

4D CAD

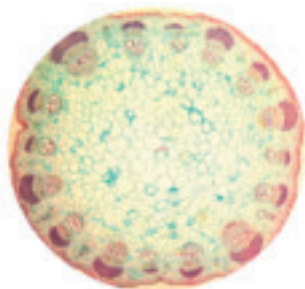
Het conservenblik werd uitgevonden in 1810. Een enorme doorbraak voor de voedselindustrie. Al snel werd het inblikken verbeterd en gemechaniseerd, in 1850 rolde ingeblikt eten in grote hoeveelheden uit de fabrieken. Voedsel is lang houdbaar in conservenblikken. Dat was maar goed ook, want er was één probleempje: pas in 1870 werd een enigszins bruikbare blikopener uitgevonden. Momenteel dienen zich productietechnieken aan waarmee binnen één object verschillende materialen gemengd kunnen worden. De machines die het kunnen, komen er aan. Het wachten is nog op software om de producten te ontwerpen.

Ing. Alfard Jansen

Bij Rapid Prototyping en Rapid Manufacturing worden producten laag-voor-laag opgebouwd. In principe hoeft niet elk punt dezelfde eigenschappen te hebben. Verschillende materialen kunnen dan vrijwel naadloos in elkaar overvloeien. Wereldwijd wordt gewerkt aan de verbetering van verscheidene technieken, die samen worden aangeduid met de term Functionally Graded Material (FGM).

Waarom?

Dat het mogelijk is, betekent nog niet dat het ook in een behoefte voorziet. In de constructie van bomen, planten en botten, valt op dat de natuur veel gebruik maakt van FGM. Hierdoor is bijvoorbeeld een bloemsteel licht en stijf en zijn er functies geïnte-



De natuur gebruikt zelden homogeen materiaal. Een bloemsteel is optimaal geconstrueerd door variërende materiaaleigenschappen en -dichtheden.

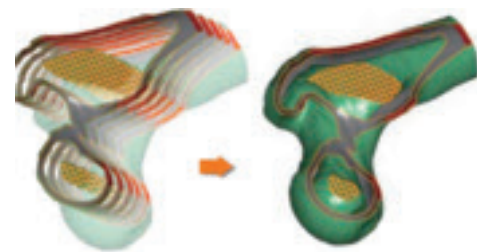
greerd, zoals het transport van water en voedingsstoffen. Je kunt je afvragen of de menselijke voorkeur voor homogene materialen terecht is, of ontstaan omdat we nou eenmaal niet anders kunnen.

Materiaalverdeling vastleggen

De FGM machines lijken op printers voor driedimensionale objecten. Een printer kan pas iets uitprinten als je er een computerbestand instopt. Op dit moment bestaat er geen bestandsoort voor 3D FGM objecten. CAD-toepassingen en 3D bestandsoorten zoals STEP, IGES of STL definiëren alleen de buitenste schil van een object. Er wordt vanuit gegaan dat de ruimte daarbinnen helemaal is opgevuld met homogeen materiaal.

In de productie van bijvoorbeeld Stereolithografie of SLS wordt laag voor laag de contour blindelings opgevuld met materiaal. Variërende, verlopende materiaalgradaties zijn niet mogelijk. Het ligt voor de hand om graded materials op te slaan, door ze punt voor punt te beschrijven. Equivalent aan de pixels van een foto wordt een 3D volume dan opgebouwd uit voxels. Het laagsgewijze printen vindt plaats door opeenvolgende plakjes van het CAD model stuk voor stuk als een soort kleurenfoto naar de printer te sturen. Als beelden uit een film.

Om echte producten te maken, is wel een



Door een 3D object te beschrijven als een stapel Bitmaps, wordt niet alleen de buitencontour, maar ook de inwendige structuur beschreven. Het Duitse Marcam Engineering GmbH werkt aan de definitie van een FGM bestandsformat.

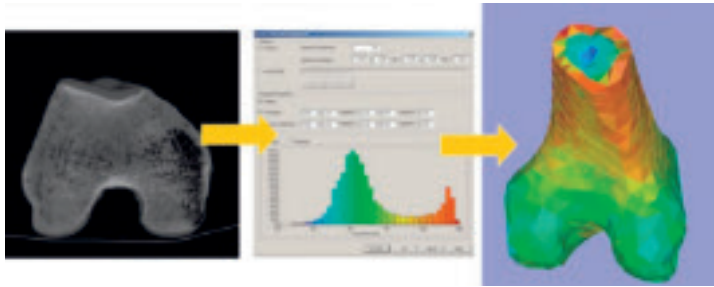
redelijke resolutie nodig. Voxels van maximaal 0,1 mm en producten van minimaal enkele decimeters lijkt geen onredelijke eis. Daardoor escaleert de bestandsgrootte. De beschrijving van één product vraagt meer geheugenruimte dan tien avondvullende speelfilms in HDTV. Met gangbare verbindingskabels vult het versturen naar de printer trouwens ook enkele avonden.

Materiaalverdeling definiëren

Toch is CAD en CAE van heterogene materialen geen toekomstmuziek. Medische gewrichtsimplantaten, zoals kunstknieën of kunstheupen, worden gemonteerd op bestaande botten. Bij het ontwerp van deze producten worden geavanceerde computersimulaties gebruikt. Om het gedrag van de combinatie bot + implantaat betrouwbaar te analyseren is het essentieel dat de simulatie rekening houdt met de verlopende materiaaleigenschappen binnen het bot. In een eindige elementen (FEM) simulatie is het mogelijk om elk element unieke eigenschappen toe te kennen. Omdat de rekenmodellen al snel uit tienduizenden elementen bestaan is het buitengewoon omslachtig om verlopend materiaalgedrag element voor element te definiëren. Materialise uit België ontwikkelde software die op een CT- of MRI scan de materiaaldichtheden herkent, deze vertaalt naar eigenschappen, om die automatisch aan de elementen van het FEM model toe te kennen.

