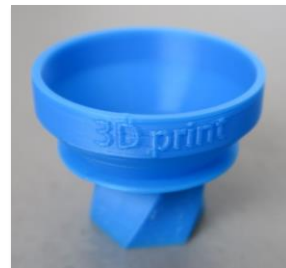


**hcc!**

**hcc! 3D**

***HCC en HCC!3D nemen  
jullie graag mee op  
een fascinerende  
ontdekkingsreis in  
de wereld van 3D***



Gemaakt door HCC!3D  
seizoensthema najaar ©2018

## Syllabus Ontwerpen en printen in 3D

*HCC is een actieve vereniging met ca. 50.000 leden, die zich op heel veel locaties verspreid door heel Nederland én in Vlaanderen bezighouden met alles wat je in de digitale wereld tegenkomt. Het seizoensthema van het najaar 2018 bij HCC is 'Ontwerpen en printen in 3D'.*

In deze syllabus komt het onderwerp 3D aan bod. Tijdens de presentatie van HCC en HCC!3D heb je al veel informatie gekregen over de wereld van 3D. Die info vind je terug in deze syllabus, daarnaast vind je ook een 3D-artikel uit de huidige PC-Active en de FAQ, veelgestelde vragen en antwoorden op 3D-gebied.

Meer info vind je op [3d.hcc.nl](http://3d.hcc.nl) en [www.hcc.nl/3d-printen](http://www.hcc.nl/3d-printen). Op die laatste site vind je ook waar bijeenkomsten bij jou in de buurt worden gehouden. Is er geen locatie in jouw buurt, richt dan een werkgroep op. Je krijgt dan ondersteuning, stuur hiervoor een mail naar [verenigingszaken@hcc.nl](mailto:verenigingszaken@hcc.nl)

In de presentatie werd er vooral in op wat 3D kan betekenen als hobby en de rol van de HCC/HCC!3D daarbij. De presentatie is geen allesomvattende presentatie over 3D, na deze presentatie kun je dus zomaar niet eventjes 3D-ontwerpen, 3D-scannen of 3D-printen. Wel lees je in deze syllabus wat ervoor nodig is en wat je moet doen om een goede 3D-print te maken.

### Inhoud van deze syllabus

1. Algemene uitleg 3D	pagina 3
2. Ontstaan en geschiedenis van de 3D-printer	pagina 6
3. Werking van de 3D-printer	pagina 9
4. 3D-model creëren	pagina 18
4.1 3D-model kant-en-klaar downloaden	pagina 18
4.2 Bestaand voorwerp scannen	pagina 20
4.3 Sculptuur maken	pagina 23
4.4 3D-CAD ontwerpen	pagina 24
5. Naar printbaar formaat omzetten	pagina 25
6. Printer voorbereiden	pagina 29
7. Printen	pagina 31
8. Nabehandelen	pagina 32
9. HCC!3D en aanbieding 3D-printer	pagina 36

Veel software/uitleg/terminologie is Engelstalig en daarom vind je in deze syllabus veel Engelstalige woorden/begrippen. Er is vaak geen goed Nederlandstalig woord voor en als het al bestaat, wordt het niet gebruikt/herkend door mensen in de 3D-wereld. Wie totaal geen Engels kent, heeft helaas wel een nadeel.

# 1. Algemene uitleg 3D

**3D-print is hot news...**

**3D-print van Tom Dumoulin voor een betere tijdrif**  
11 april 2017 om 10:30 uur - HERSOONWAARBOCH (E)

**Adidas kiest voor serieproductie met CLIP-printer (video)**  
11 april 2017 om 10:30 uur - HERSOONWAARBOCH (E)

**Mond-, kaak- en gezichtschirurgie met 3D-print**  
21 maart 2017 om 10:30 uur - HERSOONWAARBOCH (E)

**UPS investeert in 3D-printing**  
11 april 2017 om 10:30 uur - HERSOONWAARBOCH (E)

**3D-print verrast in metaalbedrijf**  
08 MERT 2017 14:17

**Verspreiden 3D-bestanden vuurwapens gaat rechter in VS te ver**  
11 april 2017 om 10:30 uur - HERSOONWAARBOCH (E)

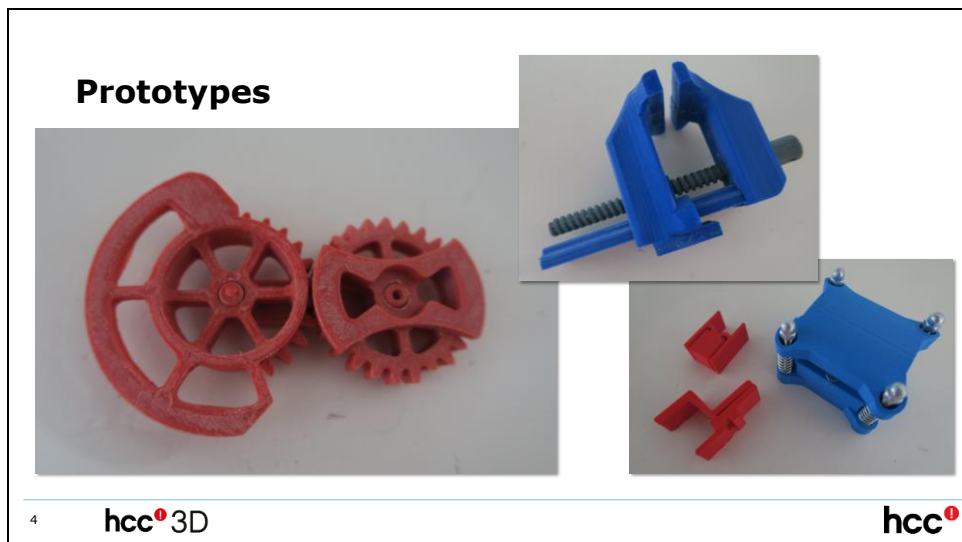
**DOEL: LICHTERE EN MEER BETAALBARE ONDERDELEN**  
FORD EXPERIMENTEERT MET 3D-PRINTER

**3D-printer bouwt huis in 24 uur**  
Het is een start-up uit San Francisco gelukt in 24 uur een huis op te trekken. Het geheim: de mobiele 3D-printer die de wanden ter plekke maakt.

3 hcc 3D hcc

In de media is er voortdurend aandacht voor alles wat met 3D te maken heeft. En dan natuurlijk zaken die enorm tot de verbeelding spreken. Zoals de rol van 3D in het wielrennen, het bouwen van een compleet huis, medische toepassingen, metalen voorwerpen printen en onlangs nog het verbod op het publiceren van 3D-ontwerpen om een vuurwapen met een 3D-printer te maken. Het gaat hier bijna altijd om professionele toepassingen, niet iets wat je met een hobby 3D-printer kan maken. En het is vaak nog in experimentele fase. Maar het geeft wel aan dat 3D-printtechnieken steeds meer toegepast gaan worden en dat je er hoe dan ook als consument mee te maken krijgt. De ontwikkelingen gaan erg hard. En dan is het goed om er toch iets van te weten.

Wat kun je allemaal met een 3D-printer maken? Je ziet op de afbeelding hierboven dat er in de media aandacht is voor veel professionele producten. Met een 3D-printer kun je je eigen ontwerpen maken en uitproberen alvorens een definitief ontwerp te maken, dat ook eventueel van metaal of hout kan zijn. Dat doen ze in de professionele sfeer al met onderdelen van motoren en vliegtuigen. Dat heet in het Engels Rapid Prototyping. Maar prototypes maken kan ook met een hobby 3D-printer. Je kunt een prototype printen, uitproberen, het ontwerp aanpassen, opnieuw printen en uitproberen, net zo lang totdat je er tevreden over bent.



Is er voor een bestaand probleem geen bestaande oplossing? Dan maak je gewoon je eigen oplossing. Op de voorbeelden hieronder zie je hoe mensen op een inventieve wijze zelf voorwerpen hebben geprint om hun probleem op te lossen.



Is een onderdeel van een apparaat kapot gegaan en kun je niet of niet gemakkelijk meer aan reserve-onderdelen komen? Dan print je toch gewoon zelf het onderdeel dat kapot is gegaan. In veel gevallen is het ook nog goedkoper en heb je het wellicht ook sneller in huis.



Heet je Jan of Laura, dan vind je nog wel eens een leuke sleutelhanger of pennenbakje. Zit jouw naam er echter niet tussen, dan maak je met een 3D-printer een leuke sleutelhanger met je eigen naam. Of andere voorwerpen of logo's met je eigen naam of die van je club er op.



Heb je een 3D-scan kunnen maken van jezelf en wil je een eigen standbeeld? Print hem dan zelf uit op een 3D-printer.



## 2. Ontstaan en geschiedenis van de 3D-printer

Ongeveer 5 jaar geleden introduceerde Ultimaker een 3D-printer en door het een 3D-printer te noemen, werd het opeens wereldnieuws. Maar die techniek bestond al in de jaren 90! Alleen heette dat destijds niet een 3D-printer, maar een FDM-printer. De 3D-techniek zelf is nog ouder en was bekend als Stereolithography CAD van 3D-Systems. Voortbordurend op die oude techniek worden 3D-modellen in zogeheten STL-bestanden opgeslagen. Alhoewel, ook wordt beweerd dat de afkorting STL komt van 'Standard Triangle Language' and 'Standard Tessellation Language'. (Een vlak met verschillende geometrische vlakken wordt een Tessellation genoemd.) Ach, het maakt niet zoveel uit waar het vandaan komt.

De term FDM is al gevallen. FDM-techniek betekent dat er een voorwerp wordt vervaardigd of gemodelleerd (*modelling*) door laagjes materiaal op elkaar te plaatsen, te deponeren (*deposition*) en die te laten samensmelten (*fused*). Er zijn nog veel meer 3D-technieken, zoals technieken waarbij het 3D-model in een bed met poeder wordt gevormd, technieken waarbij een laserstraal het materiaal kan smelten tot de gewenste vorm, en technieken waarbij d.m.v. een laser het 3D-model in een bak met vloeistof wordt gemaakt. Maar deze technieken komen bij de goedkopere hobby 3D-printers niet voor. Althans nu niet, want de ontwikkelingen gaan erg hard. Er zijn overigens nog veel meer geavanceerde 3D-printers, die zelfs 3D-modellen van metalen maken.

Al jaren bestaan er computergestuurde machines (CNC-machines) waarbij assen d.m.v. stappenmotoren in X-, Y-, en Z-richtingen worden bewogen waardoor beitels en frezen hun verspanende bewerkingen op een werkstuk van (meestal) metaal uitvoeren. De computer stuurt de stappenmotoren en dus ook de assen van de CNC-machines aan d.m.v. zogeheten G-codes. Bij de ontwikkeling van 3D-printers is men die G-codes ook gaan gebruiken als besturingscommando's bij 3D-printers, omdat de assen daarvan ook d.m.v. stappenmotoren worden bewogen. STL-bestanden, G-codes, oude technologie die opnieuw is gebruikt voor de nieuwe technologie van 3D-printers.

