



Centre of Expertise HTSM Oost

Breakthrough in 3D-printen

Met TechForFuture maakt
Oost-Nederland haar innovatie-
en groeiambities in HTSM waar



Voorwoord	3
Inleiding	4
TechForFuture creëert high-tech kansen	5
3Dprinten en hightech bouwen	6
Mechatronica en 3D-printen van beton	13
3D-printen op textiel	16
Nano/micro 3D printen: onderdelen en montage	19
Kennisontwikkeling en Toepassingen	22
3D-printen in orthopedie en orthodontie	28

3D printen breekt door

Het zal in 1994 zijn geweest dat ik mijn eerste modelletje heb laten 3D-printen. De floppy met de file ging op de post naar België en het wekenlang wachten werd beloond met een heel kwetsbaar, een beetje gelige kleinood. Spectaculair! Vandaag de dag is 3D printen volop in ontwikkeling. Er wordt geëxperimenteerd met nieuwe materialen en elke dag worden er weer nieuwe toepassingsmogelijkheden ontdekt. De verwachting is dat de volgende generatie 3Dprinters een cruciale rol gaat spelen thuis en op het werk. 3D printen is geen hype meer, en is al lang niet meer alleen voor prototyping, maar inmiddels een volwaardige high-tech productie methode.

Bij Saxion waren we 2 jaar geleden nieuwsgierig naar de mogelijkheden van 3d printen, van heel klein –wat kan je er met nano mee- tot heel groot – is betonprinten realistisch? De ambitie van een aantal lectoren was om een leidende rol te verwerven in de nieuwe ontwikkelingen.

Het is allemaal begonnen in het FabLab Enschede. Met een omgebouwde Ultimaker is geëxperimenteerd met gips en klei, ook 3d printen op textiel bleek mogelijk. Dat smaakte naar meer. Maar ook het samenwerkingprogramma rond vernieuwende materialen IMPT 'Innovatief Materialen Platform Twente' bij Saxion en het onderzoeksproject 'Rapid Manufacturing' bij Windesheim staan aan de basis van dit project.

Het daadwerkelijk toepassen van 3D printen blijkt echter voor veel ontwerpers en high-tech MKB bedrijven een lastige stap. Met alleen kennis ben je er niet: de vertaalslag van 'weten' naar 'toepassing' kunnen we met de resultaten van dit TFF project "Breakthrough in 3D printen" beter maken, wat niet alleen van belang is voor bedrijven, maar ook binnen ons onderzoek en onderwijs. Er is kennis en ervaring opgebouwd met beton printen, met nieuwe materialen (nano toepassingen, textiel en keramiek) geëxperimenteerd, ontwerpregels opgesteld en vele interessante toepassingen bedacht.

Veel dank is verschuldigd aan de 7 lectoren, 15 onderzoekers, ruim 200 studenten van 11 opleidingen van Saxion en Windesheim en de 19+ bedrijven waarmee de afgelopen 2 jaar intensief mee is gewerkt om de doorbraken te realiseren.

Dit project wordt vervolgt. Sinds september 2015 is er een 3D metaalprinter bij Saxion beschikbaar voor onderwijs en onderzoek, een nieuw TFF onderzoeksproject met 5 bedrijven is gestart. Aan de 3D beton printer wordt door studenten verder gewerkt en een RAAKproject aangevraagd. En in het nieuwe Textiellab wordt volop verder geprint.

Geïnteresseerd? Ga het gesprek met ons aan welke doorbraken wij samen met u kunnen realiseren.



Karin van Beurden
Lector Product Design
Penvoerder TFF project
"Breakthrough in 3D Printen"



Rene Groothedde
Projectleider TFF project
"Breakthrough in 3D Printen"

Inleiding

Het TechForFuture HTSM-expertisecentrum creëerde mogelijkheden om een breed 3D-printproject op te zetten. Hierbij kunnen bedrijven, onderzoekers en onderwijs kennis opdoen van materialen en 3D-printeigenschappen door toegepast onderzoek, zodat ondernemers en ontwerpers weten of en hoe zij deze kunnen toepassen.

Van augustus 2014 tot en met het eindcongres op 10 september 2015 hebben 22 bedrijven (waarvan 14 mkb) samen met 7 lectoren, meer dan 10 docent-onderzoekers, meer dan 200 studenten van 11 opleidingsrichtingen (43 stagiaires en afgestudeerden bij de lectoraten, 4 werkstudenten, plus veel studenten in speciale onderwijsopdrachten) ondersteund door projectleiders en projectondersteuners van Saxion en Windesheim, toegepast onderzoek uitgevoerd naar enkele specifieke 3D-print onderwerpen. Ook de directe betrokkenheid van het FabLab Enschede en het Polymer Science Park in Zwolle betekende een waardevolle bijdrage aan de behaalde resultaten, waarover u meer leest in dit boekje.

De onderzoeksonderwerpen op een rij:

- High Tech bouwen: beton printen,
- Nieuwe materialen: speciale nano-toepasbare materialen, textiel en keramiek
- Mechatronica: platforms en prototypes
- Ontwerpen en toepassingen: kennis, toepassingscases en ontwerpregels

Voor de onderzoeken zijn enkele benodigde platforms ontworpen en in prototypes gebouwd, zoals een test-betonprinter en een duurtester voor geprint textiel. Er is een beeld ontstaan van aantrekkelijke toepassingen in diverse markten en een eerste aanzet gegeven om de opgedane kennis in het curriculum te verankeren. Daarnaast zijn aanbevelingen gedaan op het juridische vlak van 3D-printen en Intellectueel Eigendom en aansprakelijkheid. Ook is een eenvoudige interactieve online 3D-print keuzetool geproduceerd.

In de volgende hoofdstukken passeren de onderzoeken en resultaten de revue. Voor vragen kunt u uiteraard altijd bij de penvoerder, de uitvoerende lectoraten of de deelnemende bedrijven terecht.

TechForFuture creëert high-tech kansen



TechForFuture, Centre of Expertise HTSM Oost, staat voor de gezamenlijke onderzoeksagenda van Saxion en Windesheim. Het Centre richt zich op Business Driven Research en werkt daarvoor samen met hightech bedrijven die hun kennis op HTSM-gebied willen ontwikkelen. Met enthousiaste studenten, opgeleid om zelfstandig praktijkgericht onderzoek te doen in bedrijven, ontdekt en ontwikkelt TechForFuture technologieën. Zo ontstaat verbinding tussen industrie en onderwijs.

Tijdens dit eindsymposium presenteren we de resultaten van het onderzoeksproject 'Breakthrough in 3D printen'. Het Centre is actief in de expertisevelden Nanotechnologie, Composieten, Smart Materials, Kunststof Technologie en Mechatronica. Op dit moment lopen er 26 onderzoeksprojecten, 2 promotietrajecten, 2 patentaanvragen waarvan 1 start-up, 1 Horizon H2020 project en zijn er 50 onderzoekers aan het Centre verbonden. Daarnaast zijn er ruim 400 studenten en 200 bedrijven betrokken.

