

Driedimensionaal meekijken met de chirurg

Innovaties in 3D-beeldtechniek

Met de intrede van minimaal invasieve chirurgie werd 3D-zicht minder vanzelfsprekend. Daar komt steeds meer verandering in. In de console van de Da Vinci-robot beschikt de chirurg inmiddels over 3D-zicht, maar de operatieassistenten moeten het nog met tweedimensionaal beeld doen. TNO werkt samen met urologen aan beeldtechnologie waarmee de operatieassistenten óók 3D-beeld hebben en waarmee het hele operatiegebied in 3D vastgelegd kan worden, bijvoorbeeld voor opleidingsdoeleinden.

TEKST: DR. F.P. WIERINGA, SENIOR SCIENTIST MEDICAL EQUIPMENT, TNO & ERASMUS MC, AFDELING BIOMEDICAL ENGINEERING; DR. H. BOUMA, RESEARCH SCIENTIST INTELLIGENT IMAGING, TNO; DR. H.P. BEERLAGE, UROLOOG, JEROEN BOSCH ZIEKENHUIS & SECRETARIS SWEN. | FOTO'S: TNO.

Voor goede oog-handcoördinatie tijdens een operatie is diepteperceptie van groot belang. Bij open chirurgie is een goede diepteperceptie vanzelfsprekend: er is sprake van direct dieptezicht op het operatieveld, en daardoor van een natuurlijke oog-handcoördinatie. Toen chirurgie met indirect zicht via de operatiemicroscop werd geïntroduceerd, kwamen al snel stereomicroscopen op de markt. Daardoor bleef ook hier het dieptezicht behouden. Met de opkomst van minimaal invasieve chirurgie en de daarbij behorende enkelvoudige beeldketen (één camera en één beeld op het scherm) viel het stereoscopisch zicht echter weg.

Omdat de voordelen van endoscopische chirurgie aanzienlijk zijn, kon dit nadeel worden geaccepteerd. Bovendien heeft de mens meerdere mechanismen voor dieptezicht (zie kader 'Hoe zien we diepte?'). Ook al ervaren we een gewoon beeldscherm als een plat object, er is best een ruimtelijke indruk mee te verkrijgen. We zien immers wel de diepte-

scherpstelling van de camera (voorwerpen voor en achter het focuspunt zijn waziger), het perspectief, de – zij het beperkte – occlusie (voorwerpen die el-

kaar deels afdekken) en de beweging van de camera ten opzichte van andere objecten. Daarnaast geven ook schaduwen en verlichtingsintensiteit diepte-infor-



1. Analoge 3D-meekijkmonitor met 3D-dvd-recorder in het Canisius-Wilhelmina Ziekenhuis te Nijmegen. Deze foto is niet door een 3D-bril gemaakt en toont daarom linker- en rechterbeeld door elkaar.



2. Digitale 3D-meekijkmonitor (linksonder) in het Jeroen Bosch Ziekenhuis te Den Bosch, met daarboven linker- en rechterbeeld apart. Deze foto is door één glas van een 3D-bril genomen, waardoor een (enkelvoudig) scherp beeld te zien is. Zie foto 3 voor een stereofoto van deze 3D-monitor.

matie. De wens voor optimaal diepte-zicht bij endoscopie bleef echter op de achtergrond aanwezig.

In de jaren tachtig en negentig van de vorige eeuw stonden systemen met stereoscopische endoscopen en 3D-displaybrillen in de belangstelling, maar de techniek was nog niet ver genoeg. Nogal wat gebruikers van deze vroege systemen werden 'zeziek' van de virtual-reality-helmen die werden toegepast, en de voordelen wogen niet op tegen de kosten en complexiteit. Goedkope alternatieven met gekleurde rood-cyaanbrilletjes gaven zwaar onvoldoende kleurkwaliteit voor medische doeleinden.