## Van professioneel naar hobby

### Professioneel



### Hobby



Duplicator i3 mini

Prusa

Delta

11

hcc<sup>o</sup> 3D

hcc<sup>o</sup>

Er bestaan inmiddels gigantisch veel 3D-printers, zowel professionele als voor de hobby thuis. Bij professionele printers gaat het al gauw om bedragen van 50.000 tot 500.000 euro's. Hobby 3D-printers zijn gelukkig een stuk goedkoper. Ze zijn er al vanaf ca. 200 euro, zoals de Duplicator i3 mini van Wanhao die je als HCC-lid voordelig kunt aanschaffen voor zo'n 170 euro inclusief extra filament.

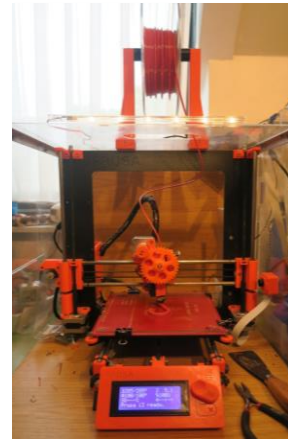
Er zijn grofweg 2 typen hobbyprinters: Delta en Cartesian, of XYZ-, printers, zoals de Duplicator i3 mini en de Prusa. Delta-printers kunnen hogere objecten printen dan Cartesian-printers, Cartesian-printers zijn weer gemakkelijker zelf te bouwen dan Delta-printers. Alhoewel, momenteel zet je in een half uur al een Delta printer van 350 euro in elkaar. De prijzen zakken, de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid neemt toe.

Zelf een 3D-printer gaan bouwen? Maak het jezelf gemakkelijk en koop de WanHao Duplicator i3 mini.

## Hobby 3D-printers

Doorbraak door het RepRap initiatief in 2004:

- 1 Concept van zelfreproductie
- 1 Open Source ontwikkelingen hardware en software
- 1 2009: eerste commerciële model
- 1 RepRap modellen werden de basis voor huidige FDM-consumentenprinters
- 1 2012: Prusa komt met verbeterde RepRap-versie



12

hcc<sup>o</sup> 3D

hcc<sup>o</sup>

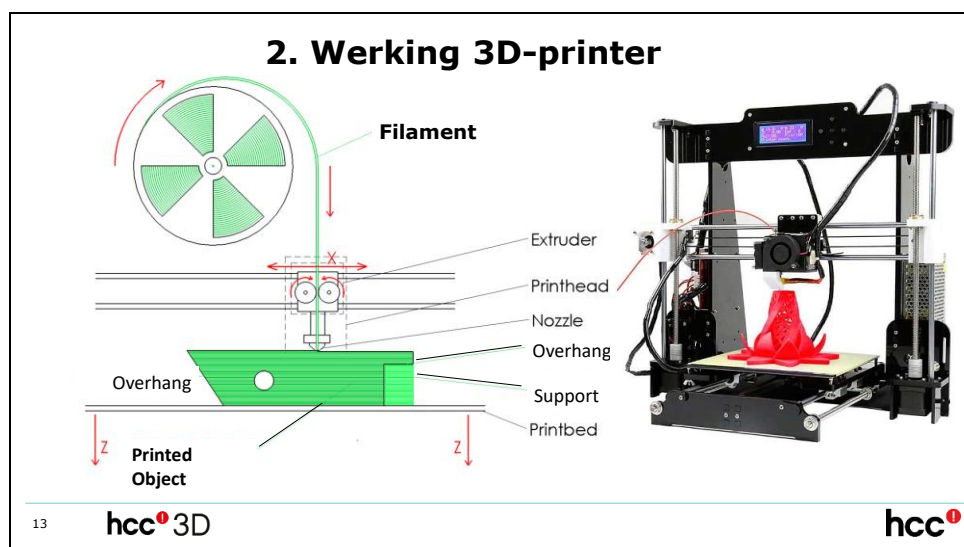
Veel van de goedkopere 3D-printers vinden hun oorsprong in het RepRap-project van de University of Bath in het Verenigd Koninkrijk. De aansturing van RepRap-printers gebeurt met elektronica gebaseerd op het Open Source Arduino-platform en het fysieke ontwerp van de printers zelf is gratis beschikbaar. De gedachte achter het project is dat de printers uiteindelijk in staat moeten zijn om volledig zelf-replicerend te zijn: met 3D-printers bouw je weer nieuwe 3D-printers. De oranje onderdelen van de 3D-printer op de foto zijn geprint (behalve het oranje printbed). Op een andere 3D-printer uiteraard, niet op de printer van de foto. Inmiddels kunnen ze al een groot deel van hun onderdelen zelf printen, maar een gedeelte moet nog via traditionele methoden vervaardigd worden. Het RepRap-project heeft inmiddels meerdere 3D-printers opgeleverd en er zijn tal van printers op de markt gekomen die, afgeleid zijn van RepRap, maar verder los van het originele project zijn ontwikkeld en uitgebracht.

Prusa heeft jaren geleden de RepRap-printer doorontwikkeld en veel van de huidige Cartesian-printers zijn daar weer van afgeleid. Het Nederlandse bedrijf Ultimaker is op een bepaald moment met een commerciële printer gekomen en een Nederlander heeft destijds voor een belangrijk deel ook de Open Source firmware (Marlin) voor 3D-printers geschreven. Die firmware wordt nu ook nog gebruikt en uiteraard verbeterd. Met de hobby 3D-printers kun je bijna altijd alleen maar plastic modellen maken. Er wordt ook geëxperimenteerd met chocolade en keramiek, maar dat is veel lastiger dan met plastic printen.

Tot zover iets over het ontstaan en de geschiedenis van de 3D-printer (voor hobbydoeleinden).

### 3. Werking van de 3D-printer

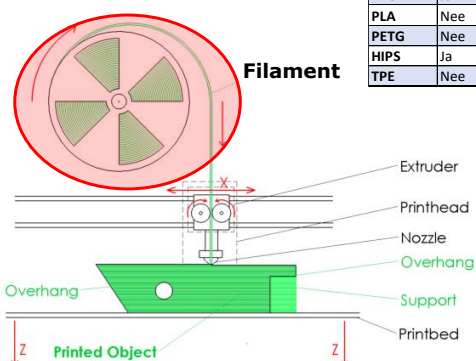
De meeste printers zijn kubusvormig, waarbij de printkop zich bovenin het apparaat bevindt. Door middel van geleidingsstangen of assen kan de printkop heen en weer bewegen in de X en Y-richting, naar voren, achteren en opzij dus. Het printmateriaal, dat meestal als rol aan de buitenkant van de printer hangt, wordt van boven in de printkop gebracht, waarna het recht naar beneden wordt geprint. Het printbed, het plateau waarop het materiaal geprint wordt, is op verticale geleidingsstangen of assen gemonteerd en kan in de Z-richting bewegen, ofwel omhoog en omlaag. Er zijn echter ook 3D-printers waarbij het printbed vast onderin het apparaat is gemonteerd en van voor naar achteren heen en weer beweegt, terwijl de printkop bewegingen opzij maakt en na elke laag omhoog beweegt. Omdat de 3D-modellen in de printers worden gevormd, bepalen de afmetingen van de printer dus ook de maximale afmetingen van de geprinte modellen.



We gaan in de volgende pagina's wat specifieker op de verschillende onderdelen van de 3D-printer in. En op de (Engelstalige) begrippen die je op deze dia ziet staan. Daarbij gaan we uit van de Cartesian-printer, of XYZ-printer en wel de Prusa-uitvoering omdat die het meest wordt toegepast en omdat de werking ervan wat duidelijker is dan van een Delta-printer.

## Filament

Materiaal	verwarmd bed	temperatuur	eigenschappen
ABS	Ja	220°C - 260°C	sterk, hittebestendig
PLA	Nee	180°C - 230°C	scherpe details, glans, hoge printsnelheden
PETG	Nee	230°C - 250°C	zeer sterk, hoge printsnelheden
HIPS	Ja	220°C - 260°C	licht en sterk, oplosbaar
TPE	Nee	210°C - 235°C	zeer flexibel, slijtvast



**Diameters:**

- 3 mm (2,85 mm)
- 1,75 mm

**Prijs:**

- vanaf 20 €/kg

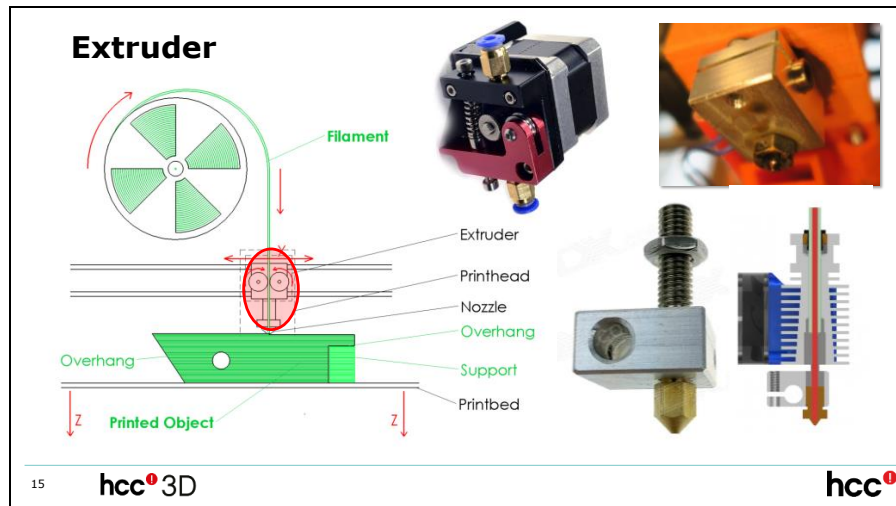
14 hcc<sup>o</sup> 3D
hcc<sup>o</sup>

We beginnen met het materiaal waarvan we het 3D-model gaan maken. De plastic draad op de rol heet filament. Er zijn verschillende soorten plastic te gebruiken. De meeste 3D-printers die momenteel te koop zijn, maken gebruik van PLA (Poly Lactic Acid) of PETG (polyethyleen tereftalaat gemodificeerd met glycol) filament, of kunnen met beide overweg. Het materiaal wordt als een ‘draad’ met een diameter van 1,75 mm of 3 mm (in de praktijk: 2,85 mm) aangeleverd op rollen die meestal 1 kg wegen. PLA en PETG smelt bij 180-230 graden. De leverancier geeft altijd op bij welke temperaturen het filament te gebruiken is. Niet alleen kunnen er per leverancier verschillen zijn, ook kunnen kleurtoevoegingen invloed hebben op de smelttemperatuur. PETG lijkt op het plastic van de limonadeflessen. PETG is iets harder dan PLA. Door de opkomst van 3D-printers met meerdere extruders/nozzles kan er ook in water oplosbare plastic PVA (polyvinyl alcohol) worden gebruikt. Waarom dat handig kan zijn, lees je verderop. PVA is een hulpmateriaal, je gebruikt het niet om er een 3D-model van te maken en ontbreekt daarom in de tabel op de dia.