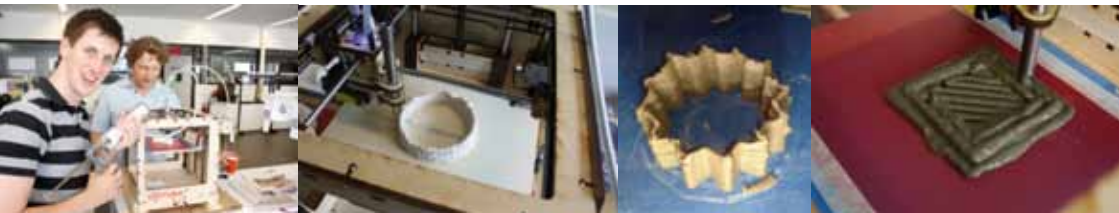
"Nieuwe kansen creëren, samen met hightech bedrijven: dat is het doel van Centre of Expertise TechForFuture", zegt Alexander Jansen, managing director TechForFuture. Hij vindt het commitment van het bedrijfsleven voor toegepast onderzoek essentieel: "Het is noodzakelijk dat het bedrijfsleven de onderzoeksvragen helpt formuleren om ze zo realistisch mogelijk te maken. Voor studenten is een reële, authentieke onderzoekssituatie een enorme drijfveer."

Met TechForFuture maakt Oost-Nederland haar innovatie- en groeiambities op HTSM gebied waar. Het Centre wil toegepast onderzoek in de regio beter op de kaart zetten en bijdragen aan de ontwikkeling van Saxion en Windesheim tot University of Applied Science.

www.techforfuture.nl

3Dprinten en hightech bouwen

De bouw staat bekend als erg traditioneel. De huidige situatie in de bouw dwingt echter tot vernieuwing. In hoeverre kan 3D printen hierin een rol van betekenis spelen? Uit nieuwsgierigheid en geïnspireerd door de kunstwerken van Enrico Dini [1] zijn in 2012 in het FabLab de eerste experimentele proeven gedaan met een omgebouwde Ultimaker 1, een open source 3D printer. Het 3D printen van eenvoudige vormen in klei en gips bleek al snel te lukken, maar het printen met beton bleek nog niet zo eenvoudig. De mortel was te dik, of niet vast genoeg om een volgende laag te dragen. De uitdaging was geboren.



Figuur 1: experimentele proeven in het FabLab

Er waren meer prikkelende initiatieven die de mogelijkheden van 3D printen voor de bouw verkenden. Zo is er van DUS architects [2] een spraakmakend project om middels 3D printing een grachtenpand van kunststof te printen. En experimenten van de Loughborough University (UK) [3] en Contour Crafting [4] toonden echter aan dat beton printen in principe mogelijk is. De verwachting is dan ook dat de volgende generatie 3Dprinten een cruciale rol kan gaan spelen in de toekomst van de bouw en bouw gerelateerde producten. Maar is die verwachting realistisch? En voor welke toepassingen is 3D betonprinten interessant?



Figuur 2: Enrico Dini/D-shape, Loughborough University (UK), Contour Crafting



Figuur 3: Grachtenpand van DUS Architecten Amsterdam



Figuur 4: Andrey Rudenko's concrete castle

Het doel van deelproject “3D printen en HighTech bouwen” was dan ook:

Onderzoek tbv het realiseren van een demonstrator om aan te tonen dat 3D printen in de bouw realistisch is.

De volgende deelaspecten zijn daarbij van belang:

- 1) Beton receptuur geschikt om te 3D printen, de eigenschappen en 3Dprint-mogelijkheden van het materiaal,
- 2) De hiervoor benodigde XYZ-tafel, de materiaaltoevoer, printkop en besturing,
- 3) Ontwerpaspecten en mogelijke constructies
- 4) Inzicht krijgen in aantrekkelijke toepassingen in de bouw.

Het Lectoraat Industrial Design werkt hierbij samen met het Lectoraat Mechatronica Innovatieve Technologie voor in de Bouw en New Business, het Fablab, Pioneering en diverse bedrijven:

Architectenbureaus DWVDH en IAA, materiaalleveranciers Rokramix en ORCEM, aannemers DuraVermeer en Plegt Vos. En in 2 jaar tijd hebben 4 achtereenvolgende groepen studenten van verschillende achtergrond intensief samengewerkt, ruim 50 in totaal. Chemie en IPOstudenten ontwikkelden met de industriële partners de receptuur en testten deze op eigenschappen. Diverse Mechatronica studenten werkten in competitie aan een print-platform, WTbers en IPO studenten ontwierpen de printkop en materiaal-toevoer, TI studenten ontwikkelden de software en IPO-studenten ontwierpen een te printen product. Bouwkundige en Bedrijfskundige studenten hebben interessante toepassingen in de bouw geïnventariseerd en de bijbehorende product eisen.

Platform

De hoofdfunctie van het platform is het in vorm brengen van het vloeibare beton. En zoals bij veel 3d printtechnieken gebeurt dit laag voor laag. De in een CAD-teken programma gemodelleerde vorm wordt opgedeeld in allemaal doorsneden, waarna met behulp van software de lijnen van de doorsneden geprogrammeerd kunnen worden. Met codes die daaruit ontstaan wordt de 3D-printer aangestuurd.

Er zijn verschillende uitdagingen. Voor architecten en vormgevers is de vormvrijheid van 3d printen van belang, het kunnen maken van unieke vormen, zonder te hoeven investeren in mallen. Maar hoe maak je ondersnijdingen en hoe krijg je een glad oppervlak. Aannemers en constructeurs daar en tegen hechten vooral belang aan de mechanische eigenschappen en (arbeids)tijd verkortende oplossingen. Bij veel 3D printtechnieken is de hechting tussen de verschillende lagen minder goed, wat voor invloed heeft dat op de mechanische eigenschappen? Het toevoegen van wapening tussen de te printen lagen zou een oplossing kunnen zijn. Daarbij is het efficiënt als het printproces continu door kan blijven printen.

Daarnaast moet het printen reproduceerbaar en valideerbaar worden: wanneer de 3d-printer op een andere locatie en onder andere (weers)omstandigheden werkt, toch dezelfde vormen moet kunnen maken met vergelijkbare mechanische eigenschappen. Er in het begin verschillende concepten van het platform bedacht, van robots met zwenkarmen tot zelfrijdende units. Maar om de haalbaarheid aan te tonen is besloten om relatief klein te beginnen met een XYZ-tafel constructie waarmee een volume van maximaal 90x60x40 cm kan worden geprint.

Ontwikkeling receptuur.

Vertrekpunt was de receptuur van Loughborough University. Maar al snel bleek dat daar toeslagstoffen in zaten die voor de Nederlandse markt niet toegelaten zijn of vanuit milieuoverwegingen minder wenselijk.

De eisen die aan het materiaal gesteld worden zijn niet gering en tegenstrijdig: de mortel moet viscoos genoeg zijn om door de kop getransporteerd te worden, maar stevig genoeg om niet direct uit te zakken. En de eerste printlaag moet niet te snel uitharden om nog een verbinding aan te kunnen gaan met de tweede laag. En hoe goed is die verbinding dan? Diverse samenstellingen zijn uitgeprobeerd en getest. Er is geëxperimenteerd met verschillende toeslagstoffen in diverse verhoudingen en met verschillende vezels. In het Kwaliteitslab van Rokramix zijn fysische proeven uitgevoerd, zoals zetmaat, verdichtingsmaat, bepaling van luchtgehalte en volumieke massa en de drukproef. Uiteindelijk is er een werkbare betonsamenstelling gevonden, alleen hebben we de hechting tussen twee lagen nog niet kunnen testen.



