



Interval



#04 _ Nieuwe perspectieven

Technologiestichting STW _ oktober 2007

Inhoud ▶ "STW brengt vraag en antwoord samen" _ prof. Dave Blank en dr. Léon Gielgens ▶ "Langtermijn visie is noodzakelijk voor ontwikkeling van nanotechnologie" _ dr. Mihail Roco ▶ Soms duizelt het je _ Anton Franken ▶ Nanotechnologie maakt bestaande producten slimmer ▶ "Met nanotechnologie zullen we het moeten doen" _ prof.dr.ir. David Reinhoudt ▶ Nanogeneeskunde stelt ambitieuze missie op ▶ Dynamische discussies rond milieu en energie ▶ Mooie eerste toenadering ▶ Zien is geloven ▶ Hoe worden we de risico's de baas?

Perspectief Nederlands Nano Initiatief op de STW-conferentie

STW brengt vraag en antwoord samen

prof. Dave Blank en dr. Léon Gielgens

De deelnemers aan de workshops op de STW-conferentie 'Nieuwe Perspectieven' bogen zich op 4 oktober over vragen die ook een belangrijke rol spelen bij het Nederlands Nano Initiatief (NNI): kan nanotechnologie een antwoord geven op de maatschappelijke vragen die leven? En kan dat dan ook op een verantwoorde wijze? En waar moet Nederland op inzetten in de nanotechnologie wereld? Moet Nederland eigenlijk wel inzetten op nanotechnologie?

STW heeft met deze conferentie een belangrijke stap gezet door nanowetenschappers, gebruikers van nanotechnologie en mensen met vragen over nanotechnologie bij elkaar te brengen. Daar moet STW vooral mee doorgaan, want tijdens de conferentie bleek duidelijk dat het samenbrengen van die werelden nodig is om beter te kunnen bepalen wat nano technologie de maatschappij te bieden heeft en wat de maatschappij van de nanowetenschapper vraagt. Een rol die bij STW past, en waar STW zijn sporen in heeft verdiend: wetenschap en toepassing verenigen.

Ook de door STW geagendeerde onderwerpen zijn inspiratiebronnen voor de ontwikkeling van

het NNI. De uitkomsten van de workshops Gezondheid en Energie & Milieu sluiten zeer direct aan bij de NNI-thema's NanoMedicine, Voedsel & Gezondheid, Energievoorziening en het vraagstuk van de Waterzuivering. En het NNI-onderwerp 'Functionele nano-materialen' werd expliciet genoemd waar nanotechnologie kan bijdragen aan oplossingen bij Wonen & Bouwen, maar ook Milieu & Energie. En daarnaast werd ook op de STW-dag, net als in het NNI, ruim aandacht geschonken aan de verantwoorde ontwikkeling van nanotechnologie in de Risico's van nanotechnologie-sessie.

Het belang van het NNI als platform voor de uitwisseling van kennis en kunde wordt gezien als een cruciaal element voor de vooruitgang in de nanotechnologie, zoals ook duidelijk wordt verwoord door zowel Mihail Roco, Dr. Nano van de Verenigde Staten, als de directeur van STW, Anton Franken. Roco stelde hierbij dat Nederland het ook wetenschappelijk bijzonder goed doet in de nanotechnologie en bijvoorbeeld erg goed is in onderzoeksgebieden als nano-electronica, met name beyond Moore: nieuwe materialen en hun toepassingen, en nano-geneeskunde.

Deze editie van Interval is een bijzondere: ze dient als verslag van het ochtendprogramma van de STW-conferentie 'Nieuwe perspectieven' die op 4 oktober 2007 in De Doelen werd gehouden. Het ochtendprogramma stelde de vraag, voor welke concrete maatschappelijke problemen nanotechnologie mogelijk uitkomst kon bieden. De antwoorden die tijdens de conferentie werden gevonden, vindt u terug in deze Interval. Verschillende workshopleiders en -deelnemers hebben de intentie om hun kennismaking met elkaar en nanotechnologie voort te zetten. Van hen zult u meer horen. Wat STW betreft zullen de uitkomsten van deze conferentie onder de aandacht worden gebracht van beleidsmakers, politici, bedrijven en de werkgroepen die het Nederlands Nano Initiatief voorbereiden. U hoort van ons.

David Reinhoudt, voorzitter van NanoNed en een van de drijvende krachten achter het NNI, concludeerde dat de Nederlandse overheid er alles aan gelegen zou moeten zijn om na 2009, als het NanoNed programma afloopt, een Nederlands Nano Initiatief van start te laten gaan.

Een positie die ook werd bevestigd door het aanwezige publiek; de ruime meerderheid was het namelijk eens met de stelling dat de overheid onmiddellijk actie moet ondernemen om implementatie van nanotechnologie te stimuleren. Eigenlijk een logisch vervolg op de Kabinetsvisie Nanotechnologieën, waarin het kabinet uitspreekt dat nanotechnologie, indien op een verantwoorde manier ingezet, bijdraagt aan de versterking van de Nederlandse economische structuur en concurrentiepositie.

Dr. Nano

Een van de twee keynote speakers tijdens de STW-conferentie over nanotechnologie was dr. Mihail Roco, in de Verenigde Staten ook wel bekend als Dr. Nano. Hij zal de geschiedenis ingaan als de man die onder meer heeft gezorgd voor de stijging van het jaarlijkse onderzoeksbudget voor nanotechnologie van 3 miljoen dollar in 1999 naar 1,3 miljard dollar in enkele jaren. Dit lukte hem onder meer door president Bill Clinton en zijn adviseurs te overtuigen van de noodzaak in de ontwikkeling van nanotechnologie te investeren. "Voor je tot de president doordringt, moet je door ongeveer zes lagen adviseurs en het Congres heen", zegt Roco. "Toen dat na veel lobbyen gelukt was, noemde Clinton het belang van nanotechnologie in een jaar tijd maar liefst acht keer in zijn publieke toespraken. Toegegeven, dat helpt als je het National Nano Initiative aan het opzetten bent."



dr. Mihail Roco:

"Langetermijn visie is noodzakelijk voor ontwikkeling van nanotechnologie"

"Om resultaat te boeken in wetenschappelijk opzicht is het van groot belang een lange-termijn visie te formuleren. Het is niet perse gezegd dat je dat doel precies zult bereiken, maar het helpt enorm in je focus." Zo verklaart dr. Mihail Roco, mede-oprichter van de Amerikaanse National Science Foundation en het National Nanotechnology Initiative, het contrast tussen de nog prille beginfase van nanotechnologie en de stelligheid waarmee hij de toekomst in beeld brengt. Rond 2020, zo is Roco overtuigd, zijn we in een vierde fase van onderzoek beland waarin we moleculaire nanosystemen beheersen en we ze kunnen sturen.