Tegenwoordig wordt steeds vaker filament van 1,75 mm gebruikt i.p.v. 3 mm (of 2.85 mm). De reden is dat met 1.75 mm filament er wat preciezer kan worden geprint en het kost de extruder minder kracht om het dunnere filament door te voeren. Filament is in heel veel kleuren verkrijgbaar, zelfs in fluorescerende kleuren (glow-in-the-dark heet het dan). PETG is ook in transparante kleuren verkrijgbaar waarmee fraaie effecten kunnen worden bereikt.

Enkele eigenschappen van filament voor de FDM-printer:  
 PLA: reukloos, goedkoop, milieuvriendelijk, veelzijdig, niet weerbestendig.

ABS: stevig, stinkt bij verwerking, op olie gebaseerd, lego steentjes.  
 PETG: stevig, veerkrachtig, (bijna) niet stuk te krijgen, frisdrankflessen.  
 Flexibel: zacht, voelt aan als rubber.  
 PVA: in water oplosbaar.  
 HiPS: high impact polystyreen  
 TPE: Thermoplastisch elomeer

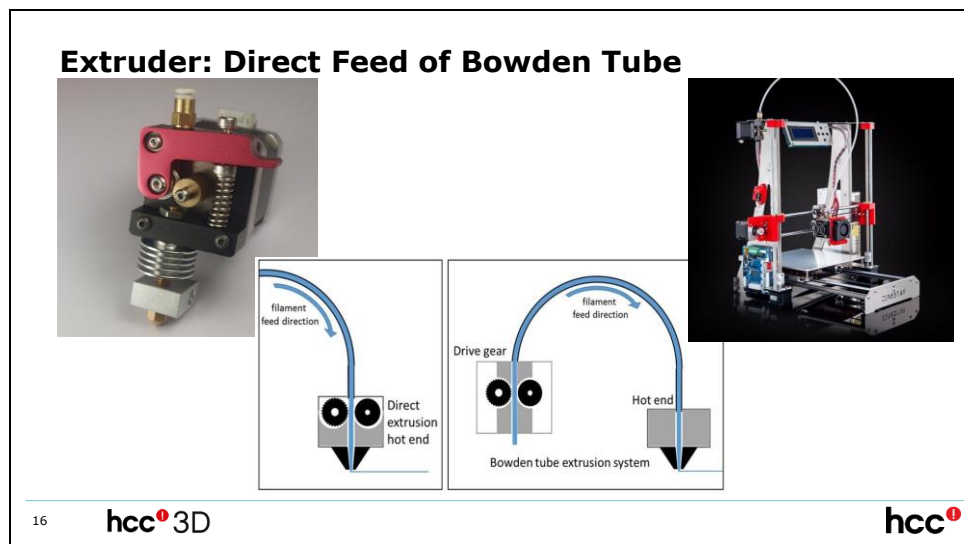


Het filament wordt door een gekarteld wiel in de extruder van de rol getrokken en onder druk naar de nozzle geduwd. De extruder wordt aangestuurd door een stappenmotor en de snelheid waarmee de stappenmotor draait, bepaalt de hoeveelheid filament die naar de nozzle wordt geduwd. Het filament komt in de nozzle terecht en wordt daar verwarmd tot die temperatuur waarbij het filament goed smelt. De leverancier geeft de gewenste temperatuur op, meestal zo rond de 200 graden, en die temperatuur moet in het computerprogramma dat de 3D-printer aanstuurt, worden ingesteld. Het is belangrijk dat de overgang van koud filament naar gesmolten filament zo kort mogelijk is. Koud filament kan de extruder goed transporteren naar de nozzle, warm filament is stroperig en laat zich slecht transporteren. Idealiter is het filament koud tot het moment dat het onderin de nozzle zit, voor de uitstroomopening. Dat stelt eisen aan de nozzle en de koeling van het bovenste gedeelte, het deel boven het verwarmingselement. Op het blokje met het verwarmingselement zit een temperatuursensor die de temperatuur van de nozzle doorgeeft aan de Arduino-besturing van de 3D-printer. Die besturing zorgt ervoor dat de temperatuur zo min mogelijk schommelt. Want een gelijkmatige temperatuur is belangrijk voor een constante doorstroming van het filament. Omdat de nozzle erg heet kan worden, en ook het filament dat er uit komt, moet je oppassen voor brandwonden! Doorstroomopeningen van nozzles zijn over het algemeen 0,3 – 0,5 mm groot.

We kennen 2 soorten extruders:

Bowden Tube:

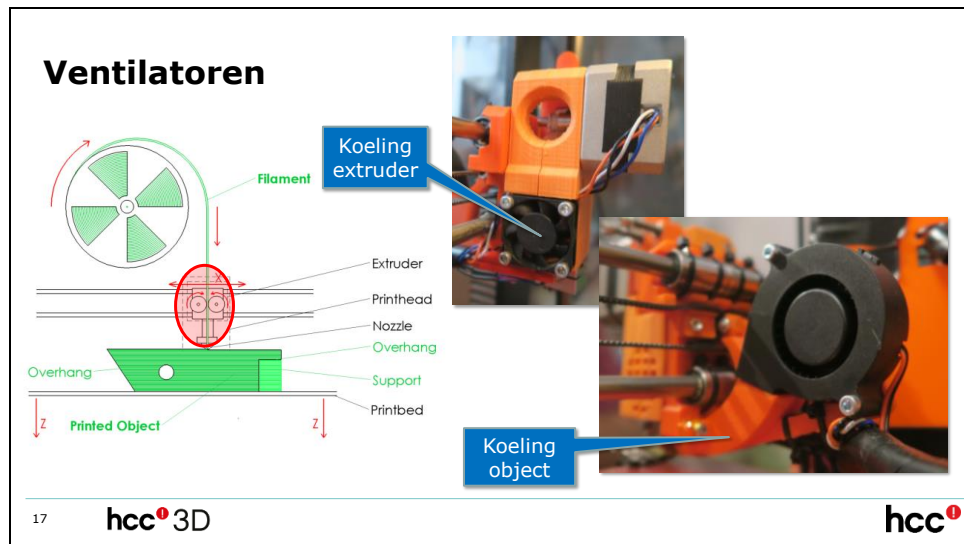
De stappenmotor van een extruder is best wel zwaar (al snel zo'n 350 gram) en daarom wordt de extruder ook vaak op het frame van de 3D-printer gemonteerd en alleen de nozzle (ook wel hot end genoemd) op een bewegende as. Extruder en nozzle zitten dan niet aan elkaar vast, het filament wordt d.m.v. een zogeheten Bowden Tube van de extruder naar de nozzle geleid. Voordeel is hiervan dat de as die de nozzle laat bewegen mechanisch minder wordt belast, en daardoor sneller en met minder kracht kan bewegen. De nozzle zal daardoor minder doorschieten als die moet stoppen en sneller in beweging komen wat de kwaliteit ten goede komt. De Bowden Tube is meestal een Teflon-slang die van de extruder naar de nozzle loopt. De binnendiameter is net iets groter dan de dikte van het filament.



Direct Feed / Direct Drive:

Maar er zijn ook 3D-printers waarbij het printbed in beide richtingen wordt bewogen zodat de extruder en de nozzle niet heen en weer hoeven te bewegen. Dan speelt het gewicht van de extruder niet meer zo'n rol en kunnen extruder en nozzle één geheel zijn. Zit de extruder direct aan de nozzle vast, dan spreken we van een Direct Feed of Direct Drive extruder. Voordeel hiervan is dat de terugtrekking van het filament sneller en preciezer is en minder zal blijven doorlekken dan bij een Bowden Tube. Essentieel als je met flexibel (rubberachtig) filament wil printen.

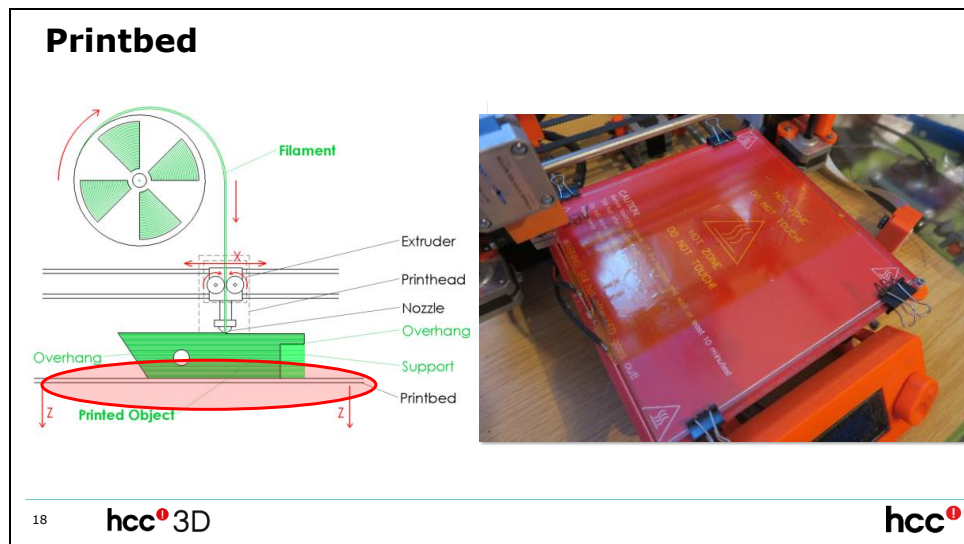
De schakelende voeding van de 3D-printer, en de elektronica hebben meestal ventilatoren om de elektronica te koelen. Dat is niks bijzonders, dan gebeurt ook bij computers en meer elektronische apparaten. Maar bij de 3D-printer moet er nog meer worden gekoeld.



Al eerder werd de koeling van het deel van de nozzle dat vlak boven het verwarmingselement zit. Dat gebeurt meestal met een koelblok en een ventilator die draait als het verwarmingselement aan is, dan wel de temperatuur van de nozzle nog hoog is. Bij veel 3D-printers gaat die ventilator al draaien bij het aanzetten van de printer en blijft die constant draaien, ook als de nozzle koud is. Beide is mogelijk, het één is niet beter voor de printkwaliteit dan het andere. De ventilatorsnelheid wordt niet door de elektronica geregeld; de ventilator is of aan of uit. Niet altijd, maar wel vaak zie je bij de nozzle nóg een ventilator zitten, eentje die het geprinte model koelt. Ook wel objectkoeling genoemd.