De laatste jaren is de Da Vinci-robot in opkomst. Het optische systeem van de toegepaste stereo-optiek is in principe gelijk aan dat van eerdere stereo-endoscopen. Een grote verbetering is echter dat het diepte-zicht in de console zeer natuurgetrouw is. Tot voor kort kon alleen de chirurg in de console profiteren van 3D-beeld, maar inmiddels zijn er bruikbare en betaalbare 3D-monitoren op de markt. Deze bieden ook aan de

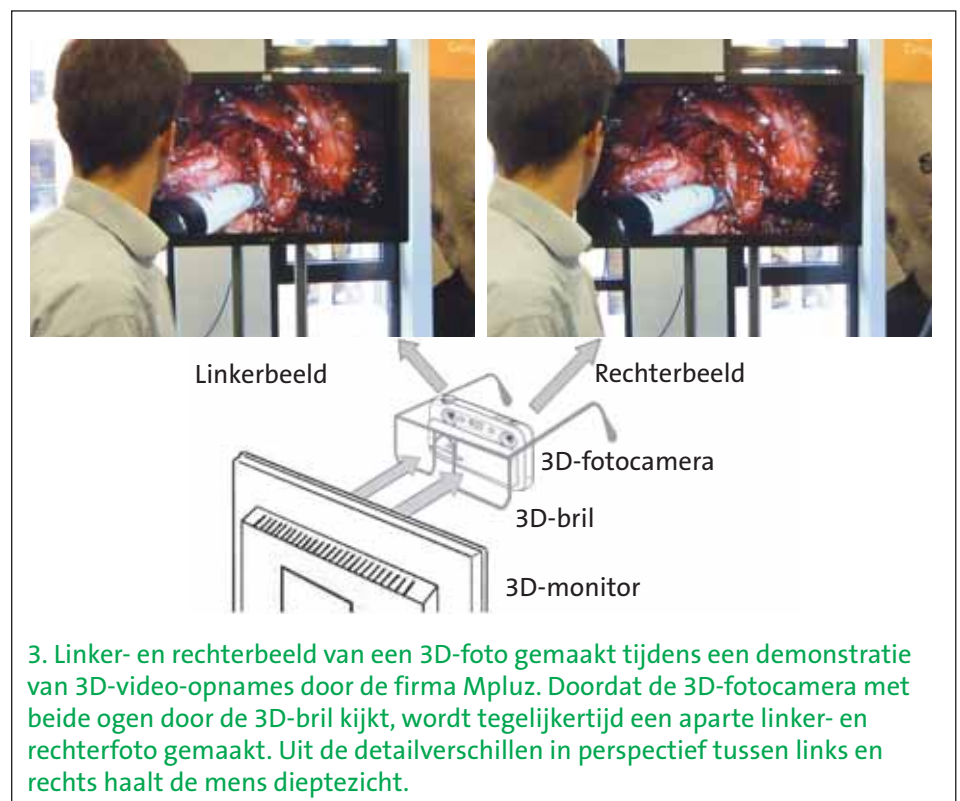
operatieassistenten 3D-zicht en bieden extra opleidingsmogelijkheden, zeker in combinatie met 3D-recording. Door de

beschikbaarheid van deze 3D-monitoren zijn handbediende stereo-optieken voor laparoscopie nu ook aan het doorbreken.

Samenwerking TNO en urologen

In 2010 deed TNO samen met het Canisius-Wilhelmina Ziekenhuis te Nijmegen onderzoek naar mogelijkheden om ook buiten de Da Vinci-console 3D-beeldtechnologie in te zetten. In november 2010 werden enige resultaten getoond tijdens de nationale robotchirurgiedag in Nijmegen.¹ Dit wekte zo veel enthousiasme dat begin 2011 een Branche Innovatie Contract werd gesloten tussen TNO en de Stichting Werkgroep Endo-urologie Nederland (SWEN). Er werden twee probleemstellingen aangepakt:

1. Hoe kan de operatierobot aan een 3D-scherm worden gekoppeld met voldoende beeldkwaliteit, zodat ook operatieassistenten 3D-zicht hebben, terwijl wordt voldaan aan alle strenge veiligheidseisen op de operatiekamer?



3. Linker- en rechterbeeld van een 3D-foto gemaakt tijdens een demonstratie van 3D-video-opnames door de firma Mpluz. Doordat de 3D-fotocamera met beide ogen door de 3D-bril kijkt, wordt tegelijkertijd een aparte linker- en rechterfoto gemaakt. Uit de detailverschillen in perspectief tussen links en rechts haalt de mens diepte-zicht.

2. Kunnen endoscoopbeelden (óók van een gewone, 'enkele', starre endoscoop), die slechts een beperkt blikveld tonen, aan elkaar gesmeed worden tot een veel groter 3D-panorama?

