

Onderzoek aan Arteveldehogeschool
Communicatie, Media en Design

Van 3D-scan tot Full Colour 3D-print



1 Inleiding

Arteveldehogeschool Expertisenetwerk Communicatie, Media en Design kreeg van VLAIO financiële middelen om te investeren in de aankoop van een Full Colour 3D-printer en een hoog kwalitatieve 3D-scanner. In september 2021 startte een praktijkgericht wetenschappelijk onderzoeksproject “beheer van kleur en textuur in full colour 3D-printing” door Inge Sintobin (projectmanagement) en Bart Calis en Tom Neuttiens als onderzoekers.

Full colour 3D-printing is een geavanceerde 3D-printtechnologie die de mogelijkheid biedt om objecten te creëren die door hun gedetailleerd kleurpallet en textuur soms nauwelijks van echte voorwerpen te onderscheiden zijn.

Het definiëren van kleuren en oppervlaktetexturen gebeurt op verschillende manieren in de diverse hard- en software in 3D-design. Tijdens de 3D-workflow zijn er heel wat conversies: van 3D-scan, over modelleren en textuur aanbrengen, het visualiseren van 3D in AR en VR tot het printen in 3D in full colour. Dit onderzoek heeft als doel het beheer van kleur en textuur in kaart te brengen doorheen deze stappen.

De eerste fase bestond uit de technologieverkenning waarbij in hoofdzaak de 3D-scanner (Artec Eva) en de 3D-printer (J55 van Stratasys) bestudeerd werden.

Vervolgens werd de workflow bestudeerd aan de hand van verschillende casussen, groeiend in complexiteit en werd vervolgens onderzoek gedaan naar een optimale workflow vertrekkend van een 3D-scan.

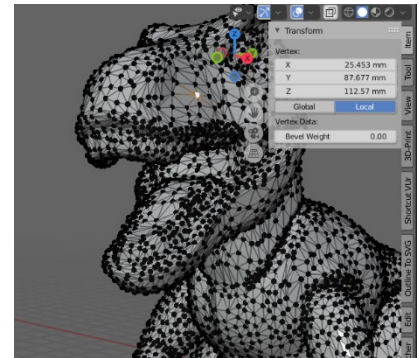
We trachten in dit onderzoek aan de hand van stappenplannen enkele handvaten aan te reiken aan ieder die zich het Full Colour 3D-printen wil eigen maken. We staan daarbij niet alleen stil bij verschillende “tips & tricks” maar geven ook wel aan waar we tegenaan liepen en hoe we dit trachten op te lossen. Dit via vele voorbeelden en beeldmateriaal.

2 Situering Full Colour 3D-printing

3D-printing versus Full Colour 3D-printing

3D-printing in één materiaal

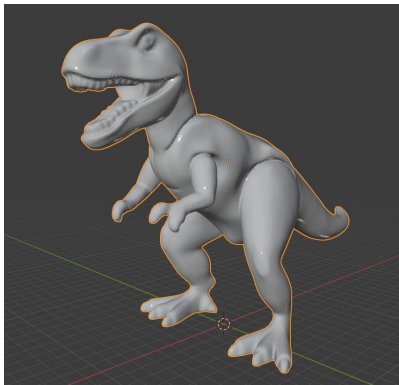
Bij het maken van een 3D-print in één kleur en in één materiaal wordt steeds vertrokken van een bestand dat het object virtueel in 3 dimensies voorstelt. Dergelijk object is opgebouwd uit een fijn raster van polygoenen. Elk hoekpunt van een polygoon vertegenwoordigt een x-y-z-coördinaat. Deze informatie volstaat om bij slicing een printer in staat te stellen om dit object laagje voor laagje te materialiseren.



Full colour 3D-printing

Om tot een Full Colour 3D-print te komen, moet bovenop de polygonstructuur die de vorm bepaalt ook informatie verzameld worden over de kleur en de textuur van de oppervlakte. De extra informatie zit vervat in een beeld (JPG of PNG) die UV-map genoemd wordt.

UV-mapping een techniek om een tweedimensionale afbeelding (een textuur) op een driedimensionaal object te "plakken".



3 3D-scan

Het jaar voorafgaand aan dit onderzoek liep een zeer intensieve periode waarin onderzocht en beslist werd welke apparatuur aangeschaft diende te worden in functie van dit onderzoek. Naast een Full Colour 3D-printer was hierbij ook de aankoop van een 3D-kleurencoder noodzakelijk.

In de eerste fase van het onderzoek werd deze apparatuur en bijhorende software grondig verkend en getest. Na het afwegen van pro's en contra's viel de keuze uiteindelijk op de Artec Eva scanner met bijhorende software Artec Studio.

Artec Eva

De Artec Eva is een professionele draagbare handscanner die in staat is zeer diverse objecten te scannen vertrekkend van een grootte van ongeveer 15cm.

Deze scanner heeft een nauwkeurigheid tot 0,1 mm en een resolutie tot 0,5 mm.

De scanner projecteert een raster (ter grootte van een A4) op een object en maakt daarbij ongeveer 15 projecties per seconde (bovenste opening).

De onderste opening (3D-camera) meet de vervorming van deze projectie op het object. Hierbij worden de kruispunten (x-y-z) telkens gemeten en opgeslagen.