Met name bij kleine modellen, waarbij het flinterdunne draadje uit de nozzle niet snel genoeg afkoelt en daardoor nog niet hard genoeg is om de volgende laag te kunnen dragen, geeft geforceerde luchtkoeling met een ventilator een betere printkwaliteit. De hoeveelheid lucht die de ventilator levert, wordt bij deze koeling wel geregeld door de elektronica. Dat gebeurt door de ventilatorsnelheid te regelen, niet door de spanning naar de ventilator te regelen maar door pulsbreedtemodulatie. Zo ongeveer als bij een lichtdimmer. We melden het hier even, omdat de ventilator voor objectkoeling vaak later door de gebruiker zelf moet worden geplaatst. Je kunt die ventilator niet aansluiten op dezelfde connector als waarop de ventilator voor de koeling van de extruder zit. De ventilator zal wel draaien, maar waarschijnlijk op de verkeerde momenten en met de verkeerde snelheid.

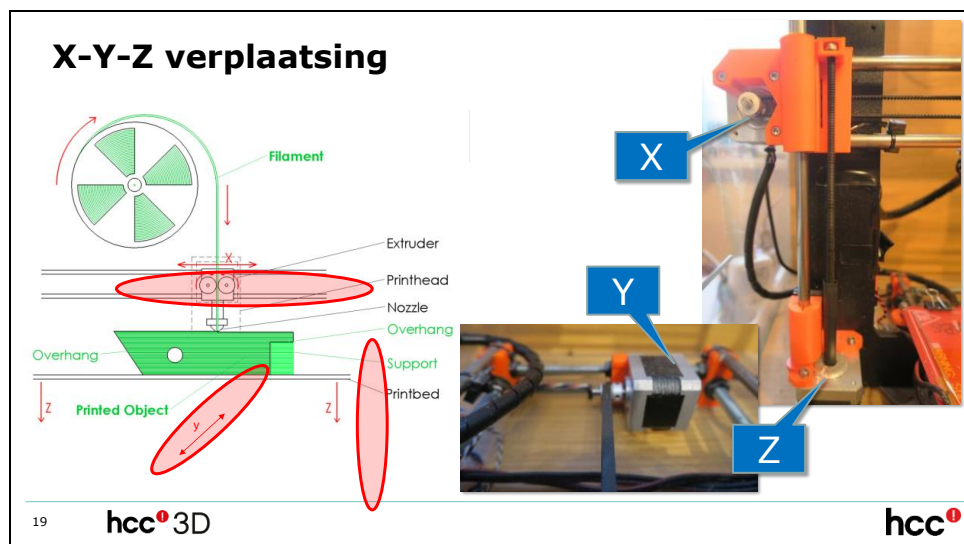
Een 3D-printer kan het flinterdunne draadje filament uit de nozzle niet in de lucht de juiste vorm van het te printen 3D-model geven. Het filament wordt daarom op een zogeheten printbed gelegd. Het model wordt vanaf het printbed naar boven toe opgebouwd. De afmetingen van het printbed geven de maximale afmeting van het te printen model aan.



Bij veel 3D-printers maakt het printbed snelle bewegingen in één richting (Y-as) of in twee richtingen (X-, en Y-as). Om te zorgen dat het te printen model op dezelfde plek op het printbed blijft liggen, is het printbed vaak voorzien van verwarming, die instelbaar is tot wel 90 graden en soms nog hoger. Voor PLA en PETG is 40-60 graden meestal al voldoende. Hierdoor blijft de onderste laag van het te printen model als het ware plakken op het printbed.

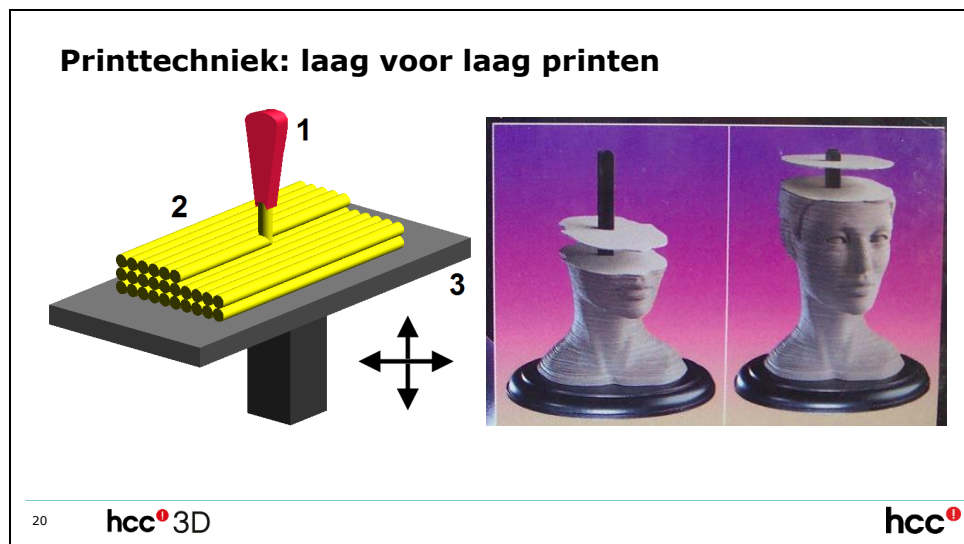
Een verwarmd printbed is geen must maar wel handig als je een 3D-printer aanschaft. Een verwarmd printbed is, net als de nozzle, voorzien een temperatuursensor en de Arduino-elektronica zorgt ervoor dat het printbed de gewenste temperatuur behoudt. Maar ook zonder verwarmd printbed zijn er genoeg mogelijkheden om te zorgen dat je 3D-model tijdens het printen goed blijft plakken.

Behalve de stappenmotor voor de extruder zijn er nog tenminste 3 stappenmotoren op een 3D-printer, namelijk voor de X-, Y-, en Z-as. Bij de X- en Y-as zorgen rubberen snaren voor de beweging van de assen, de Z-as wordt meestal met een spindel (draadeinde) bewogen. De X- en Y-assen moeten over een grote afstand snel heen en weer kunnen bewegen, de Z-as beweegt zich bij het printen meestal maar in 1 richting en over een kleine afstand, namelijk die van de ingestelde laagdikte (0,1 – 0,4 mm). Tenminste 3 stappenmotoren, het printbed kan ook door 2 stappenmotoren op en neer worden bewogen. Deze twee stappenmotoren zijn op dezelfde driver aangesloten en draaien tegelijkertijd



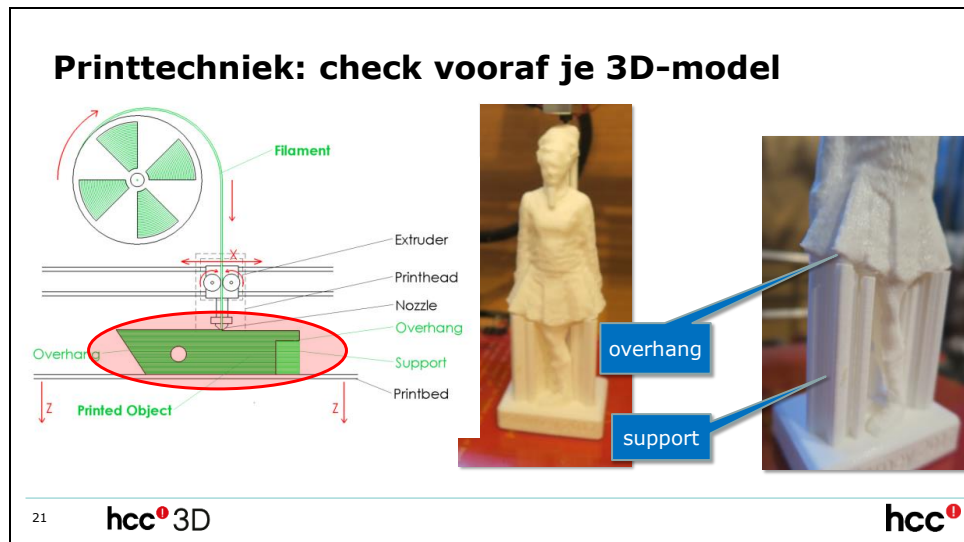
Om de 3D-printer te kunnen laten werken, is al die elektronica (stappenmotoren, verwarmingselementen, eindschakelaars, temperatuursensoren) aangesloten op een Arduino elektronicabordje, voorzien van Open Source 3D-printerfirmware. Open Source en Arduino betekent dat je aanpassingen of aanvullingen, zoals een extra extruder, een bepaald type display en meer, zelf kunt realiseren, omdat je de firmware zelf kunt aanpassen. Eerlijkheidshalve moeten we wel zeggen dat enige kennis van 3D-printers en de programmeer taal die de Arduino kent, en dat is C, belangrijk is.

We hebben al verteld dat het 3D-model laag voor laag is opgebouwd. Op de afbeelding hieronder kun je zien hoe dat in zijn werk gaat. Uit de nozzle (1) komt een flinterdun gesmolten plastic draadje dat door de stappenmotoren van de beide horizontale assen op de juiste plek op het printbed (3) wordt gelegd. Als de eerste laag, vaak maar 0,2 of 0,3 mm dik, is gelegd, dan gaat de nozzle een klein beetje omhoog, 0,2 of 0,3 mm afhankelijk wat je in het printprogramma als laagdikte hebt ingesteld, en wordt de volgende laag gelegd (2). De eerste laag komt dus op het printbed, de tweede laag wordt op de eerste laag gelegd, enzovoort. En het filament van laag 2 smelt samen met die van laag 1, want het filament dat uit de nozzle komt is ongeveer 200 graden. En zo gaat dat door, tot het hele 3D-model is opgebouwd. Het linkerplaatje op de afbeelding toont het werkingsprincipe en het rechterplaatje op de afbeelding laat heel mooi de opbouw van het model zien



Kun je 3D-modellen altijd maar gewoon printen? Nee, het 3D-model op het rechterplaatje kan niet zonder een printtrucje zijn geprint. De indruk wordt gewekt dat het hoofd en met name de kin in de lucht zijn geprint en dat kan niet zondermeer. Je moet dus nadenken over de printtechniek van je 3D-model.

Het filament dat uit de nozzle komt, kan zoals eerder gemeld niet in de lucht worden geprint. Dat lijkt logisch, maar toch wordt dat nog vaak vergeten. Het filament moet landen op het printbed of op de voorgaande laag. Dat kan problemen geven zoals bij het hoofd op de vorige afbeelding of zoals bij dit beeldje:



De onderkant van de jurk hangt boven het printbed in de lucht (in het Engels: 'overhang') en moet dus worden ondersteund (in het Engels: 'support'). Op de plaatjes zijn dan die verticale kolommen aan de linker- en de rechterkant van het model. De printer gaat niet uit zichzelf ondersteuning aanmaken, je moet dat in het printprogramma aangeven (daarover later meer). Die ondersteuning ('support') moet je na het printen weer van het beeldje afbreken. Meestal gaat dat vrij gemakkelijk, maar je moet de sporen van die ondersteuning nog wel wegwerken. Je kunt voor de ondersteuning gebruikmaken van hetzelfde filament als het beeldje, maar bij 3D-printers met twee of meer extruders kun je ook kiezen voor in water oplosbaar filament: PVA. Het 'gewone' filament is niet in water oplosbaar. Kies je voor ondersteuning van PVA, dan kun je de ondersteuning in water oplossen wat tot een mooier resultaat leidt. PVA filament is (momenteel) wel een stuk duurder dan gewoon filament.