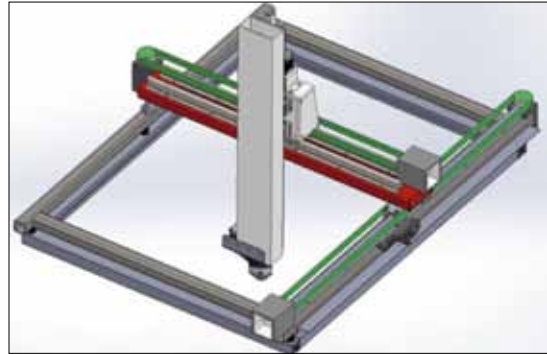
Figuur 5: Studenten aan de slag met materiaalproeven

XYZ-tafel

2x2 groepen Mechatronica studenten hebben in competitie een XYZ-tafel en beweegbaar platform ontworpen. Met een beweegbaar platform is het in principe mogelijk om onder een hoek te printen, maar gezien de gewichten een niet erg realistische oplossing.

De XYZ-tafel levert de bewegingen die nodig zijn om het materiaal per doorsnede van het product op de juiste plaats af te leveren.

Om vervuiling van het vloeibare beton zoveel mogelijk te voorkomen, is het mechaniek van de X en Y-as bovenaan de constructie geplaatst. De Z-as is een op en neer bewegende koker geworden, waar aan de onderkant een spuitkop op wordt gemonteerd. Het nauwkeurig positioneren met het zware beton stelt hoge eisen aan de stabiliteit van de constructie.



Figuur 6: De XYZ-tafel

De printkop en materiaal aanvoer

De printkop is onder aan de Z-as gemonteerd en zorgt er voor dat het vloeibare beton zo in de ruimte wordt gepositioneerd. Het ontwerpteam heeft ervoor gekozen om de printkop draaibaar te maken om de Z-as, zodat tijdens het printen de uitstroombuiging altijd normaal (loodrecht op) de printlijn kan bewegen. Dit biedt meer mogelijkheden voor het testen met verschillende uitwisselbare uitstroombuizen.



Voor de materiaalaanvoer zijn verschillende pompsystemen bedacht en getest. Beton in vloeibare vorm blijkt een lastig te verplaatsten materiaal te zijn.

Vloeibare beton moet permanent in beweging blijven, anders wordt het binnen korte tijd vormvast. Uit de eerste proeven met een eenvoudige plunjerpompen bleek dat bij een kleine zandkorrels makkelijk een brug vormen. Deze brug werkt dan als een soort zeef, waardoor het water ontmengt van het beton. Ook hier blijkt dat het materiaal continu in een soort mixende beweging gehouden moet worden. Met behulp van een extrusieschroef (3d geprint in kunststof), zijn testen gedaan met redelijk goede resultaten. Na deze testen is getest met een metalen variant.



Figuur 8: Materiaalaanvoer

Hardware en software

De XYZ-tafel, de printkop en de materiaalpomp hebben samen vijf motoren die in samenwerking aangestuurd moeten worden. De X-Y-Z-motoren voor de positie in de ruimte, de printkop motor voor de hoek van de uitstroomrichting en de pompmotor voor het doceren van het volume/seconde waarmee het materiaal wordt gedispenseerd. Om dit te realiseren heeft het ontwerpteam zelf de hardware geconfigureerd en de software ontwikkeld. Dat bleek geen sinecure en met name de software zal nog verder getest en geëvalueerd moeten worden.

Demonstrator

Er zijn twee demonstrators ontworpen. Met behulp van een demonstrator wordt aangetoond hoe de ontwikkelde printer slimme constructies kan printen en waarmee de vormvrijheid en de mechanische eigenschappen worden aangetoond.

Allereerst is er een ontwerp gemaakt van een gevelelement. Maar omdat de in context van dit project ontwikkelde XYZ-tafel daarvoor niet groot genoeg bleek, is het vooral een ontwerp geworden waarvan we veel geleerd hebben over wat wel en niet mogelijk is. Het tweede ontwerp was van een sokkel voor een groot bronzen kunstwerk. Uit het ontwerp van de sokkel moeten de unieke mogelijkheden van het 3D betonprinten blijken en het geheel moet de mechanisch belasting van het zware bronzen kunstwerk en de windbelasting kunnen doorstaan. De sokkel is opgebouwd uit meerdere delen.



Figuur 9: Ontwerp van een gevelelement en de sokkel

Conclusies/hoe verder

Met de inzet van studenten in een waarlijk multidisciplinaire setting hebben we in ieder geval aangetoond dat 3D betonprinten kan. En we hebben goed inzicht gekregen in wat er nog moet worden opgelost voordat je echt kan zeggen dat het realistisch is: wapening, ondersnijdingen, schaalbaarheid, certificering om er maar een paar te noemen.

De betrokken bedrijven zijn echter zeer enthousiast, en een vervolg staat op stapel.

Maar snelheid is gewenst: de Chinese firma WinSun Decoration Design Engineering [5] heeft inmiddels aangetoond dat het printen van een huis mogelijk is.



Figuur 10: Minister Kamp bekijkt geïnteresseerd de betonprinter in het FabLab



Figuur 11: studenten werken aan het 1e printresultaat

Referenties

- [1] Enrico Dini, <http://www.d-shape.com/> (september 2015)
- [2] DUS architecten, <http://www.dusarchitects.com/> (september 2015)
- [3] Loughborough University, <http://www.lboro.ac.uk/enterprise/case-studies/3d-concrete-printing/> (July 16, 2015)
- [4] University Southern California, <http://www.contourcrafting.org/> (July 16, 2015)
- [5] Win Sun Decoration Design Engineering, <http://www.apparata.nl/nieuws/in-china-rollen-de-huizen-uit-de-3d-printer-6704> (July 16, 2015)

Lector: *Karin van Beurden*

Docent Onderzoeker: *Paul Groneveld*

Lectoraat Industrial Design

Om de bijdrage die Mechatronica kan leveren aan 3D-printen van beton te onderzoeken, zijn studenten betrokken geweest bij twee deelprojecten: het ontwerpen van een platform waarmee de printkop in drie richtingen kan bewegen en het ontwerpen van een platform waarmee de tafel van het werkstuk gekanteld kan worden.

Studenten van de opleiding Mechatronica hebben hier tijdens het schooljaar 2014-15 in twee groepen gelijktijdig aan gewerkt. Ze doorliepen bijna het gehele traject: van het opstellen van een pakket van eisen tot en met een werkende opstelling, al was niet elk resultaat even goed bruikbaar. Uiteindelijk is alleen één bewegingsplatform voor de kop in de betonprinter getest. Maar wel met succes!

Opstellen van de eisen

Twee groepen Mechatronica-studenten hebben al tijdens het tweede semester van schooljaar 2013-14 de eisen opgesteld. Daartoe hebben ze gesproken met de opdrachtgevers over de toepassing van de te printen betonstructuur. Met deze input zijn de functies met bijbehorende eisen aan de bewegingsplatforms voor printkop en werkstuktafel opgesteld: werkbereiken, snelheden, nauwkeurigheden, te verplaatsen massa's, afmetingen, kosten, enzovoort. Deze zijn vastgelegd in een System Requirements Document (SRD). Een docent heeft de SRD's van beide groepen gecombineerd.