De ronde opening bevat in het centrum een fotocamera. Rondom bevinden zich de flitsers. Per scan worden kleur en geometrie geregistreerd. Samen bepalen ze de vorm van het object.

De fotocamera fotografeert tevens de kleur en textuur die verwerkt wordt tot een UV-map die rond het object past en er zo een full colour object van maakt.

Artec Studio

Artec Studio is de software die de Artec Eva aanstuurt bij het scannen. Na het scannen heeft deze software ook de nodige tools aan boord om de scan te verwerken tot een finaal afgewerkt virtueel object.



Pro's

- Geen kalibratie nodig. Dit maakt de scanner erg gebruiksvriendelijk en is tijdbesparend.
- Dankzij de bijhorende krachtige software (Artec Studio) is het ook mogelijk om in High Definition te scannen wat een verdubbeling in resolutie betekent.
- Scannen van blinkende objecten is tot zekere hoogte mogelijk en werkt beter dan bij andere scanners.
- De Eva is in staat om haar te scannen, beter dan bij andere scanners.
- Regelmatig wordt deze software geüpdatet met significante verbeteringen.
- Sinds versie 17 is het mogelijk om de textuur te verbeteren door toevoeging van foto's van het gescand object.

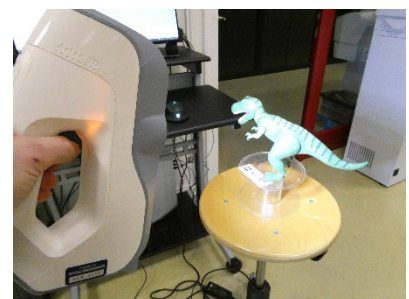
Con's

- Scannen van objecten met transparantie is niet mogelijk.
- De scanner moet verbonden zijn met de computer van waaruit hij gestuurd wordt. Deze draden zijn vrij kort. Bij de aankoop werd al aangeraden om eventueel een USB-verlengdraad te voorzien.
- De continue lichtflitsen tijdens het scannen worden als lastig ervaren bij het scannen van personen.
- Objecten met reflectie vertonen in de UV-map van de scan lichtvlekken. Deze lichtvlekken kunnen in een tekenprogramma verwijderd worden, maar dit is vrij tijdrovend.
- Deze software vereist een krachtige computer met grafische kaart.
- Bij een trage computer zal het berekenen van een HD-scan erg veel tijd in beslag nemen.

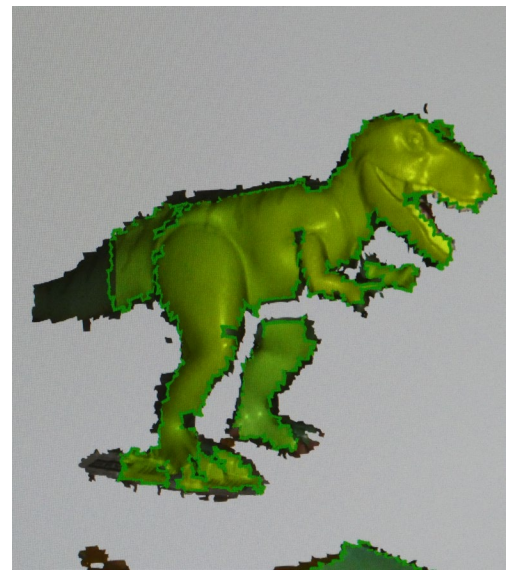
Stappenplan: Maken van een 3D-scan

1. *Vorbereitung scannen*

- Het te scannen object moet zo geplaatst worden dat je met de scanner vlot rond het object kan bewegen.
- Correct scannen vraagt enige handigheid en behoorlijk wat oefening en geduld. Een goede voorbereiding moet ervoor zorgen dat het scannen zo vlot mogelijk verloopt en een correct resultaat oplevert.
- Op voorhand bepaal je best of het object in één scan of verschillende scans moet gebeuren. Wanneer gewerkt wordt met verschillende scans, is voldoende overlap nodig om nadien softwarematig de verschillende scans terug samen te voegen.



2. De verschillende handelingen tijdens het scannen



- Houd de scanner op een afstand tussen 0,4 en 1 meter van het object.
- Achteraan de scanner bevinden zich twee knoppen. Om de scan te starten, klik je op de bovenste knop.
- Na één maal klikken gaat de scanner in preview-modus.
- Richt de scanner naar het object tot deze duidelijk op het beeld verschijnt.
- Ga over van preview naar scan door op opnieuw op deze knop te drukken. Door een derde keer op deze knop te drukken, zet je de scanner in pauze.
- Beweeg langzaam zonder schokken in alle richtingen rond het object.
- Volg simultaan in Artec Studio de opbouw van de digitalisering.
- Wanneer er voldoende gescand is, bevestig je door het indrukken van de knop onderaan.
- Nadat zo één of meerdere scans gedaan zijn, kan overgestapt worden naar de verdere verwerking.