3D-mee kijkschermen

Het bleek goed mogelijk om een 3D-mee kijkscherm aan de robot te koppelen.² Binnen het project werden twee verschillende 3D-mee kijkopstellingen gerealiseerd: een analoge oplossing voor het

eerstegeneratie-Da Vinci-systeem met S-video-uitgangen (foto 1) en een digitale oplossing voor de tweede en derde generatie (S- en Si-systemen) met HD-SDI-uitgangen (foto 2).

Het endoscopische camerasysteem van de bestaande Da Vinci-robot heeft twee aparte 'ogen'. De beelden van dit linker- en rechterkanaal worden binnen in de console vertoond op twee aparte, grote beeldschermen. Via een systeem van spiegels en lenzen worden de beelden

hiervan door een brilvormig display geprojecteerd in de beide ogen van de chirurg.

Op de robot zijn ook videoaansluitingen aanwezig voor (gewone) extra monitoren. Zowel het linker- als het rechterbeeld is apart beschikbaar. Wanneer deze signalen op de juiste manier samen worden aangeboden aan een 3D-monitor, vertoont deze het linkerbeeld aan het linkeroog en het rechterbeeld aan het rechteroog. Bij de meeste 3D-moni-

Hoe zien we diepte?

Het visuele systeem is het krachtigste zintuig van de mens. We kunnen er de driedimensionale rangschikking van objecten en beweging in de ruimtelijke omgeving mee interpreteren. Hiervoor maakt ons brein onder meer gebruik van stereopsis: het doorlopend combineren van de beelden van onze twee netvliezen tot één geheel, waardoor een sensatie van dieptezicht ontstaat. Dit is mogelijk doordat deze beelden enigszins verschoven en verdraaid zijn ten opzichte van elkaar.

Met het volgende testje is te zien hoe stereopsis werkt. Zet een aantal gelijke voorwerpen recht voor u op een rij op ongeveer 1 meter afstand. Houd het hoofd stil, en kijk afwisselend met het rechter- of linkeroog naar deze voorwerpen (door bijvoorbeeld wisselend te knipogen). De voorwerpen lijken te verspringen (zie de foto's hieronder). Wanneer we in het echt met onze neus op de middellijn voor dit rijtje flesjes zouden staan, zou ons brein de beelden combineren en zouden we een rechte lijn flesjes zien met beide balletjes half zichtbaar. Ook wanneer het linker- en rechterzicht samen via een 3D-monitor worden getoond, zouden we diepte zien, omdat de beelden dan weer apart op het linker- en rechteroog binnenkomen.

Zelfs met slechts één oog kunnen we meestal een goede inschatting maken van onze omgeving. We 'scannen' de omgeving, bijvoorbeeld door ogen en hoofd te draaien, waarbij onze ogen traploos scherpstellen op de vormen waarop we ons richten. Door dit te combineren met wat ons brein uit eerdere ervaringen heeft geleerd (interpretatie), bouwen we doorlopend een 'diepteplaatje' in ons hoofd op. Doordat we dus ook diepte kunnen inschatten zonder goed stereozicht is het mogelijk dat een deel van de mensen – de schattingen lopen uiteen van 12 tot 20 procent – niet optimaal in stereo ziet (bijvoorbeeld door een 'lui oog') zonder daar veel van te merken.

In zijn boek *Het innerlijk oog* legt neuroloog Oliver Sacks uit hoe we driedimensionaal zien en hoe we ons met gesloten ogen de wereld kunnen voorstellen. Ook behandelt hij ervaringen van mensen die pas op latere leeftijd hun stereozicht ontwikkelden.⁹ In totaal zijn er acht mechanismen voor dieptezicht.¹⁰ Behalve stereopsis zijn dit scherpstelling, perspectief, occlusie (voorwerpen die elkaar deels afdekken), kleurintensiteit en contrast (fletser en waziger beeld in de verte), relatieve beweging (veranderingen in omgevingsbeeld door eigen beweging) en divergentie/convergentie (van de hoek tussen de zichtlijnen van het oogpaar).



Bovenaanzicht.



Vooraanzicht van het linkeroog. Alleen het zwarte balletje is half zichtbaar.



Vooraanzicht van het rechteroog. Nu is alleen het witte balletje half zichtbaar.