"Nu al kunnen we eenvoudige organismen laten groeien, op termijn zullen we DNA kunnen beheersen. Dit geeft zicht op de mogelijkheid een mens te kweken. Het is mij niet te doen om het maken van Superman, maar wel om het verlengen van het leven. Ik denk dat we die ethische grens niet moeten overschrijden, omdat we dan zouden ingrijpen in de menselijke aard. Maar ik ben ervan overtuigd dat we er op termijn in theorie toe in staat zullen zijn", zegt Roco, die zelf in de jaren tachtig als hoogleraar Mechanics gefascineerd raakte door zijn werk bij IBM. "Ik ondervond daar hoeveel we konden veranderen aan kopieermachines door kleine ingrepen in de mechaniek. Dat heeft mij aan het denken gezet over studies naar de kleinste deeltjes. In wezen zien we daar hetzelfde. Door kleine veranderingen aan te brengen in een molecuul, kunnen we het gedrag en de functie van dat molecuul ingrijpend veranderen."

Vier generaties onderzoek

"Het mooie van nanotechnologie is dat we dezelfde principes toepassen in allerlei verschillende takken

van wetenschap. Hierdoor zijn nanotechnologische toepassingen terug te vinden in de binnenste laag van een tennisbal, maar ook in een flesje bier. En hebben we ze later kunnen toepassen in de vliegtuigindustrie, de geneeskunde, noem maar op. In die gevallen hebben we het overigens nog over de eenvoudige toepassing van nanotechnologie. Dat is de eerste fase van nanotechnologie waarin we in de passieve structuur van materialen kunnen ingrijpen. De tweede fase is manipulatie van actieve nanostructuren, daar zijn we nu steeds beter in. De derde fase zit er nu aan te komen. Hierin leren we system engineering te bedrijven en pas in de vierde generatie van onderzoek zullen we in staat zijn moleculaire nanosystemen te maken en te beheersen", aldus Roco.

De eerste vijf jaar van het bestaan van het NNI is Roco bezig geweest wetenschappers, bedrijven en overheden ervan te overtuigen dat nanotechnologie in producten toepasbaar is. Nu men eenmaal om is, moet hij iedereen overtuigen om over te stappen naar die tweede fase, waarin interactie in systemen centraal komt te staan. "Van veel dingen kennen we de structuur niet eens", zegt Roco. "Er is dus nog heel veel onderzoek te doen, maar ik ben ervan overtuigd dat we ook hierin zullen slagen."

Nederland moet mee blijven doen

De langetermijn visie heeft de ontwikkeling op het gebied van nanotechnologie in de Verenigde Staten versneld, zoveel mag duidelijk zijn. Er is geen land waar zoveel onderzoek wordt gedaan, waar zoveel citaties zijn te noteren en waar nanotechnologie zo nadrukkelijk haar weg in producten heeft weten te vinden. Roco vindt dat Nederland zich tekort zou doen als het niet ook een langetermijn visie ontwikkelt. "Nederland

doet het als relatief klein land bijzonder goed in de nanotechnologie. Qua citaties staat het na de VS en Zwitserland op de derde plaats. Dat is bijzonder knap. Wil het deze positie behouden, dan zou het er goed aan doen zich te concentreren op enkele wetenschapsgebieden waar het nu al een naam in heeft en daarin te investeren. Het is bijvoorbeeld erg goed in onderzoeksgebieden als elektronica en nanogeneeskunde. Mijn insteek zou zijn om op de gebieden waarin je naam hebt opgebouwd, extra in te zetten.

Tevens is het van belang een zo open mogelijk netwerk te creëren om gebruik te maken van elkaars kennis. Bij het NNI hebben we een netwerk gecreëerd met inmiddels 25.000 deelnemers. Onderzoekers moeten geen concurrentie aangaan. Zij moeten in een open systeem data kunnen uitwisselen en vergelijken. Met zo'n open netwerk kan Nederland een vooraanstaande rol in de nanotechnologie blijven spelen."

Maatschappelijk draagvlak

Om maatschappelijk draagvlak voor nanotechnologie te creëren, is het volgens Roco van belang om te laten zien welke rol nanotechnologie kan spelen in de besparing van energie, in de toenemende efficiëntie in productieprocessen en in hoeverre nanotechnologie kan bijdragen aan duurzaamheid. Een andere uitdaging ziet Roco in het voorbereidend onderwijs voor de wetenschap. "Al in een vroeg stadium moeten wij aankomende studenten wijzen op de mogelijkheden in de nanotechnologie. Dat kan door er in het middelbaar onderwijs al aandacht aan te besteden. Het moeilijke daarbij is het in een lessenspakket te integreren. En dat heeft weer alles te maken met de multidisciplinariteit van nanotechnologie. Dat past niet in een specifiek vakkenpakket,



omdat nanotechnologie in alle disciplines haar werking, haar invloed heeft.”

Wie de signalen van Roco in acht neemt en zijn uitspraken vergelijkt met die van David Reinhoudt, zijn landelijke evenknie (*zie verderop*), kan niet

anders dan bedenken dat de Nederlandse economie, dan wel de Nederlandse overheid, zich een slechte dienst zou bewijzen als zij zich niet tot het uiterste zou inspannen om nanotechnologie tot volle wasdom te brengen

Levendige paneldiscussie

Nanotechnologie maakt bestaande producten slimmer

De paneldiscussie waarin wetenschap, politiek en bedrijfsleven elkaar troffen, vormde een onderhoudend onderdeel van de STW-conferentie over nanotechnologie. NanoNed-voorzitter prof.dr.ir. David Reinhoudt, dr. 'Nano' Mihail Roco, Marianne Besselink, Tweede Kamerlid voor de PvdA, dr. Germ Visser van DSM en Rinie van Est van het Rathenau Instituut, gaven hun mening over een drietal stellingen. Het publiek kon vervolgens via stemkastjes aangeven of het het eens of oneens was met de stellingen. Dagvoorzitter Maria Henneman leidde de discussie.