SCAN TIPS

- Bij o.a. te snel te bewegen, kan de scanner zijn tracking verliezen. Beweeg in dat geval terug in de richting waar je uit kwam. Wanneer de scanner voldoende referentiepunten herkent, zal het scannen hervat worden.
- Indien het object erg klein is, gebeurt het regelmatig dat de scanner zijn tracking verliest. Een mogelijk oplossing is om het kleine object deel te laten uitmaken van een groter geheel. De scanning zal dan vlotter verlopen zonder verlies van tracking. Nadien moet dan het extra object

digitaal verwijderd worden. Dit kan ook in Artec studio of eventueel in een andere software zoals Blender.

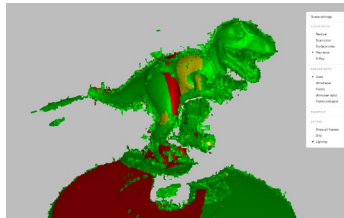
- Het scannen van een transparant object is bij 3D-scanning niet mogelijk. Dergelijk object wordt door de scanner niet gezien. Dit biedt wel het voordeel dat je een transparant object kunt gebruiken als ondergrond. Bij het scannen zal het object zweven. Je wint dan tijd bij het verwijderen van de ondergrond.



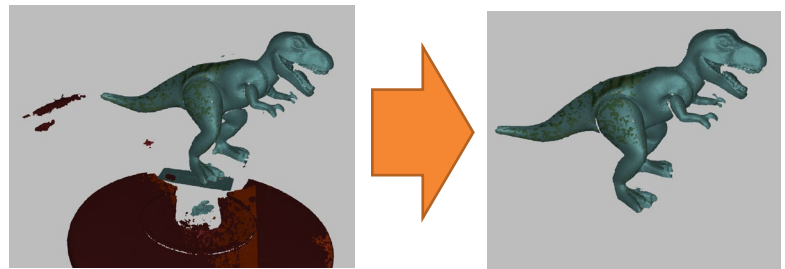
3. *Opkuisen en verwerken van de scan*

Na het scannen volgen een aantal belangrijke bewerkingen om tot een definitieve scan te komen. Dit kan zowel manueel als automatisch uitgevoerd worden binnen Artec Studio. In chronologische volgorde zijn dit:

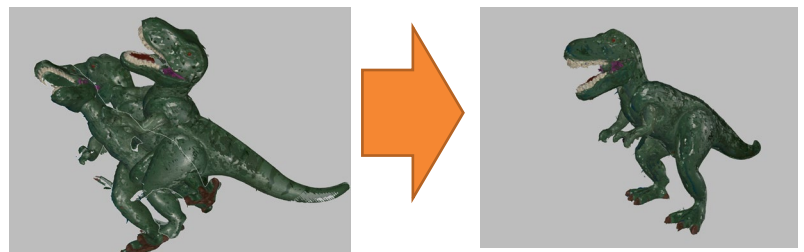
- Verwijderen van fouten



- Verwijderen van de achtergrond



- Samenvoegen van de verschillende scans



TIPS

- Wanneer blijkt dat na het verwerken van de scan deze nog niet zuiver of onvolledig is, kunnen nog extra scans bijgemaakt worden en kan de scan opnieuw berekend worden.

- Het is niet noodzakelijk alle scans te gebruiken. Eén van de scans kan bij het eindresultaat fouten geven of overbodig zijn.

4. Genereren van het 3D-object en zijn UV-map

Nadat de volledige scan klaar is, kan deze geëxporteerd worden. Een object met kleur wordt naar een OBJ-file weggeschreven. Automatisch wordt daarbij de UV-map aangemaakt die als JPG wordt weggeschreven. Naast deze bestanden wordt ook een MTL-file aangemaakt. Dit bestand zorgt ervoor dat de UV-map (JPG) geconnecteerd wordt aan de geometrie (OBJ).

3 files:

.OBJ (3D-geometrie)



.JPG (UV-map)



.MTL (combines OBJ & JPG)



Links

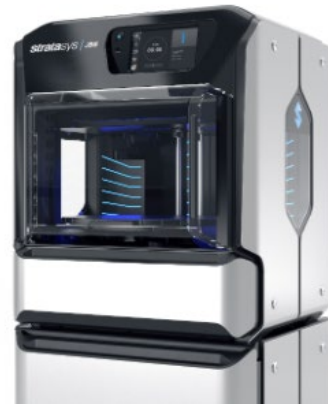
[Artec Eva - 4cccc.nl](https://www.artec3d.com/evolution/4cccc.nl)

[UV mapping - Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/UV_mapping)

4 3D-printen

Stratasys J55 Prime

Na testing van verschillende Full Colour 3D-printers werd uiteindelijk gekozen voor de J55 van Stratasys. Dit is het kleinste model uit het Stratasys-gamma dat in staat is in Full Colour te printen.



Op deze printer kan een print van max. 140 x 200 x 190 mm gemaakt worden. De fijnste laagdikte is 18 micron (1000 micron = 1 mm).

Polyjet techniek (of Material Jetting)

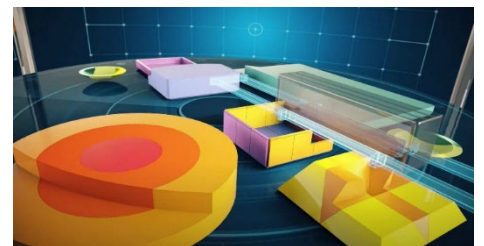
Deze printer werkt volgens de Polyjet techniek. Vanuit de printkop worden ultra fijne druppeltjes polymeer op de printplaat aangebracht. Nog voor een volgende laag kan aangebracht worden, wordt deze laag gefixeerd met UV-licht. Op deze gefixeerde laag wordt vervolgens een volgende laag aangebracht die op haar beurt gefixeerd wordt.



