



februari 2013

Productietechniek

## Digitale fabricage: 3D-printen én CNC-frezen

Het zal elke lezer zijn opgevallen dat 3D-printen als interessant onderwerp is opgepakt door de 'algemene' media. Vrijwel elke talkshow heeft inmiddels een enthousiaste gebruiker aan het woord gelaten, de landelijke dagbladen hebben paginagrote artikelen gepubliceerd, en er was zelfs een 3D-printer te koop bij de 'Drie Dwaze Dagen' van een bekend warenhuis. Voor ons vakmensen is dat goed nieuws, na jaren van altijd maar eerst te moeten uitleggen wat 3D-printen inhoudt.

Lex Lennings  
Delft Spline Systems

Verder helpt deze aandacht zeker om de techniek interessant en vet/cool/gaaf (afhankelijk van uw leeftijd) te maken, wat elke constructeur alleen maar zal kunnen toejuichen. Ook is de afgelopen tijd het aantal aanbieders van 3D-printers sterk aan het groeien: vrijwel elke maand komt er wel een nieuwe aanbieder op de markt. Reden voor deze plotselinge groei is het verlopen van een patent van Stratasys op de FDM-methode (Fused Deposition Modelling), wat de weg vrij maakte voor alternatieve aanbieders. Tegelijkertijd dalen de prijzen van de goedkoopste modellen, zowel door de grotere concurrentie als door de grotere fabricage-series. Voldoende redenen om alle genoemde aandacht in de media te verklaren.

### Toevoegen of verwijderen

Door al deze aandacht voor 3D-printing lijkt het alsof materiaal toevoegen (het stapelen van dunne laagjes materiaal) de enige methode is van 'digitale fabricage': een CAD-model omzetten naar een tastbaar model of product. En dat is zeker niet zo: materiaal verwijderen (CNC-verspa-

nen) is voor diverse toepassingen een veel efficiëntere methode. CNC-frezen is in feite precies het tegenovergestelde van 3D-printen:

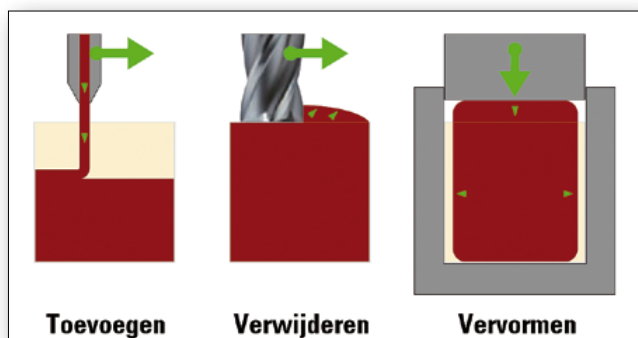
- Een 3D-printer begint met een lege ruimte, en voegt net zo lang kleine hoeveelheden materiaal (voxels, ofwel 3D-pixels) toe totdat de gewenste vorm is ontstaan.
- CNC-frezen begint met een massief blok materiaal, en haalt net zo lang kleine hoeveelheden (spanen) weg totdat de gewenste vorm is ontstaan.

CNC staat voor Computer Numerical Control, dit in tegenstelling tot conventionele machines waarbij de frees beweegt als de gebruiker aan een handwiel draait. Bij CNC-frezen is - net als bij 3D-printen - de toegepaste software bepalend voor het gebruiksgemak. Waar van oudsher CAM-software (om de freesbanen te berekenen) bedoeld is voor gebruik door CNC-specialisten bestaat tegenwoordig ook CAM-software die zonder veel training te gebruiken is. Dergelijke programma's maken het gebruik van een CNC-freesbank even eenvoudig als van een 3D-printer. Als voorbereiding van het frezen is het doorlopen van een wizard voldoende, de rest van het proces is geautomatiseerd.