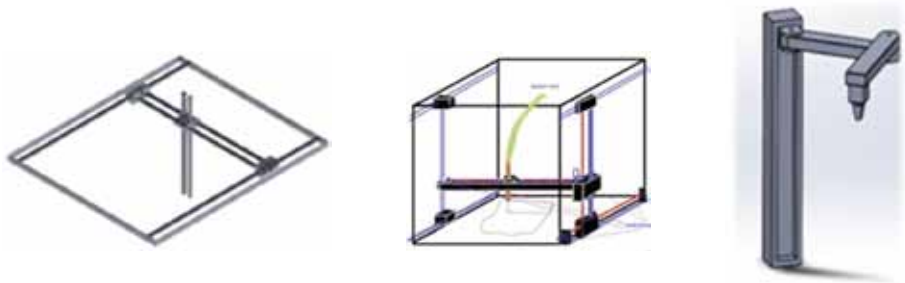
The image shows two pages from a combined System Requirements Document (SRD) for a concrete printer. The left page is titled 'Table of contents system requirements document' and lists various sections. The right page is titled '2.1.1 Functional requirements' and contains a table of requirements with columns for ID, Description, Priority, Status, and Date. Below the table are two 3D coordinate system diagrams showing movement axes.

ID	Description	Priority	Status	Date
2.1.1.1	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.2	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.3	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.4	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.5	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.6	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.7	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.8	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.9	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.10	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.11	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.12	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.13	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.14	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.15	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.16	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.17	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.18	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.19	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.20	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.21	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.22	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.23	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.24	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.25	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.26	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.27	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.28	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.29	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.30	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.31	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.32	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.33	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.34	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.35	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.36	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.37	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.38	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.39	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.40	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.41	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.42	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.43	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.44	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.45	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.46	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.47	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.48	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.49	Functional requirements	High	Open	2014-10-15
2.1.1.50	Functional requirements	High	Open	2014-10-15

Figuur 1 Twee pagina's uit het gecombineerde SRD van de betonprinter

Bepalen van het concept

De nieuwe groepen studenten hebben met dit SRD een concept voor het systeem bepaald. Dat gebeurt in een aantal stappen. Eerst worden de functies omgezet in deelsystemen. Dan bedenken de studenten voor elk deelsysteem meerdere mogelijke oplossingen en voegen deze samen tot enkele verschillende concepten. Met berekeningen en tekeningen tonen ze vervolgens de haalbaarheid en kwaliteit van die concepten aan. De resultaten worden daarna met de eisen vergeleken met behulp van cijfers en weegfactoren. De keuze valt op het concept dat de meeste punten haalt. Dit proces wordt vastgelegd in een Concept Design Document (CDD) en aan de opdrachtgever gepresenteerd.

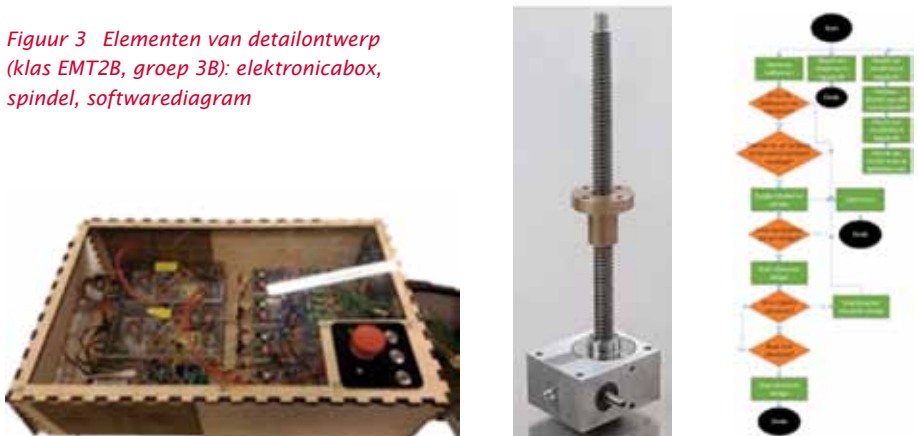


Figuur 2 Drie concepten voor de beweging van de printkop (klas EMT2B, groep 3B): spindels vanaf bovenkant; spindels vanaf zijkant; Scara-robotarm

Uitwerken en bouwen

De studenten werken het beste concept uit tot tekeningen, elektrische schema's, software en bestellijsten. De onderdelen worden besteld of gemaakt. Daarna wordt alles gemonteerd en technisch getest. Zeker bij studenten zijn in deze fase nog wel wat problemen te overwinnen: soms past of werkt het niet...

Figuur 3 Elementen van detailontwerp (klas EMT2B, groep 3B): elektronicabox, spindel, softwarediagram



Functioneel testen

De laatste stap is de functionele test: doet de oplossing waar hij voor ontworpen is? Daarvoor moet de printkop met betontoevoer worden toegevoegd, en een te 'schrijven' beweging worden opgegeven. In aanwezigheid van een aantal deelnemende bedrijven hebben studenten het resultaat gedemonstreerd. Zoals de foto laat zien verloopt het nog niet geheel automatisch.

Lector: *Rini Zwikker*

Lectoraat Mechatronica

Met de huidige ontwikkelingen in wearable technology is de integratie van elektronica in kleding een hot item geworden. Hoe zou het zijn als de elektronica die je helpt bij het hardlopen volledig weggewerkt is in je sportshirt? En wel zo, dat de boel direct na het sporten zo in de was kan?

Elektronica wordt steeds kleiner en sensoren kunnen in textiel verwerkt worden, maar tot nu toe is nog altijd een flinke behuizing met een gevoelige connector nodig. Soms is er zelfs een dun kabeltje nodig om informatie van de ene plek naar de andere te sturen. Zou een shirt zelf als elektronica-platform kunnen dienen? Om die vraag te beantwoorden, zijn er twee mogelijke oplossingsroutes: geleidend textiel verder ontwikkelen en toepassen of geleidende en sensorische elementen middels 3D-printen op het textiel aanbrengen.

De tweede route is het onderwerp geweest van dit onderzoek. Voor een goede functionaliteit zijn in de basis een aantal elementen van belang: een goede hechting, behoud van de flexibiliteit van textiel en een goede elektrische geleiding onder de dagelijkse gebruiksomstandigheden. In dit onderzoek wordt uitgegaan van het FDM printen.

In de uiteindelijke invulling van dit project zijn een aantal aspecten hiervan aan bod gekomen:

1. Er is een buigmachine ontwikkeld om robuustheid van geleiding na veelvuldig buigen te meten
2. Er is onderzoek gedaan naar hechting van flexibele polymeren op verschillende soorten textiel
3. Er is empirisch onderzoek gedaan naar het toevoegen van geleiding op textiel door middel van 3D-printen.

Figuur 1 Deel van de buigmachine waar de textiele samples met geleidende polymeren ingeklemd kunnen worden. Beide zijden van de textiel bevatten een connector waardoor geleiding continu gemeten wordt. Het gewicht aan de samples verzekert een scherpe buiging in het buigpunt.





Figuur 2 Foto's van het flexibele Filaflex geprint op 100% katoen. Het Filaflex vormt een gootje waarbinnen geleidend garen verwerkt is. Rechts een LED-systeempje op deze wijze uitgewerkt en geprint.

Buigmachine

Een uitdaging bij de verwerking van elektronica in textiel is de flexibiliteit van textiel in combinatie met de vereiste robuustheid van de elektronica. Zo mag ook bij het 3D-printen van flexibele geleidende polymeren op textiel de elektrische geleiding in geen geval onderbroken worden door het vele buigen en bewegen.