Uniek aan de Stratasys J55 Prime is de draaiende printplaat. In tegenstelling tot grotere broer J750, waar de printkop heen en weer beweegt over een rechthoekige printplaat, is de printplaat hier een schijf die rond draait. Dit maakt de printer behoorlijk compact.



Op deze printer kan geprint worden met een mix van 5 materialen. Dit kan gaan om harde, zachte (rubberachtige), transparante en een supportmateriaal. Net zoals bij andere printtechnieken (FDM, Stereolithografie) is het ook bij deze techniek nodig met om met een supportmateriaal te werken dat het object ondersteunt waar nodig.



Polymeren

De polymeren worden geladen in 2x6 verticale lades.

Standaard zijn de lades voorzien voor:

1. Zwart
2. Wit
3. Magenta
4. Yellow
5. Cyaan
6. Support



Links

[Material Jetting \(PolyJet\) 3D Printing: Everything You Need To Know - 3DSourced](#)

[What is the Polyjet process in 3D Printing? Pros and Cons \(jiga.io\)](#)

GrabCAD

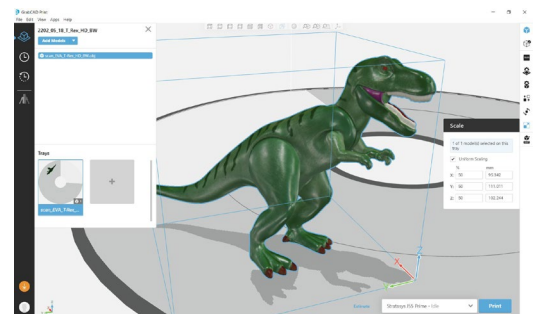
GRABCAD

GrabCAD is het softwarepakket dat door Stratasys ontwikkeld werd voor het aansturen van hun printers. Bij het opstarten van GrabCAD geef je dus onmiddellijk aan met welke printer je werkt.

Stappenplan GrabCAD

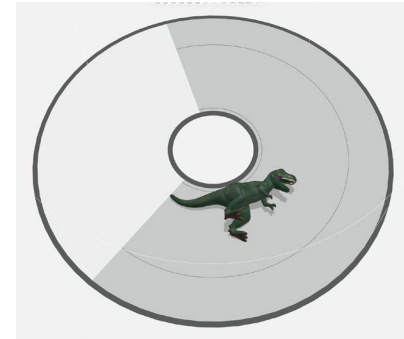
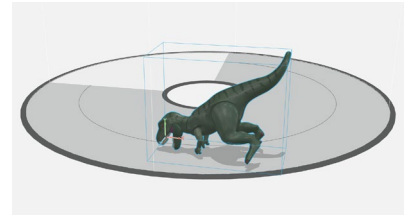
1. Importeren object

- Een object binnen brengen in GrabCAD doe je door het OBJ-bestand te importeren.
 - Automatisch wordt de UV-map mee opgeladen en is deze zichtbaar.
 - GrabCAD zal automatisch detecteren of het geïmporteerde object fouten vertoont. Via aanklikken van de signalisatie hiervan (rechtsboven) worden deze fouten automatisch gecorrigeerd.
- **TIP: indien de UV-map niet geladen wordt, controleer dan of alle bestanden (OBJ, MTL & JPG) in dezelfde map terug te vinden zijn. Dit is belangrijk.**



2. Positioneren object

- De positie op de printplaat kan manueel of automatisch gebeuren. Bij automatisch positioneren, wordt de meest economische manier van 3D-printen gekozen.
- Hierbij wordt het object zo dicht mogelijk tegen de binnencirkel gelegd en zo laag mogelijk gehouden. Een object zal dus niet altijd rechtop staan.
- Bij het gelijktijdig printen van verschillende objecten zal de printtijd grotendeels bepaald worden door het hoogste object. Het is dus interessant objecten van gelijke grootte en hoogte samen te printen



3. Support materiaal

Objecten moeten steeds ondersteund worden op plaatsen die niet rechtstreeks met de printplaat in contact komen. Ook onderdelen die zweven moeten van support voorzien worden. De printer heeft hiervoor een apart materiaal dat gelachtig aanvoelt en na het printen verwijderd moet worden.

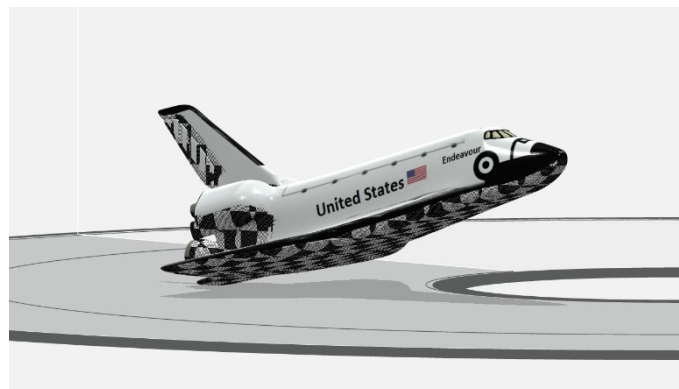


4. Matt versus glossy

In GrabCAD bestaat de mogelijkheid om glossy (blinkende) of matte (niet-blinkende) objecten te printen.