Het Nederlands bedrijfsleven zal op korte termijn profiteren van de resultaten van nanotechnologie, zo luidde de eerste stelling. “Zeer mee eens. Sterker nog, in zeshonderd producten in de VS is nanotechnologie al toegepast”, zegt Visser. “In

Japan zijn er al zo'n duizend producten. De vraag is echter of die producten al winstgevend zijn. Bij de coating aan de binnenzijde van een tennisbal hebben we gezien dat de laag de levensduur van de tennisbal weliswaar verlengt, maar dat dit nog niet tot winst leidt.”

Winst

“Je kunt je ook afvragen wanneer we een product nu een product met nanotechnologie moeten noemen”, volgens Visser. “In een mobiele telefoon zitten inmiddels ook allerlei toepassingen uit de nanotechnologie. Consumenten hebben daar geen flauw benul van, maar nanotechnologie maakt bestaande producten slimmer. Daar zit ook een belangrijk deel van de winst in.”

Rinie van Est verlegde de stelling naar de duurzaamheid en de milieuvriendelijkheid van producten waarin nanotechnologie is toegepast.

Soms duizelt het je

Biochips voor vroege behandeling van ziekten, imagingtechnieken, bot- en weefselvervanging. Medicijntoediening op maat en op locatie, zelfdiagnostiek voor thuisbehandeling. Maar ook zuivering, sanering, recycling en katalyse in het milieu, evenals een nieuwe generatie brandstof- en zonnecellen. En voedselveiligheid, functioneel en houdbaar voedsel, duurzame productie in de levensmiddelenindustrie. En ambient intelligence en de ontwikkelingen in de informatie- en communicatietechnologie. En schonere en zuinigere mobiliteit, waarin zelfs autoherstellende materialen worden geïntroduceerd. En zelfherstellend beton in de kantoor- en woningbouw. Soms duizelt het je als je de verschillende sectoren ziet waarin de nanotechnologie al haar intrede heeft gedaan.

Tijdens de conferentie van STW op 4 oktober in De Doelen in Rotterdam hebben we de thermometer gestoken in de enorme diversiteit van uitdagingen en risico's op het gebied van nanotechnologie. Duizelingwekkend was ook het aantal raakvlakken dat de verschillende wetenschappers met elkaar bleken te hebben. De onderlinge uitwisseling van kennis en kunde en multidisciplinaire samenwerking is een cruciale voorwaarde voor de vooruitgang in de nanotechnologie, zo hield dr. Mihail Roco, de Dr. Nano van de Verenigde Staten, zijn gehoor voor. We zitten nog maar in de eerste fase van toepassingen; via een 'bottom-up' proces en investering in excellente wetenschap zullen sneller volgende-generatie toepassingen beschikbaar komen. Die vingerwijzing klonk ook nadrukkelijk in de workshops tijdens de conferentie. Verder klonk het enthousiasme door om over de grenzen van het vakgebied kennis uit te wisselen en mogelijkheden voor de toekomst te exploreren. Noodzakelijke voorwaarde is (de instandhouding van) een kennisinfrastructuur en platform waarbinnen multidisciplinaire samenwerking wordt georganiseerd. NanoNed heeft die functie de afgelopen jaren meer dan waargemaakt. Hoewel ik persoonlijk de ontwikkelingen binnenkort uit een andere positie zal volgen, ben ik onverkort zeer benieuwd hoe we in Nederland de ontwikkelingen in de nanotechnologie verder willen gaan bevorderen. Tegen de achtergrond van de kansen voor toepassing en de wetenschappelijke top-prestaties zou het mij in elk geval gaan duizelen wanneer de Nederlandse overheid de komende jaren niet alle kansen aangrijpt om de nanotechnologie en -wetenschap verder te stimuleren. Een Nederlands Nano-initiatief dient er wat mij betreft te komen.

Anton Franken, *directeur STW*



“Van de effecten van nanotechnologie is nog niet veel bekend. Maar we zien bijvoorbeeld wel dat in spaarlampen, gebaseerd op nanotechnologie, lood zit. We weten dus niet of zo'n product duurzamer is.”

Visser vult aan: “We kunnen de vraag naar duurzaamheid pas bepalen als we een product van ‘cradle to grave’ kunnen beoordelen.”



Roco merkt op dat structuren van materialen weliswaar veranderen als gevolg van nanotechnologie, maar dat hij van nog niet één ongeluk met toepassingen uit de nanotechnologie heeft vernomen. “Grote bedrijven zijn allergisch voor conflicten. Zij nemen geen enkel risico met nanotechnologie”, aldus Roco. Voor hem staat buiten kijf dat nanotechnologie op termijn meer dan winstgevend zal zijn. Toepassing van nanotechnologie leidt tot betere, slimmere, energie-vriendelijkere en nieuwe producten. Het publiek bleek het in overgrote getale met hem eens te zijn: maar liefst 68 procent sprak het vertrouwen in de toekomstige winstgevendheid van nanotechnologie uit.

Nanotechnologie geen bruikbare term

Rinie van Est poneerde de tweede stelling: Nanotechnologie is geen bruikbare term voor een debat. Van Est is coördinator bij het Rathenau Instituut dat onderzoek verricht naar de ontwikkeling van wetenschap en technologie. Het instituut heeft twee kerntaken: maatschappelijk debat en politieke oordeelsvorming stimuleren en het Nederlandse wetenschapssysteem in kaart brengen. “Het begrip is te breed om er een maatschappelijke discussie over te voeren. Nanotechnologie is van toepassing in zoveel wetenschapsgebieden dat een debat over ‘de’ nanotechnologie niet veel oplevert”, zei Van Est.

Reinhoudt was het in grote lijnen met hem eens, maar zei tegelijkertijd: “Nanotechnologie is er nu eenmaal. Het is de laatste uitdaging

om in nanostructuren de controle te krijgen.” Van Est voegde nog toe dat nanotoxiciteit wellicht het enige thema is waarover in brede kring te discussiëren valt. Besselink haakte hierop in dat zij als politica wel wil weten waar nanotechnologie is geïnvolveerd, vooral met het oog op de toekenning van middelen. Maar als consument wil zij vooral weten waar de risico's liggen.

Roco zei naar aanleiding van deze wending in de discussie: “Sommige nanodeeltjes zijn bijzonder giftig, maar tegelijkertijd biedt nanotechnologie oplossingen tegen kanker. De voordelen wegen vooralsnog op tegen de nadelen.”

Visser mengde zich in de discussie met de stelling dat publiek debat altijd welkom is. Bovendien zei hij dat de Britten het hebben over nanotechnologies. Daarmee doen zij volgens hem meer recht aan de diversiteit van het onderzoeksgebied. Overigens was 63 procent het met de stelling eens.