Om goed te kunnen evalueren of het geprinte polymeer aan deze eis voldoet, is een buigmachine ontwikkeld. Deze machine test de geleiding van een geprint sample na tienduizenden keren buigen onder een scherpe hoek. Deze machine werkt goed en is met een groot aantal geleiders geëvalueerd.

Goede geleiding

In het project is een geleidend PLA en PP gemaakt met 5 tot 15 % carbon dat op textiel geprint is. Hiervan zijn eerste samples gemaakt, die een behoorlijke stijfheid lieten zien. Daardoor werden deze als ongeschikt voor textiele toepassingen beoordeeld.

Daarnaast is gekeken naar een alternatief: het printen van een dun en flexibel kabelgootje, waarin een geleidend garen gelegd wordt, die vervolgens door middel van het 3D-printen weer afgedekt wordt met het flexibele polymeer. Een tweede printkop zou het garen in het gootje kunnen leggen, en door het geheel volledig dicht te printen is het geleidende element (en mogelijk systeem) beschermd tegen vocht en wassen.

Bindingseigenschappen

Als laatste is er belangrijk onderzoek gedaan naar de hechting van flexibele polymeren op verschillende soorten textiel. Kennis hiervan is noodzakelijk om gericht dit 3D-printproces op textiel te kunnen optimaliseren. Het veelgebruikte nylon en twee flexibele polymeren werden op katoen, polyester, en katoenpolyester en geprint. De hechting werd bepaald met onze Mesdan trekbank. Allereerste resultaten lieten al benodigde afpelkrachten zien tot wel 180N bij de combinatie Ninjaflex op katoen (zie: J. Hesse, M. Timmermans, M. Kaiser, E. Bottenberg, G. J. Brinks, ADHESION OF 3D PRINTED POLYMERS ON TEXTILES, 15th AUTEX World Textile Conference 2015, June10-12, 2015, Bucharest, ROMANIA.).

De eerste resultaten omvatten nog niet alle polymeer-textiel combinaties. Na hernieuwde calibratie van de printer zijn de tests herhaald, en zijn alle combinaties uitgevoerd. In tweede instantie zijn waardes gemeten tot wel 320N bij het printen van Ninjaflex op doek van 50% katoen en 50% polyester. In de tabel zijn de gemiddelde waardes te zien van vijf metingen van elke combinatie.

Gemiddelde afpelkracht (N)			
	PLA	Filaflex	Ninaflex
PES	73.2	185	137
Cotton PES blend	106	214	308
Cotton	37.6	154	138
Non woven	35.9	44.6	48.5

Tabel 1 Gemiddelde afpelkracht (N) van vijf samples van elke combinatie

Concluderend

In dit project zijn verschillende elementen van 3D-printen op textiel onderzocht. Een goede hechting is bereikt en een eerste flexibel elektrisch systeem is op textiel geprint. Ter evaluatie van de robuustheid van 3D-geprinte geleider op textiel staat de buigmachine klaar om verder onderzoek mogelijk te maken. Gezien het belang van deze technologie en de behoefte aan integratie van elektronica met textiel vindt op basis van dit project verder onderzoek plaats.

Lector: *Ger Brinks*

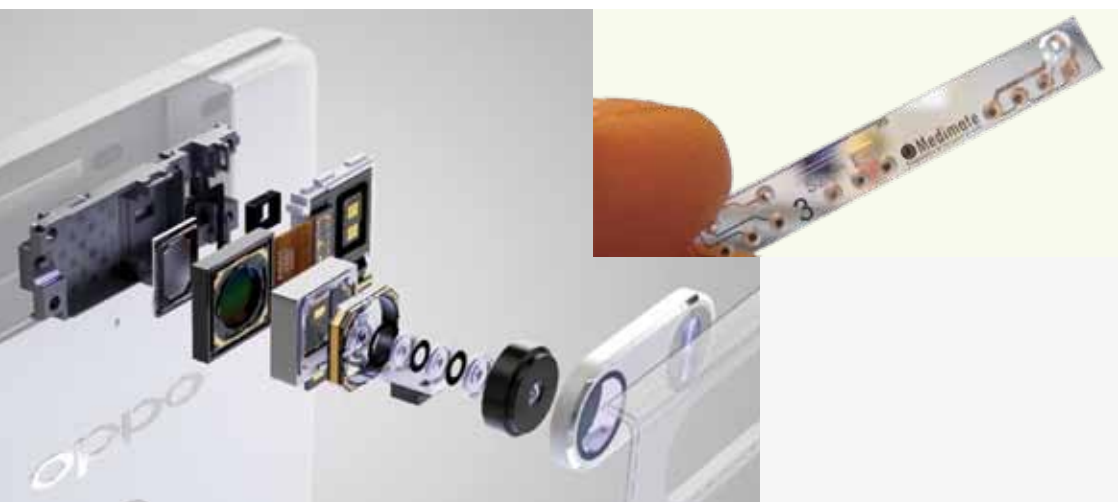
Docent onderzoeker: *Marijke Timmermans*

lectoraat Smart Functional Materials

Alle informatie over het gebruik van nano- en micro-apparaten en de bijbehorende onderdelen staat hier omschreven. Van elektronische onderdelen tot productievolumes van midden- en kleinbedrijven. Daarnaast bekijken we de vooraf gestelde doelstellingen en de behaalde resultaten.

Gebruiksvriendelijk product

Veel nano- en microschaalproducten die momenteel op de markt zijn, variëren van smartphone-ceramodules tot microfluidische instrumenten. Ze moeten een fysieke interface bevatten tussen het micro/nano-kernapparaat (of chip) en de buitenwereld. Dat kan door verschillende elektronische, fluidische of optische onderdelen rondom de chip te koppelen. Op deze manier wordt er een compact en gebruiksvriendelijk product gecreëerd.



Figuur 1 Een smartphone-ceramodule toont een veelvoud van afzonderlijke subonderdelen en apparaten (LINKS); Microfluidische analyse-chip voor lithiumdetectie in bloedmonsters (RECHTS)

De productie

Kleine en middelgrote bedrijven – met name start-ups – beschikken niet over de middelen om een hoge integratieschaal te bereiken. Hun productievolumes zijn laag en de product-complexiteiten hoog. Het produceren van nano-/micro-apparaten die zowel functioneel als gebruiksvriendelijk zijn is vaak een uitdagende taak voor het mkb.



Figuur 2 Een kale optofluidische sensor-chip van 1x1cm uit een siliciumwafel gezaagd in de clean-room (LINKS) en een optofluidisch systeem met fluidische en vezeloptische verbindingen op een houder gemonteerd (RECHTS). De productiekosten van de twee verschillen van elkaar met een factor 10.

Verschillende technieken

Verschillende technieken bij 3D-printen, zoals kleine onderdeelafmetingen en het gebruik van geavanceerde materialen, kunnen deze kloof tussen de nano-/microschaal en de macroscopische wereld overbruggen. Precisiehouders, microfluidische connectoren, 3D-elektronische PCB's en andere onderdelen kunnen met 3D-printtechnieken op de montagelocatie worden vervaardigd. Op deze manier worden bedrijfskosten en -risico's verder verminderd.

Er is echter een gebrek aan praktische ervaring op dit gebied. Bedrijven experimenteren met 3D-printen maar er is weinig ondersteuning van machinefabrikanten. Voornamelijk als het gaat om kleine, complexe voorwerpen en materialen die nodig zijn voor de montage van nano-/micro-producten.