### Vervormen

Voor de volledigheid moet ook de derde methode om materiaal vorm te geven worden genoemd: materiaal vervormen (afbeelding 1). Deze methode is van toepassing bij gieten (waaronder spuitgieten), smeden en buigen (bijvoorbeeld uit metaalplaat). Bij massaproductie bieden deze technieken een onovertroffen lage kostprijs, voor het eenmalig omzetten van een CAD-model naar een tastbaar model zijn ze minder van toepassing. In bijzondere gevallen als bijvoorbeeld vrijprogrammeerbare CNC-buigmachines kan vervormen het

22



Afbeelding 1. De drie methoden om materiaal vorm te geven.

meest efficiënt zijn, in het algemeen gesproken is de keuze tussen materiaal toevoegen en verwijderen.

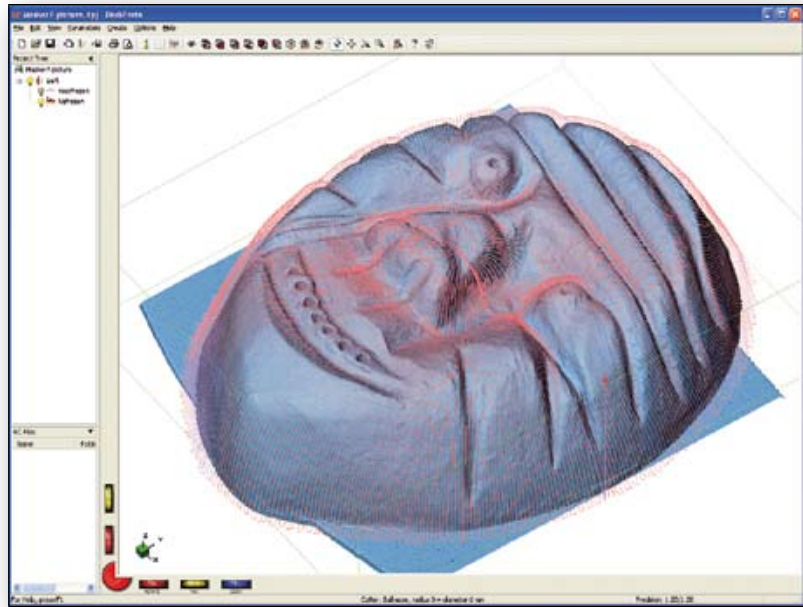
**Voorspellende vergezichten**

Bij de voorheen veel gebruikte term ‘rapid prototyping’ (RP) waren beide methoden duidelijk te onderscheiden door te spreken over ‘Additive RP’ en ‘Subtractive RP’. Deze termen zijn inmiddels verouderd omdat de toepassing van deze technieken veel verder gaat dan alleen prototypen. Fabricage op maat voor de eindgebruiker (custom manufacturing) is mogelijk, en enthousiaste gebruikers voorspellen zelfs massafabricage op maat (mass customization).

De voorspellingen rond 3D-printing zijn vergaand: “Personal fabrication is the next revolution that will impact our lives”, aldus Neil Gershenfeld van het Massachusetts Institute of Technology, de ‘vader’ van alle FabLabs. Digitale fabricage gaat in deze visie leiden tot de overstap van massaproducten (één ontwerp voor iedereen) naar enkelstuks producten (ontwerp op maat aangepast voor één klant). Productie kan dan kleinschalig: door kleine bedrijven of door de eindgebruiker zelf.

**Analogie**

Deze overstap is voor bepaalde producten zeker in aantocht, en zal ook grote voordelen bieden (ik kijk persoonlijk al uit naar een betaalbare stoel op maat in mijn auto). Voor de meeste producten zal echter de lage prijs die massafabricage biedt de doorslag blijven geven. Enkelstuks 3D-prints maakt een plastic onderdeel zo veel duurder dan



Afbeelding 2. Freesbanen in DeskProto voor een gevelpaneel (1x1 m).

met spuitgieten gefabriceerd dat custom fabricage alleen loont indien noodzakelijk. Bijvoorbeeld voor een goede pasvorm - inlegzolen in schoenen - of voor een persoonlijke uitstraling - hoesjes voor iPhones.