Ook met alle printrucjes die er bestaan, lukt het soms niet om een model in één keer te printen. En dan moet je het 3D-model in 2 of meer delen printen en die later aan elkaar zetten (bijv. lijmen). Je moet dus vooraf goed nadenken hoe je je model wil maken. Het is eigenlijk niet anders dan bij andere fabricagetechnieken, zoals het zagen van een stuk hout. Ook dan moet je vooraf bedenken wat de mooie kant is vanwege de zaagsnede.

## 4. 3D-model creëren

We weten nu wat van het ontstaan van 3D-printers, we weten hoe die werkt en we weten wat we ermee allemaal kunnen printen. Maar wat moeten we doen om te kunnen printen? Dat willen we in 5 stappen gaan uitleggen als we gaan van een virtueel 3D-model op de computer naar een tastbaar 3D-model op de 3D-printer. Allereerst moeten we wat te printen hebben: een 3D-model. Daar kun je op grofweg 4 manieren aankomen die we één voor één belichten.

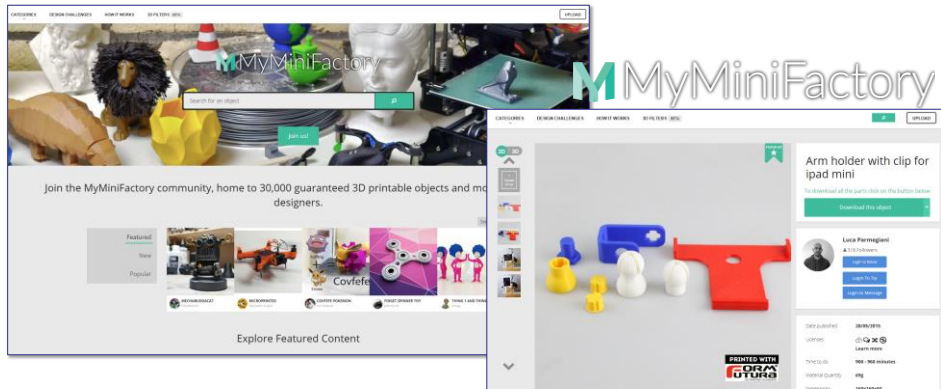
### 4.1 3D-model kant-en-klaar te downloaden.



Het gemakkelijkste is natuurlijk om een 3D-model kant-en-klaar te downloaden. In veel gevallen kan dat ook prima, want op internet staan inmiddels wel miljoenen 3D-modellen. Heel vaak heeft iemand al ergens een 3D-model voor gemaakt en kun je die ook nog gratis downloaden. Belangrijk om een 3D-model te kunnen printen, is dat het 3D-model een zogeheten STL-bestand is. Want dat kunnen slicerprogramma's omzetten naar G-codes, de besturingscommando's voor de 3D-printer.

Wat je van websites als Thingiverse downloadt, zijn dus ook meestal STL-bestanden die via de slicer (wat dat is, laten we straks zien) de printcommando's voor de printer maken. Soms kun je ook de bij het model behorende G-codes laden. Wees daar heel voorzichtig mee, want de G-codes zijn meestal bedoeld voor een bepaalde 3D-printer; veel eigenschappen en instellingen van de 3D-printer en het filament zitten in die G-code verwerkt. Thingiverse is een heel bekende website, je hoeft je niet aan te melden, een account aan te maken, het downloaden gaat heel eenvoudig. De voertaal is Engels!

## Modellen op het web: MyMiniFactory



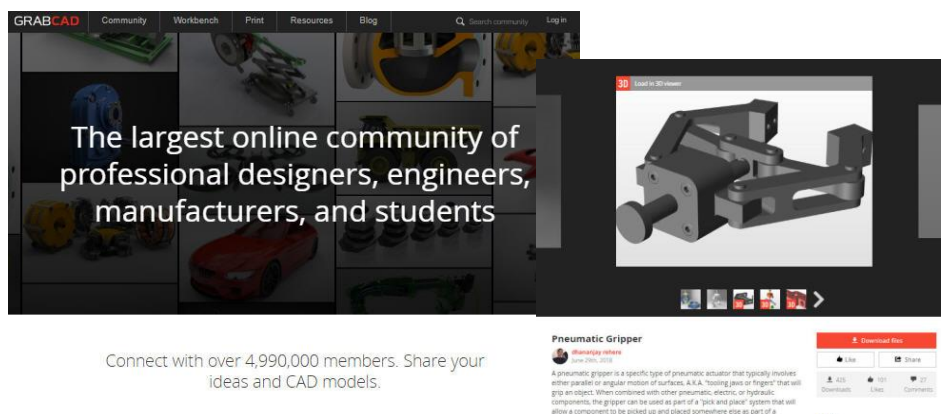
25

hcc<sup>1</sup> 3D

hcc<sup>1</sup>

Voor deze website geldt eigenlijk hetzelfde als voor Thingiverse.

## Modellen op het web: GrabCAD



26

hcc<sup>1</sup> 3D

hcc<sup>1</sup>

Op GrabCAD vind je vooral technische 3D-ontwerpen. Behalve dat je STL-bestanden kunt downloaden, kun je soms ook de originele ontwerptekeningen downloaden. Voordeel daarvan is dat je het ontwerp nog wat kunt aanpassen in een 3D-CAD-programma. Voertaal is ook hier Engels.

En er zijn nog veel meer van dit soort websites waar je kant-en-klare 3D-modellen kunt downloaden.

## 4.2 Bestaand voorwerp scannen



Je kunt natuurlijk ook een bestaand voorwerp scannen om er een 3D-model van te maken. Vooral als het lastig is om het 3D-model met een CAD-programma te maken, kan scannen een goede oplossing bieden. Dat kan handig zijn bij voorwerpen met een complexe vorm, of bij mensen. Met name het scannen van mensen is handig om er een 3D-model van te maken.

Bij HCC!3D gebruiken we de Kinect van de Xbox (is al jaren op de markt, is voor ca. 30 euro te koop en biedt een redelijke resolutie) en de nieuwste 3D-scanner van Intel, de D415, die een veel hogere resolutie heeft en ca. 150 euro kost. De Kinect is te gebruiken bij een paar commerciële scansoftwarepakketten (Skanect en RecFusion) en bij een paar gratis scanprogramma's. De Intel D415 is pas begin 2018 op de markt gekomen en er is momenteel nog maar 1 betaald scanprogramma die er mee overweg kan (RecFusion).

RepRap levert een, uiteraard Open Source en dus gratis, softwarepakket. Werkt echter alleen met de eigen Ciclop scanner (zelfbouw). Deze werkt met een Logitech-webcam en twee lasers die telkens als je gaat scannen, vrij precies moeten worden gekalibreerd. Bij HCC!3D gebruiken we daarom liever een kant-en-klare 3D-scanner.

## Hoe werkt zo'n 3D-scanner eigenlijk?

De 3D-scanner heeft een infrarood-LED (IR-LED) en die stuurt infrarode pulsen uit. Twee dieptecamera's die alleen het IR-licht van de LED kunnen ontvangen, slaan voortdurend informatie over de afstand van de scanner tot het te scannen voorwerp op (max. 30 beelden/seconde). Een derde camera is een gewone fotocamera die het gescande 3D-model ook van kleur kan voorzien. De 3D-scanner maakt eigenlijk voortdurend foto's. De Kinect maakt er max. 30 per seconde en de Intel D415 kan tot 60 beelden per seconde opslaan. Een 3D-scanner maakt soms wel honderdduizenden foto's tijdens één scan en als het scannen is afgerond, dan gaat de scansoftware alle foto's aan elkaar 'plakken' en er een 3D-model van maken. Je moet je wel realiseren dat scanprogramma's hoge eisen stellen aan de snelheid van de computer en met name de grafische kaart.

Het maken van een volledige bodyscan duurt ongeveer 5 tot 10 minuten. Al die tijd moet de persoon in kwestie zo stil mogelijk blijven staan (of zitten). Dat is niet altijd gemakkelijk en leidt dan ook nog wel eens tot wazige beelden, vooral van het gezicht. Want daar zijn de geringste afwijkingen al snel zichtbaar. Als je de scanner iets te snel beweegt, dan raakt het scanprogramma de kluts (de tracking beter gezegd) kwijt, omdat de opeenvolgende foto's teveel van elkaar afwijken en dan moet je bijna altijd weer opnieuw beginnen. Je kunt zoals in het plaatje links te zien is wel een persoon stil laten staan en de scanner om hem heen bewegen, maar wij kregen daar geen goed resultaat mee, ook niet met de scanner van de foto. En dat lag niet aan de computer of de grafische kaart, die was snel genoeg. Daarom stellen wij de scanner vast op en laten we de persoon in kwestie op een draaischijf (langzaam) ronddraaien. Gelukkig vinden ook hier voortdurend ontwikkelingen plaats om het scannen te vergemakkelijken en de kwaliteit van de scan te verbeteren.

Voor de professionele markt bestaan er (dure) scanstudio's, niet echt iets voor hobbydoelers dus. Maar wel handig als je een hoge kwaliteit 3D-scan van iets of iemand wil hebben.

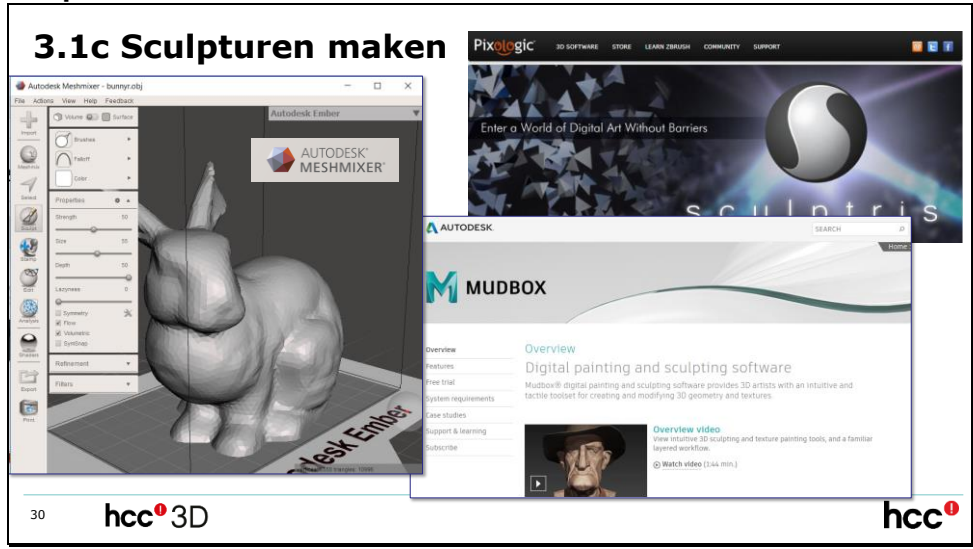
Een 3D-scanner maakt een 3D-model. Maar dat 3D-model is nog niet geschikt om via een slicerprogramma naar de 3D-printer te sturen. Het 3D-model is als het ware van gaas gemaakt en dus open aan alle kanten. In het Engels heet het dan ook een Mesh.