Onderzoeksvraag en doelstellingen

We hebben ons werk gericht op drie belangrijke onderzoeksgebieden: materialen, printtechnieken en het ontwerp van voorwerpen. De belangrijkste doelstellingen en resultaten staan hieronder kort weergegeven.

Onderzoeksvraag: wat is de toegevoegde waarde van 3D printen voor het MKB op het gebied van nano/microschaalproducten?

Doelstelling: rapporteer, ontwikkel en toon de technische relevantie aan van 3D printen op het gebied van nano/microschaalproducten.

Reikwijdte

- Voorwerpafmetingen: 1cm³ per eenheid, onderdeelafmeting ~100µm, toleranties van ~10µm
- Productie: 1k-10k eenheden per jaar, 10s of eur per eenheid, compatibel met cleanroom
- Materialen: hoge chemische weerstand, hoge werktemperaturen (>200C), lage mechanische kruip/vervorming in het uiteindelijke voorwerp

Resultaten

We hebben ons werk gericht op drie belangrijke onderzoeksgebieden: materialen, print-technieken en het ontwerp van voorwerpen. De belangrijkste doelstellingen en resultaten staan in onderstaand schema kort weergegeven.

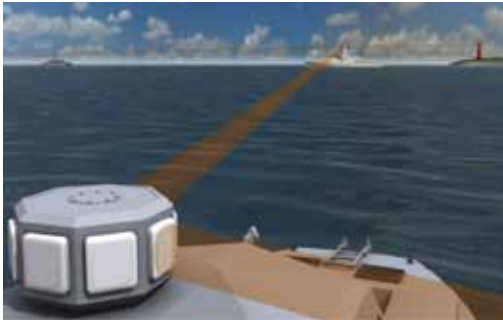


Lector: *Cas Damen*

Docent onderzoeker: *Aleksandar Andreski*

Lectoraat NANO Physics Interfaces

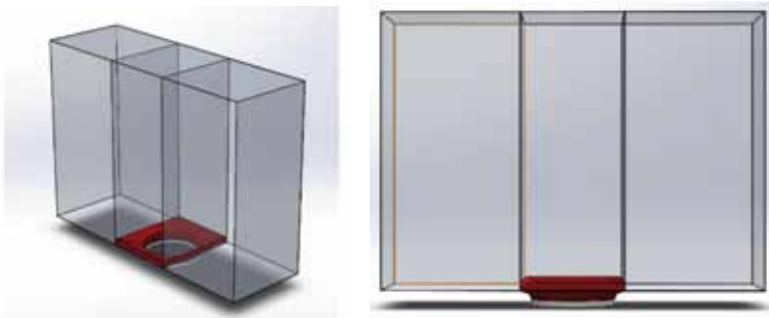
Zonder de juiste markt geen succes. In dit deel van het onderzoek is steeds gekeken naar business development van nieuwe markten en veelbelovende vernieuwende hightech toepassingen van speciaal ingebrachte cases. Ook de mogelijkheid van start-ups tijdens of na het project is actief bijgehouden. De opgedane kennis wordt gedeeld met anderen. Dit gebeurt door het organiseren van bijvoorbeeld een webinar voor wereldwijde Akzo Nobel vestigingen, trainingen voor ruim zestig hbo-docenten en ontwerpstudies van ingebrachte ontwerp opdrachten.



Bron: Thales

Case: 3D metaalprinten voor radarsysteem Thales

Thales ontwikkelt adapters die de verbinding vormen tussen de radar en het schip. Dit onderdeel moet letterlijk bom-proof zijn en heeft een complexe vorm van rond naar vierkant. Adapters worden nu nog gegoten of zelfs gefreesd uit een massief metalen blok. Een tijdrovende en kostbare klus. Kan 3D metaalprinten hier een uitkomst bieden? Dit gaf aanleiding tot een onderzoek binnen het kader van het TFF project 3D printen.



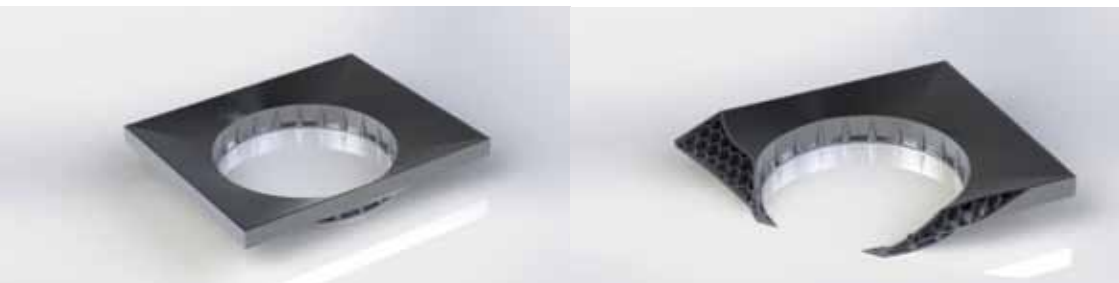
Figuur 1: Het rode onderdeel is de te ontwerpen adapter, dat de verbinding vormt tussen de radar en een groot lager met doorsnede van ruim een meter

Aanpak

Doordat 3D-printen een grote ontwerpvrijheid heeft, is het mogelijk om ingewikkelde en gesloten structuren te maken. Punten die kritisch belast worden kunnen extra materiaal toegewezen krijgen en punten waar nauwelijks krachten op staan kunnen juist minder materiaal nodig hebben. Hierdoor is het mogelijk om heel licht te construeren ten opzichte van gieten of verspanen.

Om tot een ontwerp te komen is eerst onderzoek gedaan naar mogelijkheden en beperkingen van de huidige 3D-printtechnieken. Vervolgens is het krachtenspel in de adapter onder de loep genomen. Parallel hieraan zijn er tijdens brainstormsessies met Thales allerlei ideeën naar voren gekomen die tot concepten zijn uitgewerkt.

Door verscheidene concepten kritisch te toetsen is er naar het eindconcept toegewerkt, met als resultaat een 3D geprinte sandwich-structuur, die veel weg heeft van een honinggraat-structuur. Dit ontwerp heeft dezelfde mechanische eigenschappen als het gietdeel, maar is wel aanzienlijk lichter uit te voeren.