Er valt een goede vergelijking te maken met 2D drukwerk: ‘printing on demand’ is perfect voor kleine series en voor gepersonaliseerd drukwerk, zoals voor de loterij-brieven die steeds melden dat “U, meneer Lennings gegarandeerd een prijs heeft



Afbeelding 3. Frezen van kronen in zirkonium (Roland DG).



Afbeelding 4. Frezen van inlegzolen in schuim (Podo Cad Cam Design door Oosterhof).

gewonnen”. Maar voor grote series, zoals bij boeken en kranten, blijft offset-drukwerk veel goedkoper. Bij het idee van de eigen 3D-printer in elk huis zijn mijn reserveringen nog groter. Een goede analogie is dat ik nu een perfecte broodbakmachine kan kopen om elke dag vers brood te hebben. Dat doe ik echter niet: het is veel efficiënter om dat kant-en-klaar bij de specialist te kopen. Fabricage op maat door te kiezen uit een aantal voorgeprogrammeerde opties is overigens ook bij massaproductie wel haalbaar. Hierbij is een goede beheersing van assemblage en levering nodig, de fabricage van de onderdelen is standaard massaproductie.

**Proceskeuze**

Van de vergezichten terug naar de dag van vandaag: U heeft als constructeur of ontwerper een 3D CAD-model, en wilt op basis daarvan een model, product of mal (laten) maken. De vraag is dan: Wanneer te printen en wanneer te frezen?. De belangrijkste factoren die een rol spelen bij het beantwoorden van die vraag zijn de voor- en nadelen van beide methoden. Waarbij een voordeel van de ene methode veelal overeenkomt met een nadeel van de andere. Maar in praktijk is de keuze echter meestal complexer dan puur op basis van punten. Enkele voorbeelden maken duidelijk dat de beste keuze in op het eerste gezicht vergelijkbare gevallen toch heel verschillend kan uitvallen.

**3D-printen**

De voordelen van 3D-printen zijn:

- 3D-printen is eenvoudig in het gebruik. Procesplanning is niet nodig. Een druk op de knop ‘3Dprint’ volstaat.
- De prijs is onafhankelijk van de complexiteit.

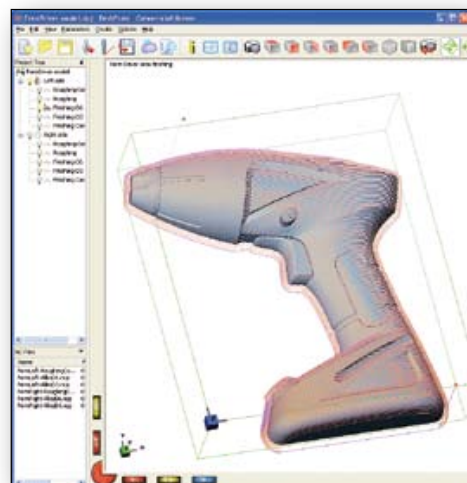
- Bij zeer complexe vormen is 3D-printing zelfs de enige optie.
- De prijs is onafhankelijk van de seriegrootte.
- Door de flexibiliteit. Omschakelen naar een volgend product kan zeer snel.

Bij 3D-printen is weliswaar ook enige procesplanning nodig: optimaal oriënteren van de geometrie tijdens het printen, toevoegen van ondersteuning waar nodig (de support structure), na het printen weer verwijderen van deze support structure. Toch wint 3D-printen hierbij van CNC-frezen, waar vooraf nagedacht moet worden over vanaf welke zijde of zijden te frezen, al dan niet opdelen in losse onderdelen, welke frezen te gebruiken, freesbanen berekenen, materiaal in de goede afmetingen maken, eventueel opspanhulpmiddelen voorbereiden.

Dat hangt samen met de genoemde flexibiliteit: als alléén vergelijkbare producten gemaakt worden dan is de extra tijd voor de CNC-procesplanning eenmalig en is de flexibiliteit niet van toepassing. Voorbeelden van dergelijke toepassingen zijn: ringen (sieraad), schoenzolen, kronen (dentaal). Elke volgende kroon is anders, echter fabricage-technisch zijn ze allemaal identiek.