Support wordt automatisch geprint daar waar ondersteuning nodig is tussen printplaat en object. Dit is noodzakelijk bij elke print. Op de plaats waar support het object raakt, zal het oppervlak een matte structuur krijgen. Delen die geen support nodig hebben, zullen dus blinkend zijn.

Het zwart-wit gearceerde deel geeft aan waar automatisch support geprint zal worden.



Aangezien bij deze printtechniek printen zonder support niet mogelijk is, zal een object altijd voor een deel een mat oppervlak hebben. Een object volledig glossy printen is dus niet mogelijk.

Het is dus aangewezen om bij het printen een mat oppervlak te kiezen. Het object wordt dan volledig bedekt met het supportmateriaal. Via nabewerking kan het oppervlak een blinkende finish krijgen.

Enkel in uitzonderlijke gevallen is het interessant om onmiddellijk in de “glossy” modus te printen.



3D-printen met Stratasys J55

1. Uitvoeren routine cleaning

De printer zal voor het opstarten van de print aangeven of er verplicht een “routine cleaning” moet uitgevoerd worden en dit is afhankelijk van de tijd tussen twee prints.

In dat geval moeten de verschillende onderdelen van de printer gereinigd worden met hiervoor bestemde doekjes en isopropyl alcohol.

Volgende stappen bij de routing cleaning moeten doorlopen worden nadat de printer eerst opgewarmd wordt tot 60°:

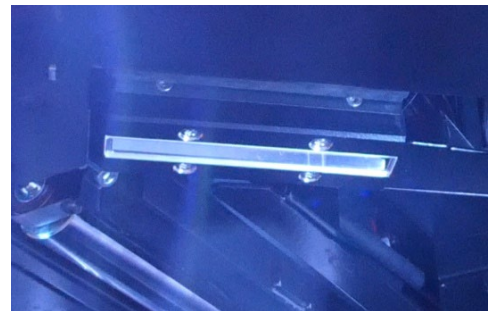
1. **Print heads:** veeg het doekje met isopropyl alcohol van het centrum van de printkop naar achter en daarna van het centrum naar voor.



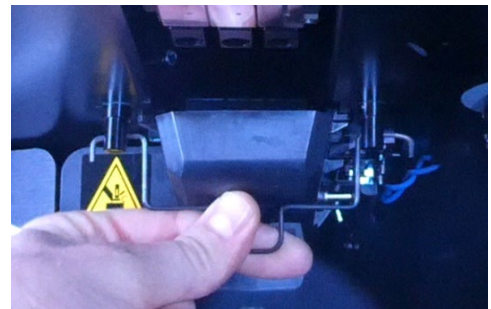
2. **Roller:** wrijf het doekje met isopropyl alcohol traag over heel de lengte van de roller van voor naar achter en van achter naar voor. De roller moet echt blinken.



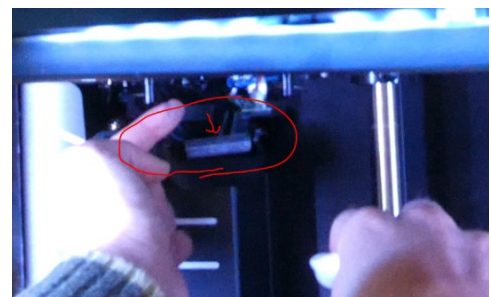
3. **UV-lamp:** deze wordt met een zacht doekje afgeveegd. Indien nodig mag ook hier isopropyl alcohol gebruikt worden.



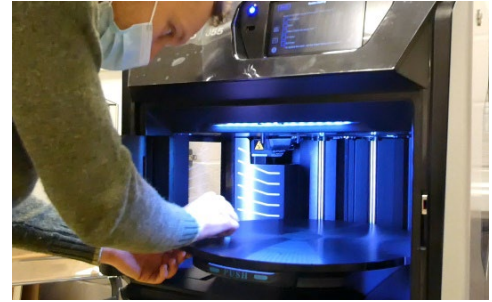
4. **Wiper (perge unit):** trek het metalen beugeltje naar achter zodat de 'perge unit' naar beneden valt.



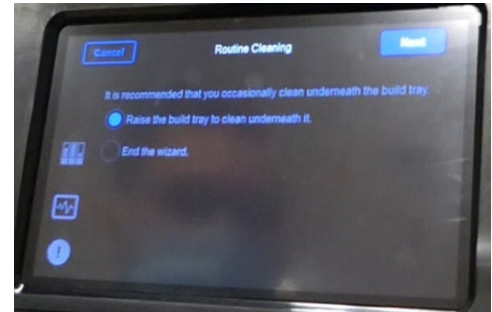
5. **Wiperblade:** is een rubberen mes dat de koppen afschraapt. Deze moet afgeveegd worden met een doekje met isopropylalcohol.