Extra budget of herverdelen

Besselink verklaarde zich naar aanleiding van de laatste stelling – het overheidsstandpunt over nanotechnologie brengt met zich dat zij onmiddellijk actie moet ondernemen en implementatie moet stimuleren – voorstander van een duidelijke keuze. “Het is vooral van belang dat de overheid kiest voor stimulering van bepaalde sectoren, zodat Nederland in die sectoren kan excelleren. Zo is onder meer al voor genomics gekozen. Als er mogelijkheden zijn, zouden wij ook in nanotechnologie kunnen investeren.”

Henneman ondernam nog een moedige poging de politica een uitspraak te ontlokken over de vraag of dit volgens haar toename van het budget zou impliceren of herverdeling. Besselink leek zich te hebben voorgenomen minister Plasterk niet voor de voeten te lopen en hield zich professioneel op de vlakte op dit punt. De ruime meerderheid van de zaal – 80 procent ondersteunde de stelling – had daar minder moeite mee.



prof.dr.ir. David Reinhoudt:

“Met nanotechnologie zullen we het moeten doen”

Het woord nanotechnologie komt in een tekstverwerker niet eens door de spellingscontrole. Zo relatief nieuw is het fenomeen. Toch is prof.dr.ir. David Reinhoudt, emeritus hoogleraar supramoleculaire chemie aan de Universiteit Twente en onder meer voorzitter van NanoNed, ervan overtuigd dat de

snelle ontwikkeling van nanotechnologie geen hype, maar een normale ontwikkeling is. “Het is de logische stap in de miniaturisering”, zegt hij. “Als we niet alleen transportland willen zijn, dan ligt op het gebied van nanotechnologie onze kracht.”

“Sinds we hunebedden bouwen, zijn mensen bezig productieprocessen beter te controleren en producten kleiner te maken. Biotechnologie vormde in die zin 25 jaar geleden een doorbraak. Sinds 2000 is nanotechnologie ook zo'n doorbraak. Werken aan deeltjes die individueel kleiner zijn dan 100 nanometer is mogelijk



David Reinhoudt:
"NanoNed moet blijven"

dankzij de apparatuur die we hiervoor hebben ontwikkeld. Dankzij het feit dat wij met een individuele molecuul kunnen bepalen wat we ermee doen, hoe we het gebruiken in een product, kunnen wij op termijn het productieproces op moleculair niveau beheersen. Op atomair niveau is dat niet interessant, omdat je in een atoom niet veel kunt beginnen", zegt Reinhoudt, die van het begin af – eind vorige eeuw – betrokken is geweest bij de ontwikkeling van nanotechnologie in Nederland. Met zijn collega's was hij eind jaren negentig al druk doende om vanuit de supramoleculaire chemie nanotechnologie te bedrijven. De andere hoek van waaruit nanotechnologie is ontstaan, is volgens hem de nanofysica.

Klassieke industrie afhankelijk "Met nanotechnologie kunnen wij de klassieke industrie in Nederland hoogwaardig en vooruitstrevend houden. De klassieke industrie is immers afhankelijk van de intelligentie die wij in de onderdelen kunnen aanbrengen. Daardoor kunnen producten steeds kleiner en veelzijdiger worden. De mobiele telefoon is daar een prachtig voorbeeld van, evenals de apparatuur die we tegenwoordig in auto's verwerken. Daarin ligt de toekomst voor onze economie. Want laten we wel zijn: als Nederland alleen transportland blijft, dan is dat een weinig aantrekkelijk perspectief. We kunnen bezwaarlijk nog meer containers over de snelweg Europa binnenrijden."

"In de Verenigde Staten overweegt de overheid op het moment een verdubbeling van de budgetten voor de ontwikkeling van nanotechnologie, alleen al om de concurrentie met India, Japan en China bij te blijven", zegt Reinhoudt.

"In Nederland hebben wij met het instituut MESA+ aan de Universiteit Twente een top positie in de wereld verworven. Het instituut combineert daartoe de vakgebieden Elektrotechniek, Technische Natuurkunde en Chemische Technologie en de multidisciplinaire competenties op het gebied van microsysteemtechnologie, materiaalkunde, chemie en fotonica. Er zijn nu ruim 500 medewerkers aan verbonden, het instituut integreert verschillende disciplines en levert een geweldige bijdrage aan het bedrijfsleven. Wil de Nederlandse industrie voorop blijven lopen, dan is de verdere ontwikkeling van nanotechnologie hiertoe de sleutel!" Reinhoudt leidde tot voor kort het MESA+ instituut."

Minimaal 100 miljoen euro nodig Bij een ander initiatief, NanoNed, is Reinhoudt nog volop actief als voorzitter. Dit is een initiatief van acht kennisinstellingen en Philips en behelst investeringen in wetenschappelijk onderzoek, experimentele faciliteiten en kennisdisseminatie. Het budget van NanoNed bedraagt voor vijf jaar een kleine 250 miljoen euro.

"NanoNed is een gelegenheidsconsortium dat in principe in 2009 afloopt. Als je echter ziet wat we bereikt hebben, dan zou de Nederlandse overheid er alles aan gelegen moeten zijn om dit initiatief in stand te houden", zegt hij. "En dat betekent dat de regering in haar begroting voor 2009 minimaal 100 miljoen euro ten behoeve van de verdere ontwikkeling van nanotechnologie zal moeten reserveren. Doet zij dit niet, dan lopen we een achterstand op die niet meer is in te halen. Zeker wanneer we zien hoe snel de nanotechnologie zich sinds 2000 heeft ontwikkeld."

Waar Mihail Roco zich de geuzennaam Dr. Nano in de Verenigde Staten heeft verworven, daar mag David Reinhoudt zich inmiddels in Nederland een fervent voorvechter van nanotechnologie noemen. In 1997 nam hij met anderen het initiatief Nano Link, een samenwerkingsverband tussen Delft en Twente. Dit sneuvelde omdat NWO het niet wilde ondersteunen.

Vijf jaar later kwam er wel 50 miljoen euro beschikbaar voor Nanolmpuls en ontstonden achtereenvolgens KP-6 en ICES, waarmee een netwerk van samenwerkende instellingen op het gebied van nanotechnologie vorm kreeg. Intussen bestaat ook het gelegenheidsconsortium NanoNed al enkele jaren. Met NanoNed is al heel veel bereikt. De betrokken instituten en bedrijven werken nauw samen. Zij wisselen niet alleen kennis uit maar delen ook onderzoekslaboratoria waardoor investeringen efficiënt zijn. Reinhoudt: "Een voordeel van een klein land is dat een onderzoeker in Eindhoven vrij eenvoudig naar Groningen kan reizen om daar proeven in een laboratorium te doen. Het feit dat niet beide universiteiten hoeven te investeren in een soortgelijk laboratorium, betekent dat we relatief goedkoop kunnen werken."