**Eenduidig voordeel**

Het mogelijk maken van hoge complexiteit is een eenduidig voordeel van 3D-printen. Bekende voorbeelden komen van het Nederlandse bedrijf Freedom of Creation ([www.freedomofcreation.com](http://www.freedomofcreation.com)), waar de mogelijkheden van 3D-printing worden uitgebuut om producten te maken die voorheen onmogelijk waren. De prijs van een product stijgt niet bij een hogere complexiteit. Dit in tegenstelling tot CNC-frezen: hoe meer details, hoe meer freesbanen nodig zijn. En hoe kleiner de details hoe kleiner de frees en groter de freestijd.



Afbeelding 5. Freesbanen in DeskProto voor een half 'blokmodel'.

De onafhankelijkheid van prijs en seriegrootte - de tien producten maken is tien keer zo duur als één product maken - is een voordeel voor enkelstuksproductie en kleine series. Het slaat echter om in een nadeel als grote series nodig zijn.

### CNC-frezen

De voordelen van CNC frezen zijn:

- de vrije materiaalkeuze;
- de vrije keuze van de gewenste kwaliteit;
- de zeer goede oppervlaktekwaliteit;
- de hoge nauwkeurigheid;
- de prijs die onafhankelijk is van volume en formaat;
- de lage gebruikskosten (materiaal en onderhoud).

Waar een 3D printer maar één soort materiaal kan verwerken is bij CNC-frezen vrije materiaalkeuze mogelijk. Niet alle freesmachines kunnen daarbij alle materialen aan, echter alle machines kunnen meerdere materialen bewerken. Bovendien kan het materiaal van elke leverancier worden betrokken. Dit voorkomt situaties waarbij een goedkope machine in praktijk duur is omdat de materiaal-cassettes alleen bij de originele fabrikant te krijgen zijn, en er een hoge prijs voor is vastgesteld.

### Kwaliteit en freestijd

Waar bij een 3D-printer de laagdikte - en daarmee de nauwkeurigheid van het resulterende product - vast ligt, kan bij CNC-frezen de afstand tussen de freesbanen vrij worden gekozen. Zowel 'snel en onnauwkeurig' als 'traag en perfect' zijn mogelijk. De gladheid van het resulterende oppervlak is bij frezen duidelijk hoger dan bij 3D-printen. Zelfs als de afstand tussen de freesbanen (bij frezen) groter is dan de laagdikte (bij printen): de (bolkop)frees zorgt ervoor dat tussen de freesbanen geen overgang te zien is.

Bij CNC-frezen hangt de freestijd samen met de te frezen oppervlakte, niet met het volume. Bij 3D-printen niet: des te hoger het volume van het te fabriceren product, des te langer de printer bezig is: de bouwtijd is evenredig aan het volume. Waarbij overigens wel slimme trucks kunnen worden toegepast om een groot volume niet massief te maken maar alleen de buitenwand te bouwen met inwendig een 3D-raster.

### Praktijk

In een aantal situaties is de keuze voor het optimale proces eenvoudig af te leiden uit de voor- en nadelen van de twee methoden. Als voorbeeld een situatie uit de modelbouw (Rapid Prototyping dus): bij het maken van (situatie 1) een zogenaamd styling block model van een elektrische handboormachine is CNC frezen in tooling board zowel snel als goedkoop, bij een perfect glad uiterlijk.



Afbeelding 6. Het gefreesde model en definitieve product (Ferm).

Echter bij het maken van (situatie 2) de dunwandige buitenschalen voor een werkend prototype, inclusief alle inwendige verstevigingsribben en bevestigingspunten, is 3D printen duidelijk in het voordeel (want: weinig volume om op te bouwen, echter veel volume om te verspanen, deels met dunne freesjes).