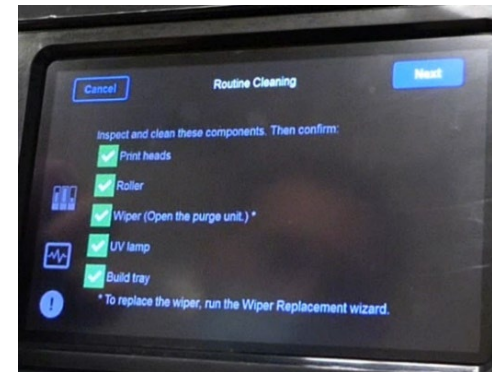
6. **Build Tray (printplaat):** wordt gewoon afgewassen met water en zeep. Liefst geen isopropylalcohol.



7. **Optioneel:** Indien nodig kan onder de bouwplaat ook nog gereinigd worden. Dit is soms nodig wanneer bij het verwijderen van de prints kleine stukjes support onder de bouwplaat terecht komen.



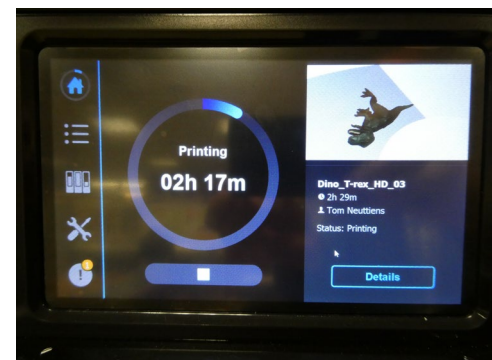
Tot slot worden alle stappen aangevinkt op het controlescherm waarna het printen kan starten.



2. *Printen*

Bij aanvang van het eigenlijke printproces wordt de deur vergrendeld en is het niet meer mogelijk mechanisch in te grijpen.

Op het controlescherm wordt de totale printtijd aangegeven.



Het draaiend plateau beweegt omhoog tot tegen de printkop, roller en UV-lamp.

Vanuit de printkop worden de druppeltjes polymeer op de printplaat aangebracht om vervolgens onmiddellijk gefixeerd te worden met UV-licht. Op deze gefixeerde laag wordt vervolgens een volgende laag aangebracht die op haar beurt gefixeerd wordt.

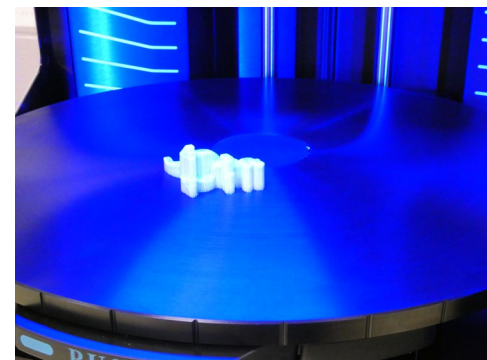


Naarmate de print vordert, zakt de draaiende schijf.

Op het ogenblik dat de print klaar is, zakt de schijf terug tot beneden en komt tot stilstand. Pas dan wordt de deur automatisch ontgrendeld en kan de print verwijderd worden.



Om de print te verwijderen, wordt de schijf eerst gefixeerd door de “push” -knop vooraan op de schijf uit te klikken (op dat ogenblik kan de deur niet meer gesloten worden).



Het verwijderen gebeurt met een schraper die zo schuin mogelijk tegen de print geduwd wordt.

Na het verwijderen wordt de “push”-knop terug ingedruwd.

Het reinigen van de printplaat gebeurt met een vochtig doekje.

Hardnekkige resten kunnen desnoods met isopropyl alcohol verwijderd worden.



5 Nabewerking

Wanneer het object verwijderd is van de printplaat moet het “bevrijd” worden van het supportmateriaal (=gelachtige substantie die zich volledig rond het object bevindt bij een matte print of minstens in de zone tussen object en printplaat bij een glossy print).



Het verwijderen van deze support gebeurt in 3 fasen:

1. *Manueel verwijderen van supportmateriaal*

Deze kan in de eerste fase vlot manueel verwijderd worden door de grootste brokken weg te breken.

Deze supportrestanten kunnen niet gerecycleerd worden en worden als gewoon restafval beschouwd.



TIP 1:

Het is sterk aan te raden handschoenen en beschermkledij te dragen.

TIP 2:

Bij het verwijderen, valt het materiaal uiteen in grotere en kleinere brokken. Deze materie is behoorlijk kleverig. Je houdt het object dus best boven een doek of papieren tissue dat nadien bij het restafval kan gegooid worden.

TIP 3:

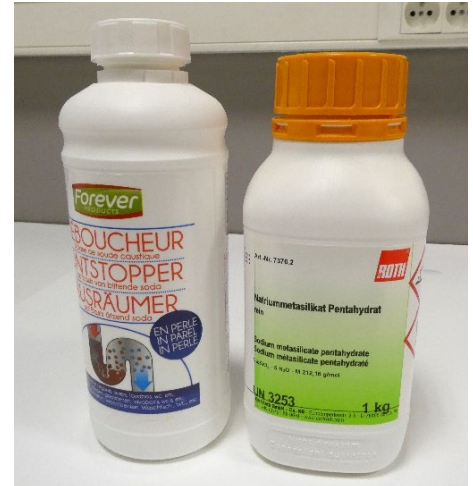
Restanten kunnen hardnekkig kleven maar zijn wel eenvoudig te verwijderen met water en bv. een tandenborstel. Een houten tandenstoker bleek erg handig om de support uit kleine holtes en plooiën te verwijderen.