Fotocredit: Bourgonje

4. Symposiumbezoekers kijken naar live chirurgie en 3D-presentaties met een actieve 3D-bril.



5. Klinisch fysicus M. Sinaasappel test een interactief 3D-werkstation van PS-Tech, waarin een kloppend 3D-hartmodel met de hand 'opgepakt' en naar alle kanten gedraaid kan worden. Tevens kunnen hiermee allerlei doorsnedes worden gevisualiseerd.

toren is hiervoor een speciale bril nodig, maar er zijn ook types die zonder bril werken (zie kader 'Soorten 3D-monitoren en -brillen').

De analoge meekijkopstelling in het SWEN-project maakte gebruik van actieve 3D-brillen; de digitale meekijkopstelling van passieve 3D-brillen. Foto 3 toont de afzonderlijke beelden zoals het linker- en het rechteroog die zien door de 3D-bril bij het kijken naar de toegepaste digitale meekijkmonitor. Deze foto is genomen met een 3D-camera die dezelfde oogafstand heeft als de mens.

Met 3D-technologie is niet alleen op de OK driedimensionaal zicht op het operatiegebied mogelijk. Via glasvezel kunnen de 3D-signalen worden doorgevoerd naar een andere locatie, waar ze op een groot scherm kunnen worden geprojecteerd. Ook kunnen 3D-monitorbeelden worden opgenomen en eventueel bewerkt. Vervolgens kunnen ze elders worden getoond. Op het symposium 'Nieuw ziekenhuis, nieuwe technologie', werd afgelopen december in het Jeroen Bosch Ziekenhuis van deze beide mogelijkheden gebruikgemaakt (foto 4). Tijdens dit symposium probeerde het publiek ook diverse demo-opstellingen uit (foto's 5 en 6).

Digitale atlas van het lichaam

Zowel bij stereoscopische als bij gewone, 'enkele' optieken omvat het endoscoopbeeld slechts een beperkt blikveld. Daarom hebben TNO en de SWEN onderzocht of bij het verkennen van het chirurgisch werkveld opvolgende beelden aan elkaar gesmeed kunnen worden tot een veel groter 3D-panorama. Dit bleek inderdaad mogelijk. Voor deze methode is niet perse een stereo-optiek nodig. Ook beelden van een gewone endoscoop die het lichaam verkent, kunnen aan elkaar gesmeed worden tot een veel groter 3D-panorama (foto 7).³

Door TNO was al eerder een methode ontwikkeld om *crime scenes* gedetailleerd in 3D vast te leggen.⁴ Deze reconstructie-software bleek ook prima toepasbaar binnen de endoscopische chirurgie, nadat deze samen met de SWEN was aangepast. Dit alles zou niet mogelijk zijn geweest zonder de medewerking van urologisch laparoscopisten dr. J.P. van Basten (Canisius-Wilhelmina Ziekenhuis) en dr. H. Beerlage (Jeroen Bosch Ziekenhuis), evenals die van de medisch instrumentatietechnici en OK-medewerkers van beide ziekenhuizen. Een mooi voorbeeld van synergie tussen verschillende vakdisciplines!

Met deze methode kunnen digitale atlasen worden samengesteld waarin men kan rondkijken binnen verschillende lichaamsholten, in verschillende richtingen, gedurende verschillende stadia van een ingreep. Daarbij is ook in- en uitzoomen mogelijk. Vooralsnog zijn alleen binnen de urologie zulke 3D-reconstructies gemaakt, maar het spreekt vanzelf dat de applicaties hier niet toe beperkt blijven. In principe is het mogelijk om voor velerlei specialismen digitale endoscopieatlassen samen te stellen.

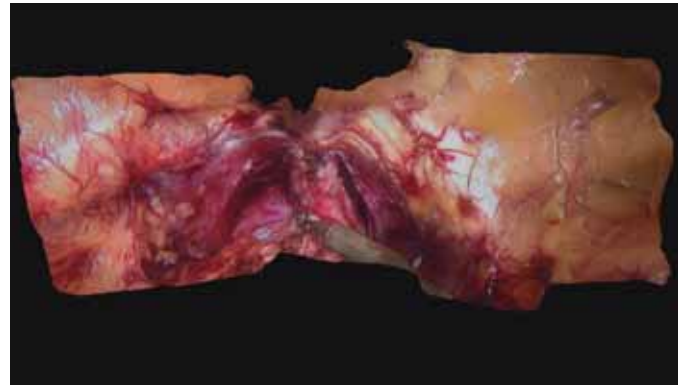
De enige benodigdheden voor een digitale atlas zijn een kalibratietarget (een kunststof plaatje met een schaakbordpatroon), een dvd-recorder en de TNO-reconstructiesoftware.