### Doorslaggevend

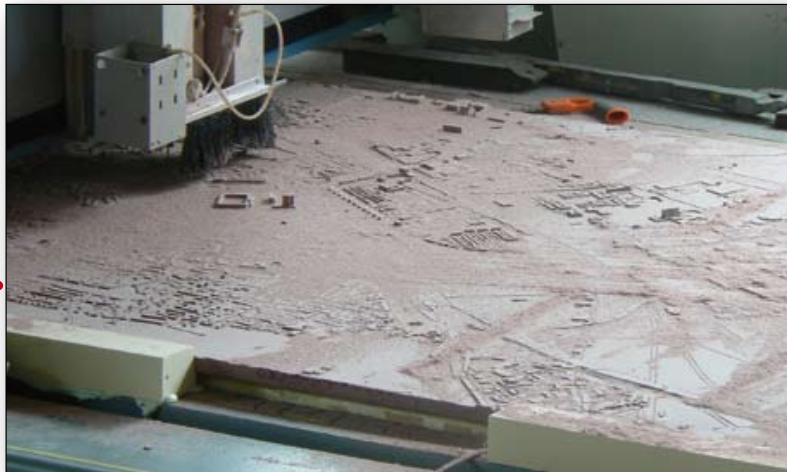
In de praktijk echter is vaak één van de genoemde voordelen - materiaalkeuze, complexiteit, formaat, oppervlaktekwaliteit en prijs - de doorslaggevende factor bij de uiteindelijke proceskeuze:

- Bovengenoemd werkend prototype van een boormachine, als voor duurtesten van de warmteontwikkeling het definitieve materiaal (van het eindproduct) noodzakelijk is.
- De producten bij Freedom of Creation, met een complexiteit die duidelijk alleen mogelijk is middels 3D printen.
- Een serie unieke gevelpanelen in rvs (circa 1x1 meter) voor het rekencentrum van de Belastingdienst in Apeldoorn: woeste maskers ontworpen door de Nederlandse kunstenaar Rob Birza. Hier gaf het formaat de doorslag, en was CNC frezen vanwege de kosten veruit de beste techniek. Materiaal was hierbij niet kritisch: van elk model is eerst een betonnen mal afgegoten. Voor de uiteindelijke productie is hydro-persen toegepast (afbeelding 2).
- Ook bij kleine producten kan frezen vanwege het materiaal de beste techniek zijn (ondanks de door het kleine volume toch zeer lage printkosten): kronen en bruggen (dentaal) worden gefreesd uit

zirkonium, een materiaal dat na sinteren (en afwerken) geschikt is om in de mond geplaatst te worden (afbeelding 3).

- Bij goudsmeden blijkt het een persoonlijke keuze te zijn welk argument de doorslag geeft. Het gaat om het vervaardigen van wasmodellen (die vervolgens via gieten worden omgezet naar edelmetaal). Sommige goudsmeden frezen vanwege de oppervlak-kwaliteit, anderen laten extern printen vanwege het gemak, weer anderen frezen in huis omdat een nauwkeurige wasprinter te duur is en ze vanwege geheimhouding dan wel vanwege vertraging niet willen uitbesteden.

Verder kan het in huis aanwezig zijn van een bepaalde techniek natuurlijk ook de doorslag geven bij de keuze voor het te gebruiken productieproces.



Afbeelding 7. De maquette van Maastricht wordt gefreesd.



Afbeelding 8. De resulterende maquette voor het 'Groene Loper'-project.

### Inlegzolen

Een goed voorbeeld van custom manufacturing is de productie van inlegzolen voor mensen met voet- of houdingsklachten. Een podoloog of podotherapeut kan dergelijke klachten oplossen met een voor de cliënt op maat ontworpen corrigerende inlegzool. Dat wil zeggen een zool die in een normale schoen gedragen kan worden, met voor elke client andere 'bergen en dalen'. Dergelijke inlegzolen worden uit schuim vervaardigd, vaak met een verschillende dichtheid voor verschillende plekken in de zool. Voor het zool-ontwerp bestaat gespecialiseerde CAD-software, en de methode van digitale fabricage is CNC-frezen (afbeelding 4). 3D-printen is onmogelijk vanwege het materiaal, en daarnaast zou het ook veel duurder zijn.