2. Verwijderen fijne resten via onderdompeling in tank met bijtende soda.

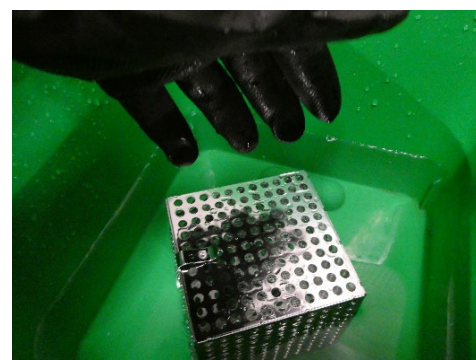
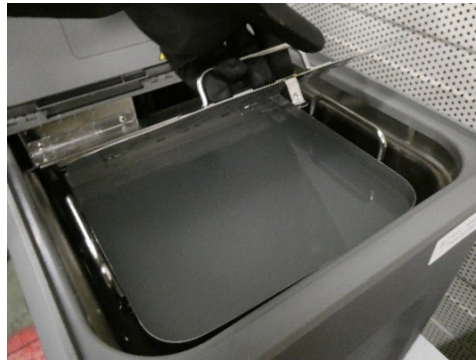
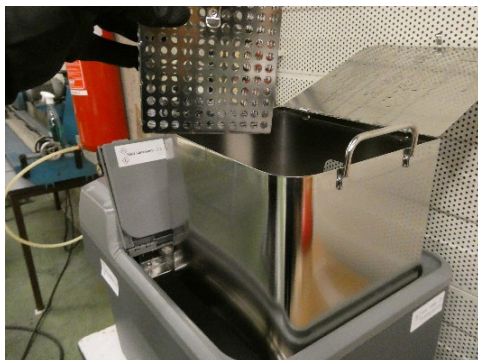
Wanneer de meeste materie van het support handmatig verwijderd is, kunnen de overgebleven deeltjes met bijtende soda losgeweekt worden. Ook de “film” die zich nog op het oppervlak bevindt, wordt zo verwijderd.

Het object wordt gedurende enkele minuten (max 4) ondergedompeld in een tank. Hiervoor dient de vloeistof niet opgewarmd te worden (kamertemperatuur is OK) maar de spoelformule die de vloeistof laat circuleren moet geactiveerd zijn.



TIP 5:

Aangezien bij deze procedure met bijtende producten gewerkt wordt, is beschermkledij, handschoenen (met hoge bescherming) en een veiligheidsbril noodzakelijk!



3. *Cleaning met water (hydrojet)*

In de laatste fase wordt het object met een hydrojet gereinigd zodat de laatste resten volledig verwijderd worden.

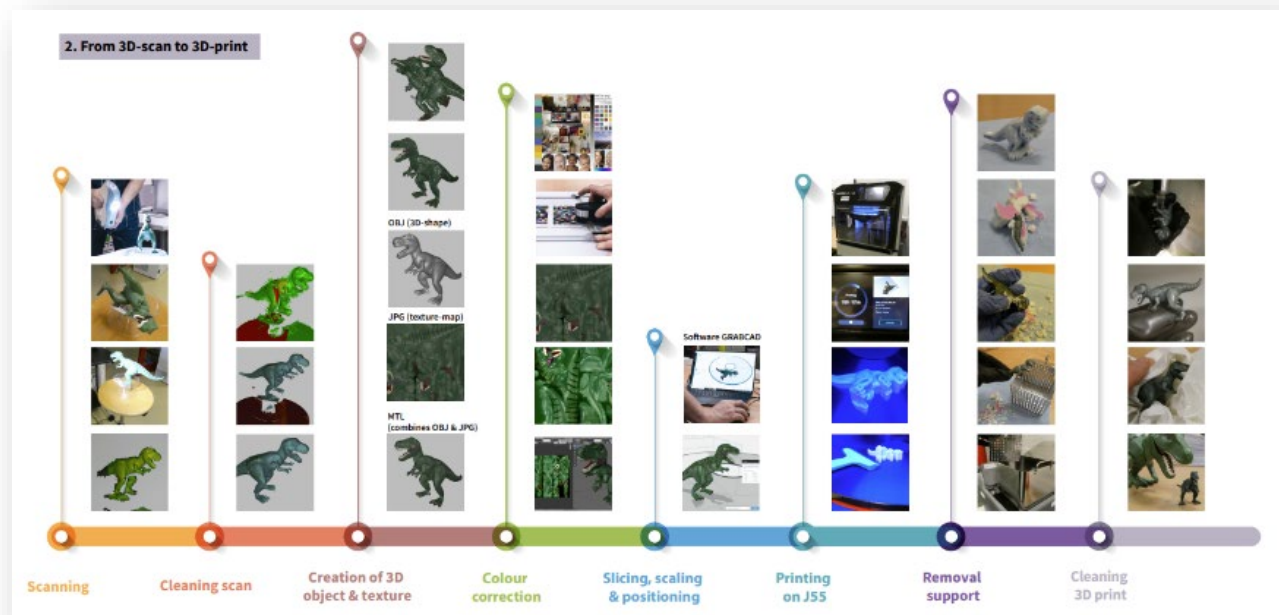


TER INFO: er werd onlangs aangekondigd dat op termijn Stratasys nieuw supportmateriaal op de markt zal brengen dat oplosbaar is in water. Dit zal het huidige tijdrovende proces van verwijderen van supportmateriaal aanzienlijk vereenvoudigen.