Valkuilen vermijden

Voor brede klinische impact is een uitgewerkt product nodig. Zover is het nog niet. TNO doet alleen onderzoek en brengt geen producten op de markt. Daarom is een kennisuitwisselingsproject gestart met Nederlandse bedrijven die producten en diensten rondom 3D-beeldtechnologie leveren.⁵ Bij het invoeren van nieuwe technieken dient men objectief te werk te gaan. Ook de mogelijke valkuilen dienen hel-



6. Het Microlab-werkstation van Virtual Proteins (links) werkt net als een microscoop, alleen toont het een virtuele werkelijkheid, waarmee allerlei interacties mogelijk zijn. Rechts een voorbeeld van een 3D-model.



7. Panoramische reconstructie waarin met TNO-software een groot aantal verschillende endoscoopbeelden is samengevoegd tot één 3D-model. Het 3D-model is interactief: vrij rondkijken in verschillende richtingen en in- en uitzoomen is mogelijk.

der te zijn, zodat daar van meet af aan aandacht voor is.⁶ Dr. M. Wentink (Simendo) legde tijdens een voordracht over digitale endoscopietrainers op het symposium in het Jeroen Bosch Ziekenhuis onder meer het *uncanny valley*-effect uit: een afbeelding die net niet helemaal levensecht is, wordt soms minder

prettig gevonden dan een duidelijker abstractie. Prof. J. Bos (VU & TNO) wees op een andere belangrijke valkuil: de eerder al genoemde cybersickness.⁷ Iemand kan zeeziek worden wanneer tegenstrijdige informatie vanaf het oog en het evenwichtsorgaan de hersenen in verwarring brengt.

Door tijdens de ontwikkeling te praten met gebruikers en door *human factor engineering* toe te passen komt men tot klinisch bruikbare producten.

Toekomstige toepassingen

Voorzien mag worden dat 3D-beeldtechnologie in steeds sterkere mate binnen

Soorten 3D-monitoren en -brillen

Hoe creëren monitoren 3D-zicht? Dat hangt af van de soort. Sommige systemen werken met *actieve brillen*. Deze monitoren zenden afwisselend het linker- en het rechterbeeld uit. In de bril zitten *LCD shutters* (elektronische sluiters) die afwisselend helder en donker worden, precies in de maat met het uitgezonden signaal. Door dit heel snel af te wisselen komt het juiste beeld in het juiste oog. Voordeel is dat beide ogen de volledige beeldresolutie ontvangen. Nadeel is dat deze brillen een batterij nodig hebben en vrij zwaar zijn. Bij systemen met *passieve brillen* is de polarisatie (trillingsrichting van het licht) van het linker monitorbeeld tegengesteld aan dat van het rechter-

beeld. Linker- en rechterglas van de bril zijn óók tegengesteld gepolariseerd, zodat de beelden bij het juiste oog komen. De brillen zijn goedkoop, licht en hebben geen batterijen nodig. Nadeel is dat ze links en rechts de helft van de beeldresolutie overlaten. Er zijn wel systemen met hoge kwaliteit, maar die zijn duurder.

Systemen met *gekleurde brilletjes* geven een slechte 3D-kwaliteit, maar kunnen wel gebruikt worden in combinatie met gewone 2D-beeldschermen of afdrucken op papier. In een zogenaamd anaglif worden de beide beelden met twee verschillende kleuraccenten over elkaar afgedrukt. Beide ogen zien beide beelden, maar niet even sterk. Door de

kleurenfilters in de bril krijgen linker- en rechterbeeld iets meer nadruk in het corresponderende oog. Daardoor ontstaat een redelijke 3D-indruk, maar dit gaat zwaar ten koste van de beeldkwaliteit.

3D-monitoren *zonder bril* hebben een optisch systeem waarmee ze twee en soms meer beelden onder verschillende hoeken uitzenden. Dit gaat echter ten koste van de resolutie (het aantal pixels). Bovendien vervormt het beeld als de kijker beweegt. Vaak is het beeld wat streperig. Brilloze beeldschermen staan nog in de kinderschoenen, maar worden in snel tempo verbeterd. Voorlopig is de kwaliteit echter nog onvoldoende voor chirurgische doeleinden.