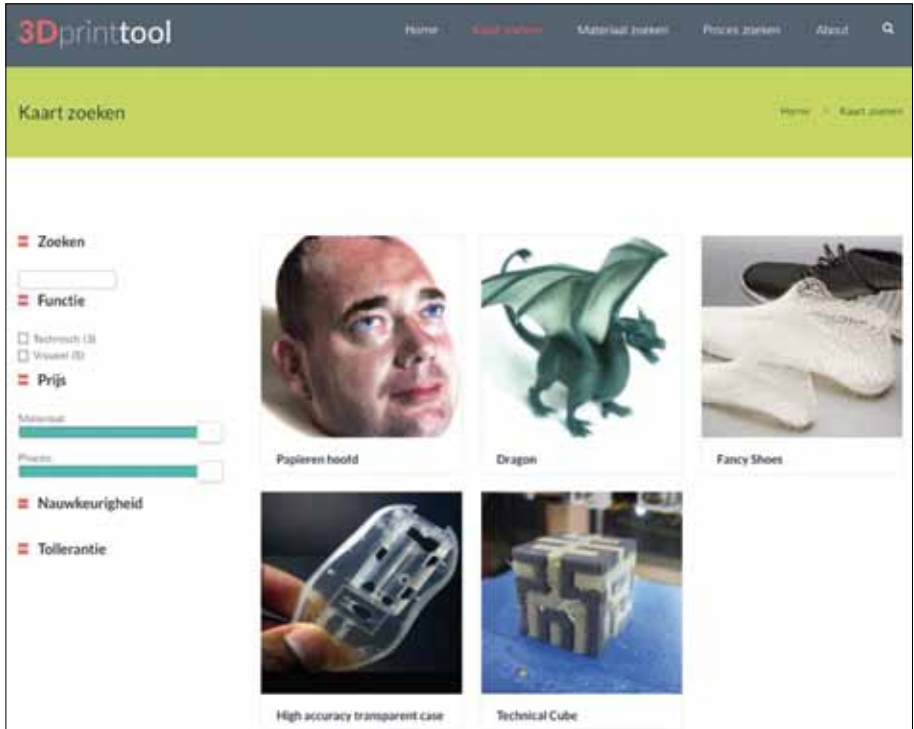
Figuur 2: Het eindconcept, een sandwich-constructie met honinggraatstructuur die in één keer geprint kan worden.

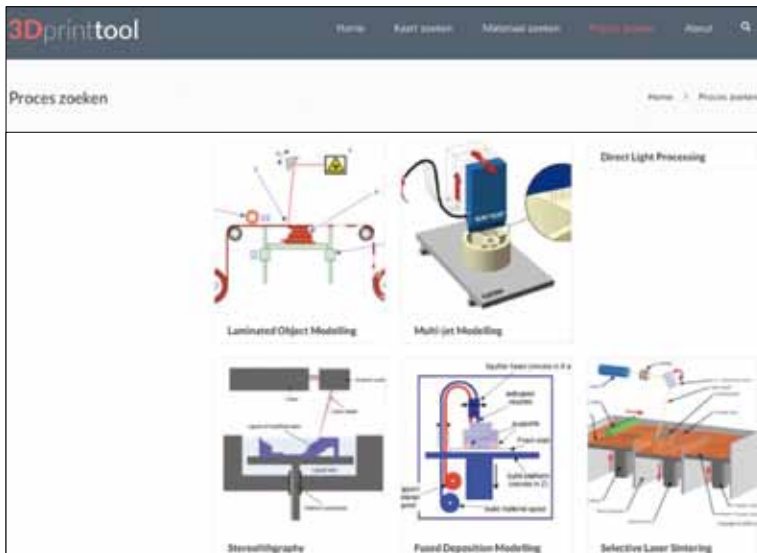
Conclusie

Het onderzoek voor Thales heeft bevestigd dat 3D metaalprinten unieke mogelijkheden biedt voor het produceren van de adapter. Het te construeren onderdeel kan heel specifiek worden opgebouwd, waarbij de ontwerper niet wordt beperkt door vaste wanddiktes, lossingshoeken of lasmogelijkheden. Voor Thales is het 3D printen van de adapter dus absoluut een interessante mogelijkheid zodra de printers onderdelen van dit formaat kunnen printen.

Webtool

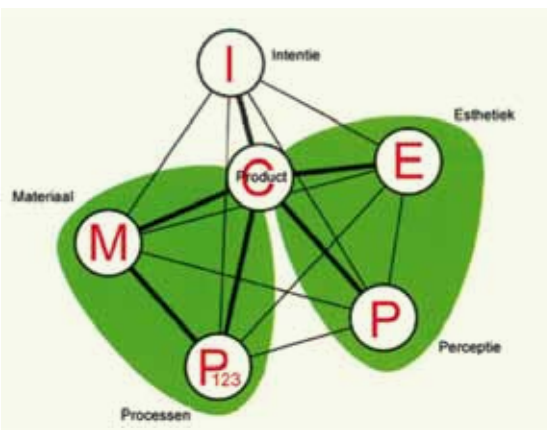
Er is een webtool ontwikkeld waarin staat welke 3D-printtechniek voor welke toepassing geschikt is. Deze webtool is ondergebracht bij de PCMIEP-methode van de opleiding Industrieel ontwerpen. De webtool is te vinden op www.3Dprinttool.nl. Daarnaast staat er op deze website een case over een deelnemer die een FDM-printer had gekocht, maar deze niet aan de praat kon krijgen.





PCMIEP methode

PCMIEP-ontwerpmethode is getest met cases van enkele deelnemende bedrijven en met twee gerenommeerde 3D-print toeleveranciers. De methode wordt gebruikt op een binnen Saxion ontwikkelde brainstormtafel.



Handleiding en workshop

Samen met het FabLab is een handleiding en een workshop ontwikkeld. Deze mogen nu ook door andere bedrijven gebruikt worden. Eenvoudig maar zeer bruikbaar: als je weet hoe het moet is het heel eenvoudig.

Industrieel Eigendom en aansprakelijkheid bij 3D-printen

Voor hun afstudeeropdrachten hebben twee rechtenstudenten zich verdiept in (de gevaren van) Industrieel Eigendom (IE) en aansprakelijkheid bij 3D-printen. Het ligt bijvoorbeeld niet voor de hand dat 3D-print service providers (inclusief FabLab!) die van klanten 3D-data krijgen en ‘alleen maar’ printen, de gevraagde producten leveren en toch soms verantwoordelijk zijn voor inbreuk op bijvoorbeeld geregistreerde ‘trademarks’.



bron: Replicatorinc.com



bron: cgtrader

Uit het onderzoek komen eenvoudige aanbevelingen om problemen met of inbreuk op Auteursrecht, Octrooirecht, Tekeningen- en modellenrecht en Merkenrecht te voorkomen.

Eenvoudige aanbevelingen ter voorkoming van problemen met/inbreuk op:

- Auteursrecht
- Octrooirecht
- Tekeningen- en modellenrecht
- Merkenrecht

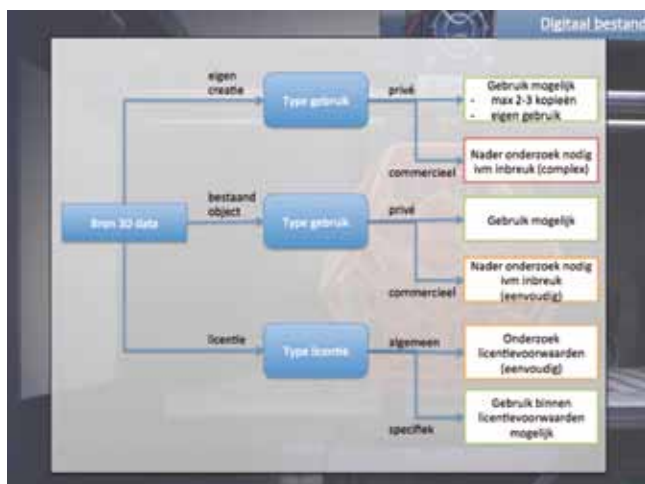
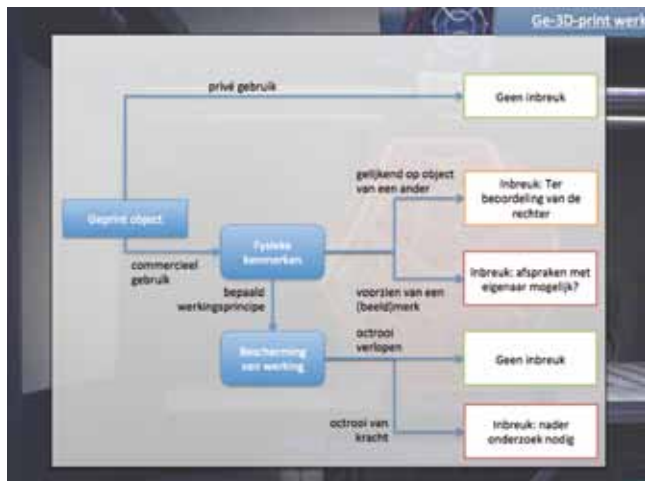
door te letten op:

- Rechthebbende is: maker/uitvinder en producent
- Licentie: exclusief, open-licentie, gratis licentie/open source
- Toestemming voor gebruik van een merk
- Bedrijfsmatig niet beperkt tot commercieel
- Geldend recht: digitaal bestand en product
- Gebruik: privé, commercieel/bedrijfsmatig, onderwijs, reparatie

Inbreuk voorkomen door:

- Rechthebbende: vervolging illegaal gebruik of trusted third party
- Ontwerper/producent: brononderzoek, gebruiksdoel en wie print?

De resultaten van het IE-onderzoek zijn gepresenteerd aan en bediscussieerd met belanghebbenden en specialistische advocaten in een bijeenkomst in het voorjaar van 2015, georganiseerd samen met de Rijksdienst voor Ondernemers en kennispoort Zwolle.



Lector: Karin van Beurden

Lector: Niels Faber - Business development

Projectleider: Rene Groothedde

Binnen TechForFuture combineert het Lectoraat Kunststoftechnologie van Hogeschool Windesheim het onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van 3D-printen met de ontwikkeling van het onderwijs. 3D-printen biedt niet alleen mogelijkheden voor grote bedrijven, maar ook voor het mkb. Maar welke mogelijkheden zijn dat precies? En in hoeverre is het economisch interessant? Windesheim onderzoekt samen met OIM Orthopedie en Tandtechnisch Laboratorium Miedema hoe 3D-printen kan worden ingezet voor de productie van prothesen en orthodontische producten.

Gedurende het onderzoek zijn diverse producten tot stand gekomen. Zo is het mogelijk om op basis van een 3D-scan een afdrucklepel (orthodontische toepassing) te printen. Dat scheelt een keer gips happen en is dus prettiger voor de patiënt. Bovendien verloopt het proces van aanmeten aanmerkelijk sneller. Ook is het gelukt om een splint (een knarsbitje) te printen met gebruikmaking van de DLP-printtechniek. Een ander interessant resultaat is het geprinte model van een onderbeenkoker (orthopedische toepassing) waarmee onderzocht is in hoeverre een FDM-geprint product geschikt is om onder zware mechanische belasting te functioneren. Tot slot is een onderzoek opgestart naar de voorspelbaarheid van de mechanische eigenschappen van 3D-geprinte producten. Het doel daarvan is om simulatietechnieken betrouwbaar te kunnen inzetten tijdens het ontwerp van deze producten.

Een interessant uitstapje buiten de medische toepassingen is het onderzoek naar het 3D-printen van keramische materialen. Samen met Ceratec, leverancier van technisch keramiek, worden de mogelijkheden van het FDM-printen van keramische materialen in kaart gebracht. Een mogelijk interessante toepassing kan het produceren van een demonstratieproduct zijn. Zo'n product heeft niet de nauwkeurigheid van het beoogde eindproduct, maar kan wél snel tot stand komen en is bovendien van keramiek gemaakt.

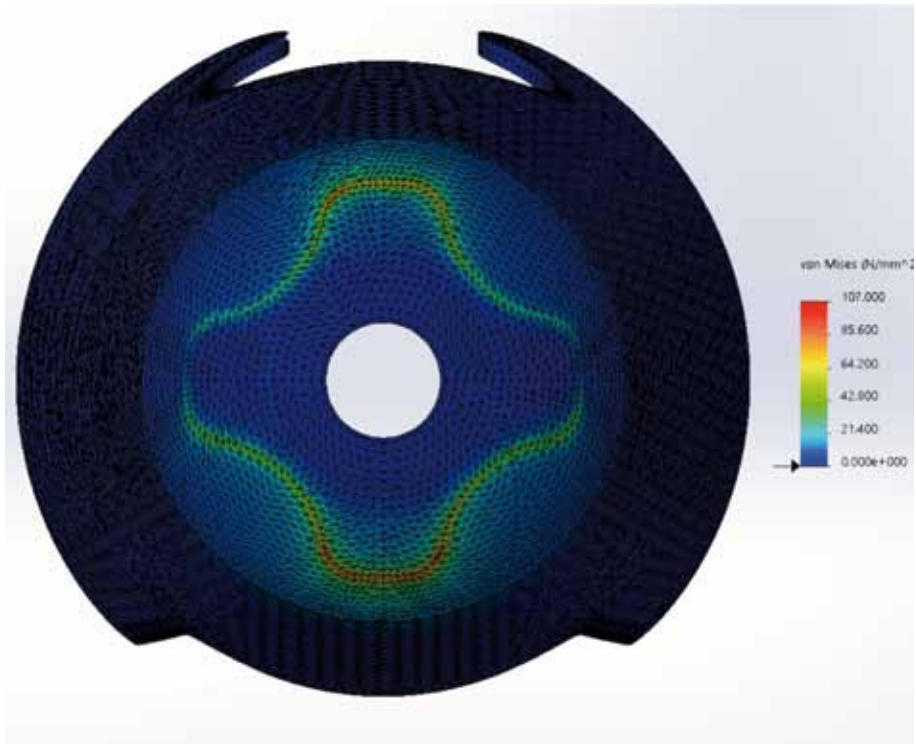
Het onderzoek heeft enkele interessante producten opgeleverd en biedt bovendien uitstekende aanknopingspunten voor vervolgonderzoek. Door dit onderzoek voor een belangrijk deel door docenten en studenten te laten uitvoeren, wordt de opgedane kennis breed verspreid in het werkveld en blijft de opleiding bij de actuele technologische ontwikkelingen aangesloten.

Lector: *Margie Topp*

Associate lector: *Geert Heideman*

Docent onderzoeker: *Robbie Woldendorp*

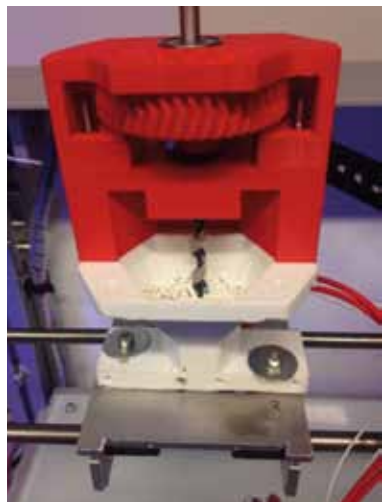
Lectoraat Kunststof Technologie Windesheim



Afbeelding 1: simulatie van de spanningscondities in een onderbeenkoker



Afbeelding 2: het 3D-printen van een knarsbitje



Afbeelding 3: een extruder op een 3D-printer gemonteerd voor het printen van keramisch materiaal

Handwriting practice lines consisting of 15 sets of three horizontal lines (top, middle, and bottom) for letter formation.

Met dank aan de meewerkende partners in dit project:



People Creating Value