6 Conclusies bij het productieproces van 3D-scan tot Full Colour 3D-print

1. Schematische voorstelling

Dit schema geeft weer welke stappen doorlopen werden om tot een kwaliteitsvolle 3D-print te komen.



Deze verschillende stappen kunnen herleid worden tot 3 belangrijke fasen in het maken van een succesvolle 3D-print.

1. **Pre-print-fase:** komen tot een geschikt virtueel object mét kleur en textuurinformatie
2. **Printfase:** het printklaar maken in functie van het printen, gevolgd door het effectieve printen
3. **Post-printfase:** het opkuisen en eventueel nabewerken van de print

2. Scanning (met Artec Studio en Artec Scanners)

Het correct omgaan met een 3D-scanner vormt eigenlijk een studie op zich. Scannen is een precisiewerk dat enige handigheid vergt. Elk object vraagt zijn eigen aanpak en wordt best op voorhand bestudeerd.

Beslissingen die hier genomen worden, hebben een invloed op de verwerking van de scan (scannen in één stuk, of via verschillende losse scans of scannen met of zonder ondergrond).

Artec Studio biedt vervolgens heel wat tools aan om de gemaakte scans te verwerken tot een mooi printbaar virtueel object. Al deze tools onder de knie krijgen vergt tijd en studie.

4. Ervaringen GrabCAD

GrabCAD is vrij gebruiksvriendelijk en laat de gebruiker aan de hand van eenvoudige instellingen de finale eigenschappen van de 3D-print bepalen. Het aantal instellingen is eerder beperkt.

Dit programma communiceert met de printer waardoor bij de opstart van de print rekening gehouden wordt met de voorraad aan te gebruiken polymeer. Wanneer bij een bepaalde print meer materiaal zal verbruikt worden dan de beschikbaarheid in de printer, wordt dit aangegeven en kan een print pas opgestart worden wanneer dit materiaal aangevuld is.

De software is behoorlijk sturend. Pas wanneer alle stappen correct uitgevoerd zijn, zal het mogelijk zijn een print op te starten.

Het strikt begeleid worden in de workflow van het printproces heeft als voordeel dat fouten maximaal vermeden worden en dat het maken van foutieve prints bijna niet mogelijk is.

5. Ervaringen J55 Prime

Het ingenieuze systeem van een draaiende schijf i.p.v. een rechte printplaat blijkt erg goed te werken. De printer voert voor en na elke print een cleaning van printkop, roller en UV-lamp uit en dit zorgt ervoor dat tot nu toe steeds perfecte prints werden afgeleverd.

Printen vraagt echter tijd. Zo neemt deze cleaning procedure alleen al een 20-tal minuten in beslag. De printer geeft ook op geregelde tijdstippen meldingen i.v.m. met onderhoud, kalibratie en updates van software. Toch is het niet altijd noodzakelijk om al deze meldingen uit voeren, maar bepaalde opmerkingen kan je echter niet negeren.

6. Vervolgonderzoek

In het eerste jaar van dit onderzoek namen we uitgebreid de tijd om de Artec Eva scanner en de Stratasys J55 en bijhorende software in al zijn aspecten te leren kennen en te leren gebruiken. Dit leverde hele mooie resultaten op.

Maar dit is slechts het topje van de ijsberg. Full Colour 3D-printing is in vergelijking tot de klassieke 3D-printtechnieken veel complexer omwille van het gebruik van kleur en vraagt verder onderzoek om de mogelijkheden van deze printtechniek maximaal te benutten.

Verder onderzoek is o.a. mogelijk om gebied van:

- Verfijnen van scantechnieken door manuele instellingen grondiger te bestuderen
- Verder onderzoek naar de verschillende tools en technieken van het UV-mappen binnen Blender
- Printen met flexibele en transparante materialen
- Afwerking van prints
- Voxelprinting

Naast het technisch onderzoek willen we ook onderzoeken welke markten de mogelijkheden van Full Colour 3D-printing zouden kunnen gebruiken in bestaande of nieuwe toepassingen.

Meer weten?

Deze neerslag beschrijft de start van het onderzoek waarbij we het proces beschrijven van 3D-scan naar Full Colour 3D-print.

Ben je getripped door het onderzoek? Ga je graag in dialoog?

Of blijf je met vragen zitten na het lezen van deze inleiding?

Ik ben steeds bereid om het onderzoek toe te lichten.

Aarzel niet om contact op te nemen!

Tom Neuttiens (onderzoeker) - tom.neuttiens@artevelddehs.be

Onderzoeks- en ontwikkelingscentrum Communicatie, Media en Design