Het zit Reinhoudt dwars dat de toekomst nog niet is veiliggesteld. "NanoNed moet blijven. Als we in 2009 niet kunnen doorgaan met de onderzoeksprogramma's, lopen we een achterstand op die niet meer is in te halen. Juist een land dat het in de toekomst zal moeten hebben van een intensieve kenniseconomie, mag zijn vooraanstaande positie in de nanotechnologie niet opgeven. Inmiddels hebben elf flagship programma's lopen, waarin 200 subprogramma's draaien. Er zit 1200 manjaren onderzoek in de onderzoeken die onder de vlag van NanoNed zijn gehouden. Als financiering in 2009 zou stoppen, dan gaat er dus heel veel verloren." Hoewel Reinhoudt met emeritaat is, is hij nog steeds voorzitter van NanoNed en het ziet er naar uit dat hij al zijn strijd lust zal steken in de uitbreiding van de mogelijkheden voor NanoNed.

Nanogeneeskunde stelt ambitieuze missie op

workshop _ Gezondheid

In een drukbezochte workshop inventariseerden prof.dr. John Jansen van het UMC St. Radboud uit Nijmegen, prof.dr. Han Gardeniers en dr. Regina Luttge van de Universiteit Twente en dr. Paul Boontje van STW wat de missie – het doel dat men in de nanogeneeskunde wil bereiken – nu eigenlijk precies is. Hieruit kwam de volgende missie naar voren:

Nanogeneeskunde stelt zich ten doel om de komende decennia voor een omwenteling te zorgen in het voorkomen, diagnosticeren en het behandelen van een groot aantal chronisch invaliderende ziektes. In 2025 zullen er dan ook op grote schaal diverse succesvolle klinische toepassingen van nanogeneeskunde zijn.

Vervolgens splitste de workshop zich op in subworkshops waarin de deelnemers ideeën formuleerden over de te zetten stappen om de missie te kunnen bereiken. De workshops bogen zich over de rol van nanotechnologie in de regeneratieve geneeskunde, geneesmiddelenafgifte en medische diagnostiek. Zij brachten een drietal meer specifieke missies aan de oppervlakte. In het workshopdeel over de regeneratieve geneeskunde luidde de missie: initiëring en controle van de regeneratie van pathologisch weefsel en behandeling van chronisch invaliderende ziektes zoals diabetes, osteoarthritis, cardiovasculaire aandoeningen en ziektes van het centrale zenuwstelsel door middel van nanotechnologie. Met behulp van nanotechnologie kunnen biomaterialen (implantaten) ontworpen worden die intrinsieke regeneratieve eigenschappen bezitten en het lichaam helpen zichzelf te genezen.

De groep die sprak over de geneesmiddelenafgifte formuleerde de missie voor dit vakgebied: gecontroleerde afgifte en transport alsmede een gerichte effectiviteit van geneesmiddelen door middel van nanotechnologie. Met behulp van nanotechnologie kan het inefficiënt gebruik en de degradatie van geneesmiddelen beperkt worden, ontstaan minder bijeffecten en is er een betere beschikbaarheid van het geneesmiddel op de ziekteplaats.

De deelnemers aan het onderdeel medische diagnostiek kwamen tot de volgende missie: de ontwikkeling van diagnostieken voor in vivo monitoring van het specifieke functio-

neren van weefsel en cellen met als doel het vroegtijdig opsporen van ziektes en bepaling van de optimaal gerichte behandeling.

Kennis is voorwaarde

Welke randvoorwaarden zijn dominant in het streven de missie te bereiken? Dat was de volgende vraag waar de deelnemers zich over bogen. Aan de randvoorwaarden hechtten de deelnemers een gewicht. Jansen: "Doorslaggevend in dit verband is het besef dat kennis een noodzakelijke voorwaarde is voor funding. Als kennis de drijvende kracht achter een ontwikkeling is, dan is de kans op financiering het grootst."

De deelnemers toonden zich uiterst ambitieus tijdens de workshop. Aan de ene kant wekt dat de indruk dat er nog maar weinig is bereikt. Aan de andere kant echter wijst de waslijst erop dat nanotechnologie allang haar intrede heeft gedaan in de geneeskunde en dat het nu vooral een kwestie is van uitbouwen.

De waslijst met randvoorwaarden is te groot om in deze uitgave te publiceren. Om een idee te geven van wat er allemaal nog nodig is om nanotechnologie dieper tot de geneeskunde te laten doordringen, hieronder een sterk verkorte opsomming.

Multi-level funding (22 voorwaarden, 16%)

- Onderzoek: basisfunding door overheid + vastgestelde verplichting voor een maximaal bedrag aan onderzoek voor MKB
- Vrijmaken van geld voor onderzoek door bedrijven en overheid
- Stimuleringsgelden van de overheid
- Kijk voor het vergaren van onderzoeksgelden ook naar de EU (KP7)

Medical Technology assessment/ commercial pathway (2 voorwaarden, 1,5%)

- Hoever mag een arts gaan om het doel te bereiken (kosten/baten)
- Wie dekt de kosten/wat mag het kosten

Multidisciplinary cooperation

(20 voorwaarden, 15%)

- Samenwerking tussen klinici en ingenieurs/ materiaalkundigen/fundamenteel onderzoek

Deelnemer Marcel Bijman, Hogeschool Van Hall Larenstein Leeuwarden: "De workshop gezondheid was fantastisch! Heel hartelijk dank!"



