onderzoek doen naar microstructuren. Zij hebben dus wel dat uithangbord waaronder nanotechnische activiteiten gegroepeerd zijn. Wij doen het tot dusver meer geïntegreerd in andere thema's. Vanaf oktober gaan we het echter gestructureerder aanpakken, hetgeen zijn uitwerking vindt in de oprichting van het TU/e-expertisecentrum 'Nano devices and Materials design'."

Het gebrek aan een duidelijk nanotech-cluster kan vervelende financiële gevolgen met zich meebrengen. Vanuit het ministerie van Economische Zaken worden er de komende jaren namelijk forse bedragen beschikbaar gesteld voor nanotechnologie in het kader van het stimuleringsprogramma Ices/Kiss 3. De TU/e is in de race voor een deel van dat geld. En er zit – ook op Europees gebied – meer in de pijplijn. Nederland loopt iets achter op nanogebied en het is niet ondenkbaar dat er de komende jaren veel geld beschikbaar gesteld wordt om de grote inhaalslag aan te gaan.

Alleen al deze ontwikkelingen maken het de moeite waard om de krachten binnen de TU/e te bundelen. Er zijn echter nog andere, bijkomende redenen. De gezamenlijke aanschaf van al de peperdure apparatuur die nodig is voor nanotechnologisch onderzoek bijvoorbeeld. "Er is een wereld te winnen als we wat meer integreren", zegt De Jonge "Daarnaast willen we ook een nadrukkelijke taak op het gebied van onderwijs op ons nemen"

Terug naar de toekomst van nanotechnologie. De toekomst van zichzelf reproducerende machines en nieuwe,



bijzondere materialen De Jonge wil zich niet verliezen in wilde gedachten over wat er allemaal gemaakt zou kunnen worden. "Ik heb helemaal geen behoefte aan allerlei exotische verhalen. Als we ons beperken tot waar we al goed in zijn, dan zijn er bijvoorbeeld op de gebieden van de nano-elektronica, nieuwe designmaterialen, nanochemie, en bionanotechnologie nog problemen en uitdagingen genoeg!"»

Tot slot

Wie zich verder wil verdiepen in nanotechnologie, kan onder andere uit de voeten met *Scientific American*. Het septembernummer van dat tijdschrift (vol. 285, nr. 3) is namelijk geheel gewijd aan nanotechnologie.

Noten

- 1 Fotografie: Bram Saeys Fotografie
- 2 G. Harberink, Onderzoek op de vierkante nanometer, *Matrix*, kwartaalblad van de Technische Universiteit Eindhoven, jaargang 8, najaar 2001, blz. 26-29.