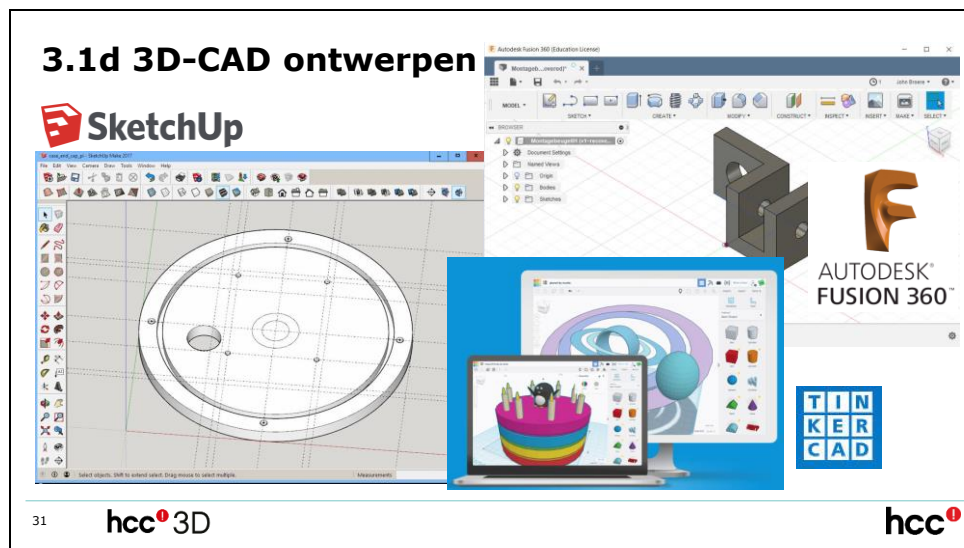
Er zijn overigens nog meer van dit soort programma's als Meshmixer, de voertaal is steeds Engels. Na het herstellen van de Mesh en het omzetten naar een Solid kan het 3D-model als een STL-bestand worden opgeslagen. En dat kunnen we weer bij het slicerprogramma gebruiken als we gaan printen.

### 4.3 Sculpturen maken



Je kunt ook je eigen 3D-model maken door op de computer te gaan 'beeldhouwen'. Je maakt dan een sculpture die ook weer als een STL-bestand moet worden opgeslagen. Je begint meestal met een bol en met allerlei gereedschappen kun je bepaalde delen indrukken of uittrekken en op die manier een 3D-model creëren. Ook hier zijn diverse, gratis programma's beschikbaar. We gaan hier niet verder in op deze programma's in, je kunt hierover al een hele presentatie houden. Ook hier weer veelal Engels als voertaal.

## 4.4 3D-CAD ontwerpen

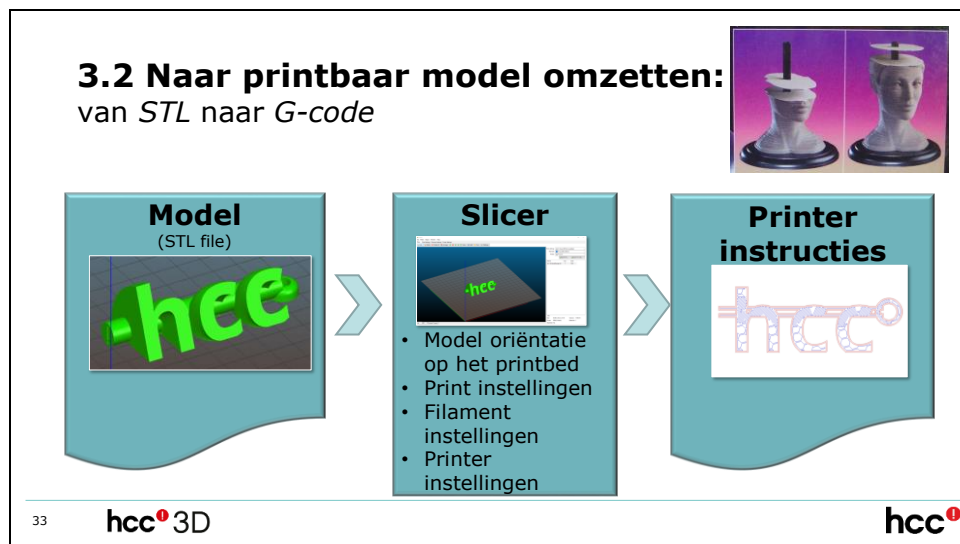


Wil je zelf een 3D-model ontwerpen, dan is een 3D-tekenprogramma / 3D-CAD-programma de aangewezen weg. Er zijn veel gratis versies, als SketchUp, Fusion 360, Blender, FreeCAD, OpenSCAD, OnShape, DesignSpark, enz. en betaalde versies als SolidWorks, Solid Edge. Maar er zijn er nog meer. Sommige 3D-CAD-programma's zijn heel eenvoudig zoals TinkerCAD, sommige zijn behoorlijk complex zoals Solid Edge. De meeste programma's zijn weer Engelstalig, maar SketchUp is er ook in het Nederlands. De 3D-CAD-programma's leggen je zelf ontworpen 3D-model in hun eigen format vast, maar maken het wel mogelijk om er een STL-bestand van te maken om je model ook te kunnen printen. Zit er verschil tussen al die 3D-CAD-programma's? Jazeker, afhankelijk van wat je wil tekenen, biedt het ene programma meer gebruikersgemak dan het andere. Ook voor deze programma's geldt dat het behandelen van deze programma's of de verschillen te ver voert voor deze presentatie. Bij HCC worden veel van deze CAD-programma's gebruikt en er is dus altijd wel een deskundige van een bepaald CAD-programma te vinden.

De eenvoudige 3D-CAD-ontwerpprogramma's stellen geen extreem hoge eisen aan de computer of grafische kaart. Dat wordt anders bij professionele CAD-programma's.

## 5. Naar printbaar formaat omzetten

We hebben nu een 3D-model en willen het gaan printen. Belangrijk is daarbij dat het 3D-model is opgeslagen als een STL-bestand, want een STL-bestand is de basis voor het programma dat de besturingscommando's voor de 3D-printer maakt. Hoe dat in zijn werk gaat, laten we zien in het hoofdstuk Naar printbaar formaat omzetten.



Het woord slicerprogramma is al een paar keer gevallen. Een slicerprogramma zorgt ervoor dat het 3D-model (opgeslagen als STL-bestand) wordt omgezet naar G-codes, de besturingscommando's die de 3D-printer herkent en aan het werk zet. De slicer snijdt het 3D-model in horizontale plakjes (in het Engels slices en vandaar de naam slicerprogramma), die laagje voor laagje door de printer op elkaar samensmelten. Dat hebben we op een eerdere afbeelding gezien. Deze plakjes (slices) bevatten de G-codes die nodig zijn om elk plakje te kunnen printen. Al die plakjes op elkaar vormen het 3D-model.

Wat zijn G-codes?

Een G-code is een instructie voor een machine, vergelijkbaar met instructies in een programmeertaal. De code heeft een opbouw met de letter G, gevolgd door een nummer, bijvoorbeeld G26. Er worden ook M-codes gebruikt, voor machinehulpcodes. Er zijn ca. 100 G-codes, maar de meest gebruikte is G0 en G1. Deze 2 G-codes zorgen voor verplaatsingen van de X-, Y-, en Z-assen. En verder zijn er een paar honderd M-codes. M-codes die je veel tegenkomt zijn bijv. M104/M109 voor de extrudertemperatuur en M140/M190 voor de temperatuur van het printbed. Gelukkig hoeft je geen G-codes (en M-codes) te maken, daar zorgt het slicerprogramma voor.

## Verschil STL en G-code

```

Solid Defacet
facet normal -7.674352e-17 4.092988e-16 -1.000000e+00
  outer loop
    vertex -6.188052e+01 1.340267e+01 0.000000e+00
    vertex 5.535887e+01 -1.774595e+01 2.775558e-15
    vertex -5.089209e+01 -3.972281e+01 0.000000e+00
  endloop
endfacet
facet normal -7.674352e-17 4.092988e-16 -1.000000e+00
  outer loop
    vertex 5.35887e+01 -1.774595e+01 2.775558e-15
    vertex -6.188052e+01 1.340267e+01 0.000000e+00
    vertex 4.437044e+01 3.537954e+01 2.775558e-15
  endloop
endfacet
facet normal -7.674352e-17 4.092988e-16 -1.000000e+00
  outer loop
    vertex -3.383593e+01 2.161183e+00 3.390625e-01
    vertex -3.497938e+01 -3.587820e+00 3.390625e-01
    vertex -3.607280e+01 1.698512e+00 3.390625e-01
  endloop
endfacet

;LAYER: 1
M106 S25
G0 F9000 X117.715 Y100.584 Z0.400
G0 X114.576 Y100.400
G0 X113.537 Y99.396
TYPE:FILL
G1 F1320 X113.058 Y98.997 E75.54222
G1 X113.469 Y98.641 E75.55127
G0 F9000 X113.459 Y98.287
;TYPE:WALL-INNER
G1 F1320 X113.536 Y98.357 E75.55301
G1 X113.565 Y98.396 E75.55382
G1 X113.630 Y98.534 E75.55636
G1 X113.698 Y98.929 E75.56303
G1 X113.730 Y99.939 E75.57986
G1 X117.779 Y99.717 E75.64739
G1 X117.670 Y98.640 E75.66542
G1 X117.646 Y98.480 E75.66811
G1 X119.447 Y98.480 E75.69811
G1 X119.447 Y105.118 E75.80865
G1 X123.495 Y105.118 E75.87607
  
```

34

hcc<sup>o</sup>3D

hcc<sup>o</sup>

Links zie je een heel klein gedeelte van een STL-bestand en rechts van een G-code-bestand. Alleen maar om aan te geven dat het 2 totaal verschillende bestanden zijn voor één en hetzelfde 3D-model. In de praktijk van het 3D-printen hoef je je hier gelukkig niet in te verdiepen. In een STL-bestand zie je vaak de woorden facet en vertex staan met een heleboel getallen (die coördinaten aangeven). Een STL-bestand kan gemakkelijk uit wel 5000 – 10.000 van dit soort regels bestaan. In een G-code-bestand zie je heel vaak G0 en G1 staan, daarachter de coördinaten voor de X-, Y-, Z-as en de hoeveelheid filament die de extruder moet leveren. En daar tussendoor af en toe een M-code (M106 betekent de objectkoeling aanzetten op de waarde 25. Een G-code-bestand kan gemakkelijk 25.000 -80.000 regels G-code bevatten! Er zijn freewareprogramma's waarmee je aan de hand van een STL-bestand of een G-code-bestand het 3D model zichtbaar kan maken (voor wie dat interessant vindt).