- Stimuleren samenwerking universiteiten, overheid en patiëntenorganisaties

Expectation management/communication (11 voorwaarden, 8,3%)

- Nanotechnologie breder bekend maken bij doelgroepen zoals artsen
- Kan een behandeling universeel worden toegepast of meer persoonlijk?
- Betrek patiëntengroeperingen bij het maken van keuzes
- Maatschappelijk debat

Researchfocus (14 voorwaarden, 10,5%)

- Focus op die thema's waar we als land excellent onderzoek voor kunnen leveren
- Focus op die aandoeningen waarvan nanotechnologie naar verwachting binnen 10 jaar met oplossingen kan komen
- Focus op die aandoeningen waarvan de oplossing de grootste winst in termen



van kwaliteit van leven oplevert

- Focus op die aandoeningen/problemen waar het bedrijfsleven sterk in is en wil (blijven) investeren
- In kaart brengen welke knelpunten met nanotechnologie kunnen worden opgelost

Regulatory transparency (1 voorwaarde, 1%)

- Regelgeving voor toepassing en klinische testen

Ethics (6 voorwaarden, 4,5%)

- Ethiek – publieke opinie
- Debat over ethische kwesties van de grenzen van regeneratieve geneeskunde
- Privacypsychose bij de overheid tegengaan (idem bij ziekenhuizen)

Wound healing understanding/tissue regenerative knowledge (1 voorwaarde, 1%)

- Meer kennis over herstel

Biomaterial functionality (1 voorwaarde, 1%)

- Verbeterde kennis over materialen

Standardized models (5 voorwaarden, 3,8%)

- Geschikte testmethoden vinden (proefdieren, mensen??)
- In vivo monitoring van de biodistributie van geneesmiddel en nanodeeltjes
- Geschikt (dier)model

Toxicity (3 voorwaarden, 2,2%)

- Toxiciteit (niet op de juiste plaats)
- Vaststellen van non-toxiciteit van bepaalde

nanodeeltjes en deze verder ontwikkelen voor verschillende doeleinden

- Duidelijkheid over eventuele toxiciteit van nanopartikels verkrijgen

Controlled release (6 voorwaarden, 4,5%)

- Gebruikmaken van dagelijkse en maandelijkse cycli: niet alleen plaats- maar ook tijd-targeting
- Ontwikkeling van een generieke enabling technologie voor gereguleerde afgifte
- Verbinden van in vivo imaging aan actieve afgifte

Targeting (14 voorwaarden, 10,5%)

- Beter nanostructuren die farmaca op de juiste plek afleveren
- Controlled release: geen lekkage voordat goede plaats bereikt is
- Keuze van targetingmoleculen en bevestigen van deze moleculen
- Vloeistoffen ontwikkelen die als transportmiddel kunnen fungeren om het medicijn op de juiste plaats af te leveren

Pathophysiological understanding (5 voorwaarden, 3,8%)

- Beslissen welke ziektebeeld welke mate van last voor de patiënt met zich mee mag dragen, kanker meer dan diabetes
- Meer kennis van fysiologie van ziektes
- Definitie/afbakening/selectie van ziektebeeld en/of medische probleemgebieden/applicaties/ toepassingsgebieden (bijvoorbeeld tumorcellen)

Manufacturing/scale-up (5 voorwaarden, 3,8%)

- Upscaling nanoparticles/carriers
- Robots die niet allen door miniaturisering tot stand komen, maar via de synthetische life route; bijvoorbeeld batterij – ATP gebruik

Chemistry and molecular biology (5 voorwaarden, 3,8%)

- Moleculaire holografie en chemische (eventueel radiochemische) infrastructuur voor preparatie van nanoconstructen met GMP faciliteit(?)
- Linken targets aan detecteerbare deeltjes

Imaging technology (6 voorwaarden, 4,5%)

- Minder invasief maken van diagnostiek
- Keuze en ontwikkeling (detectie)methodes/ technieken/(meet)apparaat
- Fysische/technologische infrastructuur voor karakterisatie van tussen- en eindproducten in translationele setting ('scanners')

Clinical interaction (3 voorwaarden, 2,2%)

- Evaluatie in vivo; proef in levende mens
- Samenwerking met/translatie naar klinische toepassing (academisch ziekenhuis, UMC)
- Klinisch onderzoek (veiligheid); klinische evaluatie/validatie

Valorization (3 voorwaarden, 2,2%)

- Compatibiliteit van onderzoeksprospect met de mogelijkheden van de diagnostische industrie
- Bedrijf oprichten voor invoering
- Industriële partner

Dynamische discussies rond milieu en energie

workshop _ Milieu en Energie

Dr.ir. Wiebren de Jong van de TU Delft, ir. Paul Raats van KEMA en dr. Leo Korstanje van STW verwelkomden circa 36 deelnemers aan de workshop Milieu en Energie. Brainstormen, het temperament van de zaal moest het hem doen. Maatschappelijke problemen inventariseren, en daarover in groepjes discussiëren en proberen kruisbestuiving te bereiken. Dat was de opzet van de workshop die succesvol mocht heten. Resultaat moest zijn een lijst met problemen en mogelijke nano-oplossingen, en die kwam er.

Eén van de groepen boog zich over zonnecellen. Gespreksonderwerp was of nanotechnologie tot efficiëntere en goedkopere zonnecellen kan leiden. In het gebruik van materialen zal daarbij het accent moeten liggen op de toepassing en de zuiverheid van silicium (Si), een lager gebruik van Si door dunne film technologie en mono-

lagen en toepassing van andere materialen, zoals halfgeleider nanodeeltjes en polymeren.

Rendement zonnecellen verhogen

Op het gebied van complete zonnecelssystemen liggen de uitdagingen volgens de deelnemers aan de workshop op het gebied van het verhogen van het rendement, antireflectie coatings, het efficiënter omzetten van gelijkstroom naar wisselstroom, nano-metaaldeeltjes, het verlagen van warmteproductie, waterstofproductie, het vergroten van de levensduur, goedkopere productie, bijvoorbeeld door PVC-coating, en de werking van zonnecellen bij diffuus licht.

Volgens de deelnemers staan de volgende werkingsprincipes de komende jaren centraal in de studie naar zonnecellen:

- toepassing quantumdots;
- spectrale conversie;



Workshopleider Paul Raats (Milieu en Energie): "De conferentie was wat mij betreft een zeer geslaagde dag."

- gebruik van meerdere golflengtes;
- verlagen recombinatie.

In het algemeen waren de deelnemers het eens over de noodzaak de komende jaren het rendement van zonnecellen te verhogen en de kosten te verlagen. Om het wetenschappers mogelijk te maken hieraan werken, zal het aan politieke wil, lees de bereidheid in dit type onderzoek te investeren, niet mogen schorten.

Biobrandstoffen

Een tweede groep boog zich over het efficiënter gebruik van biomassa. In deze discussie kwam de optie aan de orde om enzymen, gisten en algen aan te passen om efficiënter land- en watergebruik te bereiken. Daarbij werd gewezen op de noodzaak aandacht



te besteden aan ongewenste neveneffecten zoals het risico dat de teelt van biobrandstoffen ten koste zou kunnen gaan van voedselproductie en het gegeven dat transportkosten en milieuschade meegewogen moeten worden.