Het freesproces is hier geautomatiseerd: freestech-nisch zijn alle zolen identiek, freesbanen berekenen kan daarom met een druk op de knop (standaard instellingen). De gebruiker legt twee blokken schuim in de machine (opspannen middels vacuüm), start de machine en na 10 tot 20 minuten zijn de zolen klaar. Productie kan kleinschalig, met een goedkope machine bij de podoloog zelf, of gecentraliseerd bij een toeleverancier met een zeer snelle machine.

### Elektrische schroevendraaier

Een voorbeeld uit de productontwikkeling komt van ontwerp bureau Brandes en Meurs in Bunnik ([www.brandesenmeurs.nl](http://www.brandesenmeurs.nl)). De getoonde elektrische schroevendraaier voor de Nederlandse leverancier Ferm ([www.ferm.com](http://www.ferm.com)) maakt deel uit van een complete serie elektrische handgereedschappen voor dit merk. Brandes en Meurs gebruikt Creo Elements (Pro/Engineer) voor CAD-ontwerp, presentatierenderings en computersimulaties. Op diverse momenten in het ontwerpproces worden tastbare modellen gemaakt (Rapid Prototyping) eenvoudige schuimmodellen, ergonomische modellen van de handgreep, definitieve presentatiemodellen (afbeelding 5). Dergelijke modellen zijn van belang voor de ontwerpers zelf, en ook voor communicatie met de opdrachtgever en met de producent in China. Brandes en Meurs heeft een CNC-modelfreesbank in eigen huis, en kan dus zeer eenvoudig en snel modellen frezen (afbeelding 6).

### Maquette

Van een geheel andere grootte is de maquette voor de nieuwe tunnel in de A2 bij Maastricht, gemaakt door Made by Mistake in Delft ([www.madebymistake.nl](http://www.madebymistake.nl)) en Komplot Mechanics ([www.komplotmechanics.com](http://www.komplotmechanics.com)) in Capelle aan den IJssel. Voor het project De Groene Loper (wordt op dit moment uitgevoerd: [www.avenue2](http://www.avenue2)).



**Afbeelding 9.** *Vacuümvorm-mal: podium voor groot evenement Rietveld Adademie, Frank van 't Woudt).*

nl) is een schaalmodel van het hele gebied gemaakt: schaal 1:2000, totale afmetingen 3,5 x 1,7 m. Bij dergelijke afmetingen is 3D-printen in theorie mogelijk, echter wat betreft prijs en ook nauwkeurigheid is frezen een veel betere keuze (afbeelding 7). Het gaat om een groot model: om de berekeningen te kunnen maken is de maquette opgesplitst in veertien segmenten. Uitgangspunt was een STL-file van 200 Mb, met daarin zowel het terrein als de bebouwing. Na het frezen zijn details als kleur, wegen, water en bomen met de hand toegevoegd (afbeelding 8).

#### Onderwijs

In het onderwijs levert het maken van tastbare modellen een belangrijk leermoment op: de

student merkt dat zijn/haar ontwerp toch echt anders overkomt dan op de fraaie renderings van het 3D CAD systeem. Dat geldt zowel voor 3D printen als voor CNC frezen. Voordeel van CNC frezen is daarbij dat de student gedwongen wordt om na te denken over produceerbaarheid: niet lossende vormen kunnen niet geproduceerd worden, of tegen hogere kosten. Want voor massaproductie is voor de meeste producten (zoals hiervoor al gesteld) spuitgieten noodzakelijk. Verder is het gezien de studentenaantallen natuurlijk ook fijn dat bij frezen de kosten per model (materiaalkosten) laag zijn (afbeelding 9).

#### Delft Spline Systems op RapidPro

Alle hier genoemde voorbeelden - en nog vele andere - worden uitgebreider beschreven op [www.deskproto.com](http://www.deskproto.com). Delft Spline Systems, de ontwikkelaar van DeskProto, is ook aanwezig op RapidPro samen met Roland (standnummer 25). RapidPro heeft plaats op 26 en 27 februari in NH Conference Centre Koningshof te Veldhoven.