8. Endoscopische cameratrainer van Simendo gekoppeld aan TNO-laptop met 3D-model van het kleine bekken (hier na verwijdering van de prostaat). Door de joystick te bewegen zoals een camera, kun je navigeren alsof je via de endoscoop in een echte patiënt rondkijkt. De beelden kunnen naar keuze op een gewone of een 3D-monitor worden bekeken.

en buiten de OK aanwezig zal zijn. 3D-beelden zijn zeker niet exclusief verbonden aan robotchirurgie. Ook andere modaliteiten kunnen 3D-beelden leveren, zoals OK-microscopen, ultrasound, röntgen en MRI. Voor ziekenhuizen met plannen voor nieuwbouw of verbouwingen is het daarom zinvol om netwerken en archiveringsystemen zodanig in te richten dat deze voorbereid zijn op de grotere informatiestroom die 3D-beeldtechniek met zich meebrengt. Een eerste concrete toepassing van de 3D-reconstructietechniek lijkt te liggen bij endotrainers voor skillslabs (foto 8). Deze bieden geheel nieuwe opleidingsmogelijkheden en zouden de leercurve voor oriëntatie binnen het lichaam enorm kunnen versnellen. Inzet van 3D-visualisatie heeft aantoonbare meerwaarde bij anatomische educatie.⁸ Door de visualisatie, zoals hier, ook nog eens interactief te maken, neemt deze meerwaarde nog verder toe. Er is een enorm

verschil tussen passief kijken naar een video waarop men zelf geen invloed heeft en actief zelf rondkijken en navigeren door een levensecht patiëntenmodel. Voor anatomische 3D-atlassen gevuld met echte cases lijkt dus perspectief te zijn. Maar zoals bij alle voorspellingen geldt: de tijd zal het leren. ◀

Literatuur:

1. Wieringa FP, Mark W van der, Bouma H, Boetz H, Basten JPA van. Nieuwe perspectieven in de robotchirurgie. Nationale robotchirurgiedag, Nijmegen 20 nov. 2010.
2. Wieringa FP, Basten JPA van, Mark W van der, Bouma H. 3D reconstructies in de laparoscopie. NVKF-jaarcongres apr. 2011.
3. Bouma H, Mark W van der, Eendebak P, Landsmeer S, Eekeren A van, F. Haar F ter, Wieringa FP, Basten JPA van, Streaming video-based 3D reconstruction method compatible with existing monoscopic and stereoscopic endoscopy systems. SPIE

proc, vol. 8371A, 2012.

4. Iersel M van, Veerman H, Mark W van der. Modeling a crime scene in 3D and adding thermal information. Proc. SPIE 7481, 2009.
5. Wieringa FP. TNO-SWEN Branche Innovatie Contract als technologie-incubator voor endochirurgische 3D-technologie. Health and Technology Congress, Papendal 13-14 sept. 2011.
6. Wieringa FP, Poley MJ, Dumay ACM, Steen AFW van der. Avoiding pitfalls in the road from idea to certified product (and the harsh clinical environment thereafter) when innovating medical devices. Proc. 6th Belgian Day on Biomedical Engineering, Brussels dec 2007.
7. Bos JE, Bles W, Groen EL. A theory on visually induced motion sickness. Displays 2008; 29:47-57.
8. Luursema JM, Verwey WB, Kommers PAM, Annema JH. The role of stereopsis in virtual anatomical learning. Interacting with Computers 2008; 20:455-460.
9. Sacks O, Het innerlijk oog. Amsterdam: Meulenhoff, 2010.
10. Reichelt S, Häussler R, Fütterer G, Leister N. Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays. In: Javidi B, Son JY, editors. Three Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2010. 23 apr. 2010. Proc. SPIE 7690, 76900B; 2010.

NVEC-jaarcongres

Op het jaarcongres van de Nederlandse Vereniging voor Endoscopische Chirurgie op 12 en 13 maart te Arnhem, is visualisatie van de toekomst met 3D een van de highlights, in het kader van het congressthema 'looking better'. Hier zal TNO een overzicht presenteren van wat op 3D-gebied zoal reeds beschikbaar is en welke nieuwe perspectieven zich in de nabije toekomst aftekenen. Voor meer informatie zie www.nvec.nl.