Energieopslag De discussiegroep energieopslag inventariseerde een aantal technologische vragen. Het vergroten van de opslagcapaciteit, het vergroten van de snelheid van opslaan en vrijgeven van energie, de stabiliteit en veiligheid, kostenverlaging, schaalbaarheid en kleinere batterijen voor draagbare toepassingen scoorden hoog.

Tevens droeg de groep mogelijke nano-oplossingsrichtingen aan. Daarbij ging de aandacht onder meer uit naar nanomaterialen voor membranen en nanomaterialen voor oppervlakteopslag.

Actieve membranen Een elftal workshopdeelnemers deed mee aan de discussie over CO₂, emissies en membranen. In deze discussie werd de optie van katalytisch actieve membranen aan de orde gesteld. Volgens de deelnemers is onderzoek nodig op het gebied van nanotransportverschijnselen in membranen, nieuwe nanomaterialen voor membranen en de ontwikkeling van nieuwe toepassingen. Tevens wezen zij op de noodzaak van systeemanalyse en onderzoek naar alternatieven voor nano.

Nucleaire energie in nanobuisreactoren

Ten slotte bogen twee deelnemers zich over nucleaire energie, omdat kernenergie een CO₂ neutrale technologie is. Bij een blijvend stijgende energievraag zal nucleaire energie een blijvende optie zijn. Nanobuisreactoren zouden compleet nieuwe mogelijkheden kunnen bieden

voor het veilig opwekken van nucleaire energie. De voordelen hiervan zouden zijn: een hoge efficiëntie, kleine volumes, minder afval, kleiner, goedkoper en draagbaar. Uit de discussie kwam voorts naar voren dat een definitieve oplossing voor het afvalprobleem en technologie die militair niet bruikbaar is, voorwaarden voor verdere ontwikkeling zijn.

De workshop Milieu en Energie heeft dynamische discussies tussen de deelnemers opgeleverd. Hopelijk vormen de gelegde contacten aanleiding voor bredere samenwerking onderling tussen wetenschappers. Het feit dat veel deelnemers zeer op het eigen onderzoeksterrein waren geconcentreerd en minder op de hoogte waren van ontwikkelingen in aanpalende onderzoeksterreinen, tekent in elk geval de noodzaak hiertoe.

Zien is geloven

workshop _ Mobiliteit

Of het nu gaat om coatings en lakken, sensoren, filters, lichtgewicht materiaal, nanotechnologie heeft nog een wereld te winnen in de wereld van mobiliteit.

Tijdens de workshop nanotechnologie en (auto) mobiliteit bleken vooral beleidmakers, docenten van hogescholen te hebben ingeschreven. Vertegenwoordigers uit de automobielenindustrie bijvoorbeeld waren afwezig.

Ir. Frank Simonis benadrukte dat juist de uitwisseling van kennis een belangrijke eerste stap zou zijn om de mogelijkheden van nanotechnologie sneller en beter in de automobilititeit in te passen. Het zou helemaal mooi zijn als dit in de vorm van werkbezoeken mogelijk zou zijn, want 'zien is geloven', volgens Simonis.

De praktijk van nu wijst uit dat kennis over elkaars vakgebieden onvoldoende is om al van kruisbestuiving te kunnen spreken. Juist de

bereidheid om kennis uit te wisselen, groeit als wetenschappers, industrie en overkoepelende organisaties elkaar weten te vinden.

Uit de kinderschoenen helpen Dr.ir.

Frank Karelse, program officer bij STW, vatte de gesprekken die tijdens de workshop ontstonden, kort en bondig samen. 'Nanotechnologie wil iets met automobilititeit en automobilititeit wil iets met nanotechnologie. In het voorjaar hebben specialisten uit de automobielenbranche gebrainstormd. De voorlopers uit beide branches zullen zich meer outreachend moeten gaan opstellen om tot samenwerking te komen.'

De workshopleiders Mel McGillivray, senior adviseur bij SenterNovem, ir. Frank Simonis van TNO en dr.ir. Frank Karelse van STW zien een schone taak voor zich weggelegd. Zij gaan de beide branches uit de kinderschoenen helpen door de eerste contacten te leggen.



Mooie eerste toenadering

workshop _ Wonen en Bouwen

In de bebouwde omgeving is nanotechnologie nog niet echt ingeburgerd. Mogelijkheden zijn er volop, maar nog lang niet alle spelers vertrouwen blind op toepassingen. Dr.ir. Eddy Koenders en dr.ir. Arjan Mol, beiden van de TU Delft, leidden samen met dr.ir. Corine Meuleman van STW een workshop om wensen en problemen te identificeren.

Nanotechnologie heeft zich in de bouwsector al bewezen. Verduurzaming en versterking van constructies, minimalisering van milieubelasting, verbeterde hittebestendigheid van materialen zijn goede voorbeelden van al bestaande toepassingen en mogelijkheden.

In de sector Bouwen en Wonen spelen echter ook aannemers een belangrijke rol, onder meer als het gaat om het gebruik van materialen in

projecten. Zijn zij overtuigd van nut en noodzaak van toepassing van nanotechnologie, dan zal dit de ontwikkeling versnellen. In het algemeen zijn aannemers terughoudend, omdat zij in aanbestedingen prijs en wetgeving in acht moeten nemen. Prijs en wetgeving leiden er vaak toe dat aannemers kiezen voor betrouwbare, goedkope materialen. Hier komt nog eens bij dat zij sinds enkele jaren verantwoordelijk zijn voor het onderhoud van het gebouwde. Dat is vaak een extra reden om experimenten met materiaal of grondstof te vermijden.

Schilders willen buitenseizoenen verlengen

Om hen het belang van nanotechnologie te doen inzien, bespraken de deelnemers aan de workshop elk onderdeel van het bouwproces. Definitieve afspraken werden niet gemaakt, maar sommige deelnemers vonden wel aan-



knopingspunten. Zo was drs. Martin Terpstra, directeur van de Vereniging voor Verf- en drukinktfabrikanten (VVVF), naar de conferentie gekomen, onder meer om zich te oriënteren op de mogelijkheden voor schilders om hun buitenseizoen te verlengen. Mol zag kansen om verf met behulp van nanotechnologie zo samen te stellen dat deze ook bruikbaar is onder slechte weersomstandigheden. Koenders opperde de mogelijkheid te onderzoeken hoe verf zich verhoudt tot onderliggende materialen. Zo zijn inmiddels vormen van beton ontwikkeld die autoherstel mogelijk maken met behulp van nanotechnologie. Terpstra toonde zich geïnteresseerd om hierover door te praten. Een mooi voorbeeld van een eerste toenadering tussen wetenschap en bedrijfsleven.