## Voorbeelden slicer software

The screenshot displays the Cura software interface. On the left, there is a logo for 'Slic3r G-code generator'. The main area shows a 3D model of a yellow figure on a base. To the right of the model are several control panels: 'Quality' (Layer Height, Bed Adhesion, Enable Retraction), 'Infill' (Infill Density, Infill Pattern, Infill Resolution), 'Speed and Temperature' (Print Speed, Printing Temperature, Bed Temperature), 'Support' (Support Type, Infill Offset Type), and 'Filament' (Filament Diameter, Filament Flow). At the bottom left, there is a preview window showing a 3D model of a yellow figure on a base. The Cura logo is visible in the top left corner of the interface.

35

hcc<sup>o</sup>3D

hcc<sup>o</sup>

Er is veel slicersoftware te downloaden van internet en bijna alles is gratis. Slic3r en Cura zijn de meest bekende slicerprogramma's. Cura is van de Nederlandse leverancier van de Ultimaker 3D-printers en volledig Nederlandstalig. Maar Nederlandstalig betekent niet dat het slicerprogramma eenvoudig in het gebruik is voor beginners. In de nieuwste versie van Cura zijn er meer dan 200 instellingen beschikbaar om je 3D-model goed te kunnen printen. Slic3r is weer Engelstalig. Een handig programma is Repetier Host (klinkt misschien Frans, maar het komt uit Duitsland). Met dit programma krijg je de keuze om je 3D-model te slicen met Slic3r of Cura. Het voordeel hiervan is ook dat als je Slic3r gebruikt, toch een groot deel van het slicerproces in de Nederlandse taal kan doen.

Heb je een 3D-printer gekocht, dan krijg je vaak de basisinstellingen meegeleverd en kan je al snel aan de slag. Bouw je je 3D-printer helemaal zelf, dan moet je ook alle instellingen zelf maken. Zonder kennis en ervaring is dat vrij lastig. Je moet namelijk wel weten wat je moet instellen, anders krijg je geen goede 3D-print. Maar daar kan HCC natuurlijk weer bij helpen. Ook al gaat het slicerprogramma met 3D-modellen aan de slag, je hoeft niet een heel snelle computer of grafische kaart voor te hebben voor het slicerprogramma.

**Cura demo**

**Laad 3D-model**

- Oriëntatie
- Aantal
- Schaal

**Print settings**

- Lagen en perimeters
- Infill
- Skirt en brim
- Support materiaal
- Snelheid

**Filament settings**

- Diameter
- Temperatuur
- Koeling
- Soort filament

**Printer settings**

- Extruder
- Nozzle diameter
- Retraction
- Start-, End G-codes

**Export G-code**

37 **hcc** 3D **hcc**

Aan de hand van het slicerprogramma Cura (dat met de Duplicator i3 mini wordt meegeleverd) en Slic3r laten we kort zien welke stappen je moet doorlopen om van een STL-bestand een G-code-bestand te krijgen. Hier moet je o.a. ook opgeven of je van ondersteuning ('support') gebruik wil maken in het geval van 'overhang' zoals we eerder zagen. We kunnen niet alle instellingen van het slicerprogramma

bespreken, het gaat erom een indruk te krijgen hoe het slicen werkt.  
demo slicerprogramma Cura 2.6.1

**Slic3r demo**

- Laad 3D-model**
  - Oriëntatie
  - Aantal
  - Schaal
- Print settings**
  - Lagen en perimeters
  - Infill
  - Skirt en brim
  - Support materiaal
  - Snelheid
- Filament settings**
  - Diameter
  - Temperatuur
  - Koeling
  - Soort filament
- Printer settings**
  - Extruder
  - Nozzle diameter
  - Retraction
  - Start-, End G-codes
- Export G-code**
  - Export G-code...

The screenshot shows the Slic3r software interface with a 3D model of a yellow 'hcc' logo on a grey base, the settings panels for layers, filament, and printer, and a terminal window displaying the generated G-code.

Als je het 3D-model hebt gesliced, dan zie je hoeveel filament er voor nodig is, maar vooral ook hoelang het printen gaat duren. Het zal je in het begin vast tegenvallen dat het printen met een 3D-printer erg veel tijd kost. Een paar uur printen ben je zo kwijt. Heb je grote of complexe prints, dan kan de printer wel een hele dag bezig zijn. En dan is het erg vervelend als er met het printen iets misgaat en je opnieuw moet beginnen. Belangrijk dus om zorg te besteden aan je slicerinstellingen.

Hier vind je de informatie over het slicerprogramma Slic3r en laten we kort zien welke stappen je moet doorlopen om van een STL-bestand een G-code-bestand te krijgen. Hier moet je o.a. ook opgeven of je van ondersteuning ('support') gebruik wil maken in het geval van 'overhang' zoals we eerder zagen. We kunnen ook niet niet alle instellingen van het slicerprogramma bespreken, het gaat erom een indruk te krijgen hoe het slicen werkt.

<demo slicerprogramma Slic3r>



We hebben nu een G-code-bestand gemaakt en die op de (micro)-sd-card van onze 3D-printer kan worden gezet. Kunnen we nu eindelijk gaan printen?

## 6. Printer voorbereiden

We kunnen al *bijna* beginnen met printen, eerst moeten we de 3D-printer zelf nog instellen. Omdat het printen lang duurt, wil je dat je 3D-model het liefst de eerste keer al goed wordt geprint. Dat betekent naast goede slicerinstellingen ook een goed ingestelde 3D-printer en dat doen we nu.

### De printer voorbereiden

- 1 Printbed levelling
- 1 Printbed voorbereiden
- 1 Verwarmen extruder/nozzle
- 1 Filament doorvoeren
- 1 Printfile laden:
  - sd-card
  - usb-kabel
  - Octoprint



39 **hcc** 3D **hcc**

In het slicerprogramma stellen we de laagdikte in, meestal iets van 0,2 mm. Maar dat betekent wel dat over het gehele printbed de afstand van het printbed tot de nozzle die laagdikte hetzelfde moet zijn. En niet aan de ene kant van het printbed 0,15 mm en de andere kant 0,25 mm of zo iets. Want dan zijn de lagen niet overal even dik en dat leidt tot kwaliteitsverlies. Het printbed moet dus goed horizontaal (t.o.v. de nozzle) worden ingesteld. Het printbed zit in het algemeen met 3 of 4 stelschroeven vast op de onderkant van de printer. Door aan die stelschroeven te draaien, kun je het printbed kantelen. Je kunt de Z-as naar positie 0 sturen (Home Z) en met de stelschroeven kun je het printbed zo afstellen dat de afstand van het printbed tot de nozzle in alle hoeken van het printbed gelijk is.

Om te zorgen dat de eerste laag filament goed op het printbed blijft plakken, is het belangrijk dat het printbed vetvrij is en zo nodig van een plakkerig laagje is voorzien. Dat plakkerige laagje kun je bereiken met een bus haarlak (er is ook speciale 3D-lak, maar volgens mij is alleen de naam op de spuitbus anders, niet de inhoud), speciale tape of lijm van bijv. een Pritt-stift. In het slicerprogramma kunnen we extra nog een zogeheten *brim* opgeven, waardoor het model weer beter op het printbed blijft zitten tijdens het printen. Een brim is een brede rand

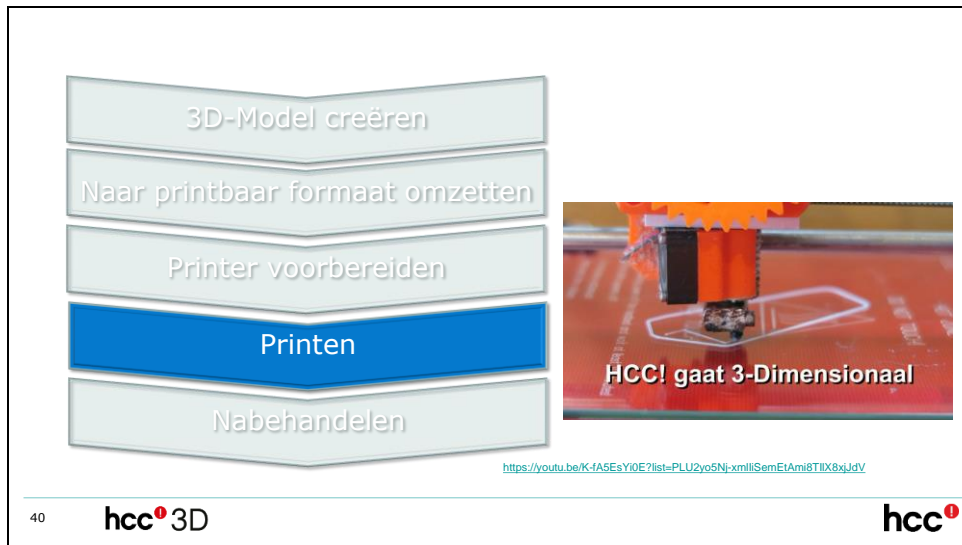
filament om het model en alleen in de eerste laag. Zo'n brim helpt ook nog eens goed tegen het kromtrekken van de onderste laag.

Bij een gewone (2D-)printer heb je te maken met toner of inkt die aangebracht wordt op papier. Toner of inkt zitten in reservoirs in de printer, het papier leg je in een aanvoerbakje. Een 3D-printer heeft filament nodig om te kunnen printen. Om het filament door de extruder naar de nozzle te brengen, moeten we de extruder of beter gezegd de nozzle eerst verwarmen tot ca. 200 graden. Alleen als de nozzle boven een bepaalde temperatuur is, wil de stappenmotor van de extruder pas gaan draaien. Logisch, want met koud filament in een koude nozzle kun je weinig beginnen. Heb je een display op je 3D-printer, dan kun je met de bedieningsknop de menu-optie kiezen om de nozzle (extruder) te verwarmen. Soms worden nozzle en extruder in de menu's door elkaar gebruikt.

Als de nozzle op temperatuur is, dan kan het filament in de printer. D.w.z. invoeren in de extruder en dan richting de nozzle sturen. Vaak is daar ook een optie voor in het menu, maar het kan eventueel ook handmatig. Als er filament uit de nozzle komt, zijn we van de aanvoer van filament verzekerd.