Materiaalverdeling ontwerpen

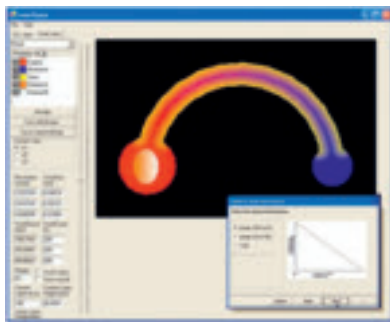
Het liefst wil je als ontwerper natuurlijk zelf de baas zijn over je materiaalverdeling. Als je de parallel trekt met 2D tekenen, dan is solid modeling niet veel meer dan de 'verfemmerfunctie' in Photoshop. Een bui-



Software van Materialise kent materiaalgegevens toe aan een eindige elementen model aan de hand van een MRI- of CT scan.



Bij Solid modeling heeft de ontwerper geen controle over de binnenkant. Alleen de buitencontour van een object wordt gedetailleerd beschreven, de binnenkant wordt blindelings volgestort met materiaal.



TNO ontwikkelt momenteel 'innerspace', 3DCAD software waarmee binnen een 3D object gebieden met verschillende materiaaleigenschappen en de gradiënten daartussen worden ontworpen

tencontour wordt egaal opgevuld met één kleur. Om de materiaalverdeling binnen een 3D object te definiëren is een groter arsenaal aan gereedschappen nodig. Nog mooier is het om FGM objecten te ontwerpen zonder omslachtig punt voor punt je ontwerp op te bouwen. Dat hoeft ook niet. De beschrijving "Een zuurstok verloopt van zoet aan de voorkant naar zuur aan het uiteinde, is zacht van binnen, hard van buiten en heeft rondom een rood, wit, blauwe spiraal" vertelt in weinig woorden de unieke eigenschappen voor elk punt binnen het product. Net als je 3D vorm, wil je ook de materiaalverdeling 'feature based' definiëren. De benodigde CAD software is nog niet te koop, maar er wordt aan gewerkt, onder andere door TNO in Eindhoven.

Material Follows Form and Function

Ontwerpen krijgt er een nieuwe dimensie bij. Het ontwerp is niet af als de vorm is bedacht. Vervolgens moet de materiaalverdeling binnen het product bedacht worden.

Soms biedt dit aantrekkelijke mogelijkheden. Een handgreep die vriendelijk aanvoelt en toch robuust: zacht van buiten, hard van binnen, wie wil dat nu niet? In veel gevallen staat de constructeur voor een onmenselijke opgave. Grote keuzevrijheid en een complex programma van eisen, maken het onmogelijk om analytisch tot de optimale oplossing te komen. De natuur lost dit elegant op. Er bestaat geen blauwdruk die de optimale boomstam of grasriet beschrijft. Wel kunnen de cellen zich ieder afzonderlijk aanpassen. Door iedere bouwsteen optimaal te laten reageren op zijn omgeving, ontstaat als vanzelf het optimale bouwwerk. Programmeurs hebben dit van de natuur afgekeken, en rekenmethoden ontwikkeld die binnen een ontwerpruimte automatisch de optimale vorm zoeken. Nu gaat men daarbij nog uit van homogeen materiaal. De methode bepaalt of er op een bepaalde plek wel of geen materiaal moet zitten. Het lijkt een logische stap om in de toekomst te laten berekenen welk materiaal er het beste is en hoe dit verdeeld moet zijn.

Het Fraunhofer Instituut in Bremen is bezig deze stap te zetten.



Fraunhofer IFAM in Duitsland ontwikkelt software waarmee materiaalverdeling automatisch geoptimaliseerd wordt.

Anders denken

Ontwerpers zijn getraind om te werken met de beperkingen van bestaande materialen en productiemethoden. Het kennen van beperkingen en er instinctief mee omgaan is een belangrijk deel van het vakmanschap. Het heeft immers geen zin om een product te verzinnen dat niet maakbaar is.

De technische en verstandelijke moeilijkheden die overwonnen moeten worden zijn minstens zo uitdagend als de mogelijkheden die FGM biedt. Producten met een variërende materiaalverdeling zijn complex. Ontwerpen is moeilijk, vastleggen in CAD is tijdrovend. Daarom worden er CAD en CAE gereedschappen ontwikkeld die de ontwerper de ingewikkelde en tijdrovende klussen uit handen nemen, zodat die zich kan richten op het benutten van de nieuwe mogelijkheden. Met graded materials worden dingen mogelijk die voorheen onmogelijk waren en die daardoor ondenkbaar lijken. Er zijn mensen nodig die de bestaande denkpatronen los kunnen laten. Ontwerpers met een open blik. «

Over Functionally Graded Material (FGM):

www.custom-fit.org

www.fgm2006.org

http://fgmdb.nal.go.jp/e_index.html

Over FGM productie:

http://rmplatform.com/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=4&Itemid=27

Over CAD voor FGM producten:

http://www2.acae.cuhk.edu.hk/~cmdl/publications/papers/2005/MMMS04_rev_2.pdf