Hoe worden we de risico's de baas?

workshop _ Risico's nanotechnologie

De workshop Risico's van nanotechnologie ging niet zozeer over de risico's zelf, maar meer over hoe de onzekerheden met betrekking tot de risico's de baas te worden. Dr. Adriënne Sips van het RIVM, dr. Frans Krens van de WUR en dr. Marja Oosterlaken-Dijksterhuis van STW, leidden de goed bezochte workshop.

Aan de hand van prikkelende uitspraken en stellingen voerden zij een inhoudelijke discussie met de mensen in de zaal. Het eerste discussiepunt ging over de vraag of het überhaupt wel verstandig is om nanotechnologie te bevorderen als de risico's niet goed bekend zijn. Algemeen oordeelden de aanwezigen dat een moratorium op nanotechnologie, zowel qua onderzoek als qua toepassing, ongewenst is. Het is nu eenmaal niet mogelijk alleen wetenschappelijk onderzoek te doen op terreinen waarvan de onderzoeker van tevoren kan uitsluiten dat hij voor verrassingen komt te staan.

Stakeholdersoverleg

Het overgrote deel van de aanwezigen was het eens over de noodzakelijkheid van stakeholdersoverleg. Daarbij dient zich wel direct de vraag aan wie daarin betrokken zouden moeten worden omdat in feite heel veel betrokkenen uit de wetenschap, het bedrijfsleven, de overheid en maatschappelijke instellingen stakeholder zijn. Wie dan de juiste zijn, bleek tijdens de workshop niet helemaal te beantwoorden.

Voor een goed stakeholdersoverleg zijn de volgende punten van belang:

- Partijen moeten vertrouwen hebben in elkaar
- Partijen moeten mandaat hebben van hun (brede) achterban
- Partijen moeten verantwoording durven nemen/moed durven tonen
- Partijen moeten bestaan uit: wetenschap (fundamenteel en toegepast), industrie (van producent tot retailers), politiek en maatschappelijke instellingen.



Een ander punt aangaande het stakeholders-overleg was dat het wel ergens toe moet leiden. Dit is te sturen door vooraf een doel te stellen.

De rol van de consument in dit overleg bleek een discussiepunt: de consument heeft recht op goede voorlichting en op productveiligheid, maar de vraag is of een openbare discussie gewenst is. Op dit punt werd de vergelijking met Groot Brittannië gemaakt waar nu kanttekeningen bij het proces rond de openbare discussie worden geplaatst.

In de discussie kwam sterk naar voren dat het van belang is een onderscheid te maken tussen de sectoren waarin nanotechnologie een rol speelt. Dé nanotechnologie bestaat niet, zo luidde de algemene mening. Wil er draagvlak voor nanotechnologie (blijven) bestaan, dan zal goede communicatie (onderling en richting maatschappij) een voorwaarde zijn. In alle openheid en in begrijpelijke taal moeten burgers kennis kunnen nemen van de ontwikkelingen op het gebied van nanotechnologie. De vraag wie dergelijke voorwaarden moet scheppen, werd niet eenduidig beantwoord. Zowel de overheid als het bedrijfsleven werd genoemd.

Een wervelwind aan ideeën en suggesties

De levendige discussie tijdens de workshop zorgde niet alleen voor wat meer uitgewerkte gedachtegangen. Ook een aantal losse opmerkingen verdient de aandacht. Een greep uit de wervelwind aan ideeën en suggesties:

- _ Een risicovrije wereld bestaat niet. Men wil echter wel een goede afweging kunnen maken.
- _ Risico's zijn direct gerelateerd aan angsten. Ethische aspecten en normen en waarden zullen onvermijdelijk deel uitmaken van de discussie.
- _ Wat is het risico? Wie/welke instantie kan de risico's inschatten? Een mooie rol voor het RIVM?
- _ Bij wie of wat moet je zijn als je een product op de markt wilt brengen? Wat moet op een product vermeld worden? RIVM? Voedsel- en Warenautoriteit?
- _ Verantwoord omgaan met risico's vraagt om een goede wet- en regelgeving. Met betrekking tot nanodeeltjes is inmiddels bekend dat de huidige wet- en regelgeving niet voldoet. Traditioneel wordt toxicologisch gewerkt met hoeveelheden. De (schadelijke) effectiviteit van nanodeeltjes wordt echter bepaald door onder andere grootte en vorm.

- _ Blootstelling aan vrije nanodeeltjes lijkt gering. Het lijkt dan ook beter om naar de applicatie(s) te kijken.
- _ Nederland zou een belangrijke rol kunnen spelen in de nanotoxicologie.
- _ Belangrijk is om alert te blijven. Naast directe gevolgen kunnen er op de langere termijn ook indirecte gevolgen zijn.
- _ Risico's al meenemen bij het invullen van de onderzoeksagenda en bij het opstellen van onderzoeksprogramma's.
- _ Lering trekken uit het toepassen lijkt onvermijdelijk. Zo is het veel andere technologieën ook gegaan.
- _ Ook internationaal hard aan trekken/afstemmen.

Workshopleider Frans Krens (Risiko):
"Wat ik heb meegenomen als voornaamste conclusies uit onze workshop? Doorgaan met het ontwikkelen van toepassingen en producten, en producten en processen onderwerpen aan de veiligheidsformuleringen/-eisen/-protocollen zoals die met onze huidige kennis van zaken gelden voor de diverse categorieën van producten en processen. Daarbij leren van de gevallen waar het onverhoopt misgaat; die identificeren > inperken of wegwerken > veiligheidseisen aanpassen."



Colofon

Interval verschijnt 3 à 4 keer per jaar in pdf.
Gratis abonnement via pr@stw.nl
concept en uitgave _ STW, Utrecht
verslagen en interviews _ Schrijverderwijs, Rotterdam
fotografie _ Ivar Pel, Utrecht
ontwerp _ argante argante, Amsterdam

Technologiestichting STW

Van Vollenhovenlaan 661
3527 JP Utrecht
telefoon _ 030 6001 211
fax _ 030 6014 408
e-mail _ pr@stw.nl
internet _ www.stw.nl
stw-nummer _ 2007/10711/STW