Nu nog de G-code naar de printer sturen. Dat kan door het G-code-bestand op de (micro-)sd-card te zetten en via het menu het G-code-bestand te laten printen. Of door de printer via de usb-kabel vanuit de computer aan te sturen en met het slicerprogramma de G-codes tijdens het printen constant van de computer naar de 3D-printer te sturen. Het interne geheugen van de Arduino is beperkt en kan namelijk niet alle G-codes in één keer in zijn geheugen laden. Het printen via een usb-kabel van computer naar 3D-printer kan problemen geven. Stoorpulsen op de usb-kabel kunnen de communicatie tussen de computer en de 3D-printer verstoren, waardoor sommige G-codes de 3D-printer niet bereiken en daarmee wordt je print om zeep geholpen. Wil je toch met je computer voortdurend in verbinding blijven met je 3D-printer, dan is Octoprint een betere oplossing. Je maakt dan met een Raspberry Pi een netwerkverbinding tussen je 3D-printer en de computer.

## 7. Printen



We hebben een 3D-model, gesliced naar een G-code, de 3D-printer goed ingesteld, dus kunnen we eindelijk gaan printen. Als je gaat printen, dan kom je gegarandeerd een keer printproblemen tegen. Een paar staan er op onderstaande afbeelding. Geen paniek, dat is iedereen voor jou ook al overkomen en voor je printproblemen vind je op internet dan ook allerlei oplossingen. Het is wel handig om in je zoekmachine meteen met de Engelse term, zoals warping in plaats van kromtrekken, te gaan zoeken. De kans is dan namelijk groter dat je snel de juiste oplossing krijgt. En anders loop je bij HCC!3D binnen met je vragen. Vrijwel altijd zijn printproblemen op te lossen.

### Mogelijke printproblemen

- ❶ Geen materiaal eerste laag
- ❶ Slechte hechting op het bed / loslaten
- ❶ Kromtrekken (warping)
- ❶ Omvallen van smalle structuren
- ❶ Ruwheid van het oppervlak
- ❶ Slechte hechting tussen lagen
- ❶ Vastlopen filament
- ❶ Filamentbreuk
- ❶ Verstopping extruder

#### Belangrijkste tips:

1. Gebruik goed filament
2. Zorg voor goede voorbereiding en kalibratie van het printbed
3. Experimenteer met instellingen



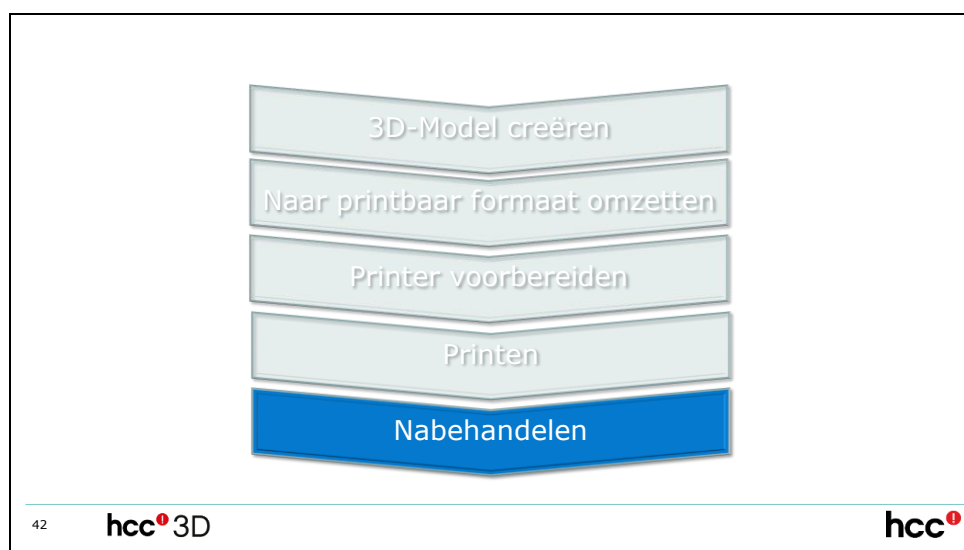
Ruw oppervlak



Warping

Soms kun je het bewuste printprobleem oplossen met een andere instelling in het slicerprogramma. Maar voor een verstopte extruder moet je toch echt aan je 3D-printer gaan sleutelen, dat is wel een heel vervelend printprobleem. Al die mogelijke printproblemen hebben weinig invloed op de levensduur van de mechanica en de elektronica van de 3D-printer; het vervangen van mechanische en elektronische onderdelen komt niet vaak voor. En mocht er toch wat kapot gaan, de onderdelen waarvan de 3D-printer is gebouwd, zijn in het algemeen goed verkrijgbaar in online webshops en ook nog eens goedkoop.

## 8 Nabehandelen



Het printen is gebeurd, maar toch is het geprinte 3D-model nog niet klaar. Vaak is een vorm van nabehandelen noodzakelijk. We noemen er hier een paar.

**Nabehandelen**

- 1 Print van printbed halen en contactvlak schoonmaken
- 1 Support en brim verwijderen
- 1 Eventuele kleine correcties met soldeerpistool
- 1 Separaat geprinte onderdelen verlijmen
- 1 FDM prints hebben een vrij ruw oppervlak. Desgewenst glad en glanzend te maken door schuren/polijsten

43 hcc<sup>3D</sup> hcc<sup>3D</sup>

Het nabehandelen van een print valt erg mee. Als de print niet gemakkelijk van het printbed gaat, gewoon even wachten tot het is afgekoeld. Ga niet met scherpe voorwerpen de print van het printbed schrapen, want je kunt gemakkelijk het printbed beschadigen. En die beschadigingen vind je terug in de eerste laag van de volgende prints. Maak het contactvlak van het printbed voor de volgende print schoon door eventuele resten filament te verwijderen.

De ondersteuning en de brim moet je losbreken van het geprinte model. Een eventuele braam als gevolg van de brim kun je met een speciaal afbraammesje snel en veilig verwijderen.

Met de verwarmde punt van een soldeerpistool kun je heel plaatselijk het filament weer laten smelten en zo wat correcties uitvoeren. Maar je hebt ook 3D-pennen waar je met de hand filament kunt aanbrengen.

Als je je model in meerdere onderdelen hebt geprint, kun je de onderdelen aan ook elkaar vastmaken met bijv. secondenlijm.

Een geprint model kun je, net als hout, gemakkelijk schuren, polijsten en zelfs verven (wel verf op waterbasis gebruiken).

We zijn in 5 stappen gekomen van het maken van een *virtueel* 3D-model op de computer tot een *tastbaar* 3D-model op de 3D-printer. Niet alle stappen kosten veel tijd of moeite. Haal je een 3D-model van internet, dan ben je sneller klaar dan wanneer je zelf een 3D-model gaat ontwerpen of scannen. Het slicen kan ook snel gaan als je al eerder hebt geprint en de juiste instellingen hebt gevonden. Het voorbereiden van de printer en het nabehandelen kosten over het algemeen ook niet veel tijd. Het printen kost veruit de meeste tijd

## En nu een printer in ieder huis?



Zelf 3D-printen mogelijk:

- ❶ 3D-printers al minder dan 200 euro
- ❶ Rol PLA (1 kg) vanaf 20 euro
- ❶ Veel open source software (dus gratis)
- ❶ 3D-scanner al vanaf 30 euro (Kinect)
- ❶ Kennisuitwisseling via HCC interessegroepen (3D, Drones, Robotica)
- ❶ Toepasbaar voor een breed publiek

45

hcc<sup>1</sup> 3D

hcc<sup>1</sup>

Zoveel printers zal niet iedereen in huis hebben of willen hebben. Maar het is goed mogelijk en betaalbaar om met een eenvoudige 3D-printer te beginnen. Je kunt daarmee de 3D-techniek wat meer in de vingers krijgen en zien dat het, na wat oefenen, eigenlijk niet eens zo moeilijk is en dat je er wel leuke en mooie dingen mee kan maken.

Voor MacOS-, Windows- (vanaf versie 7) en Linux-computers is veel software voor het downloaden, ontwerpen en slicen van 3D-modellen beschikbaar, je hoeft er geen nieuwe, supersnelle computer voor aan te schaffen. Alleen veel 3D-scanprogramma's hebben een voorkeur voor een snelle computer en/of grafische kaart.

## Maar je kunt ook laten printen....



3D HUBS 3D Print Learn Upload

**Erik's Hub**  
Responds in > 1 day on average  
★★★★★ 4.8 @  
Vento, NL  
2.9 km  
Services

**Prototyping Plastic**  
See all materials, colors and layer heights  
from € 3,50

Pickup (2.9 km away)	11 May	Free
PostNL	12 - 13 May	€ 4.00
DHL	12 - 13 May	€ 4.00

Ready by 11 May  
See details

3D HUBS

46

hcc<sup>1</sup> 3D

hcc<sup>1</sup>

Wil je niet zelf printen maar het uitbesteden? Dat kan. Er zijn diverse online 3D-printshops waar je je STL-bestand naar toe kan sturen en die je geprinte 3D-model thuis bezorgen.

En in het hele land vind je zogeheten FabLabs. FabLabs hebben behalve 3D-printers nog meer innovatieve fabricagetechnieken in huis, zoals lasersnijders.

**Laten printen...**

**1. Design a Product**

Use a 3D Printing App  
Tweak and tinker your product to perfection using an easy 3D printing app.

Use Your Favorite Software  
We support a wide range of programmatic, parametric, sculpting and modeling software.

**2. Upload to Shapeways**

INSTANT PRICING

45+ HIGH QUALITY MATERIALS

FIXING TOOLS

24/7 GLOBAL SUPPORT

UPLOAD YOUR MODEL

**3. We'll Produce it for You**

Experience the journey of a 3D printed product.

How 3D Printing Works

shapeways\*

47 hcc<sup>1</sup> 3D hcc<sup>1</sup>

Een bekende online 3D-printshop is Shapeways. Daar kun je je 3D-print in allerlei materialen en afmetingen laten printen. Helemaal handig als je je 3D-model niet in PLA of PETG geprint wil hebben, maar in een ander materiaal. Als je op internet gaat zoeken, kom je nog veel meer online 3D-printshops tegen. In het HCC-verenigingsblad PC-Active worden in nummer 302 (okt/nov 2018) in het artikel 'Ontwerpen en printen in 3D' een aantal 3D-printdiensten met elkaar vergeleken.

## 9. HCC!3D en aanbieding 3D-printer

**Zelf aan de slag met 3D?**

**hcc! 3D biedt:**

- ❶ Bijeenkomsten op locaties van HCC!regio's
- ❶ Uitwisseling van kennis en ervaring met 3D-geïnteresseerden
- ❶ Verbinding met andere disciplines (HCC!drones, HCC!robotica, enz.)
- ❶ Workshops door ervaren HCC-leden
- ❶ Hulp bij het zelf bouwen van een 3D-printer
- ❶ Hulp bij het installeren en gebruiken van 3D-software
- ❶ Voor meer info kijk op: <https://3d.hcc.nl>

HCC!3D  
*meetup*  
HCC!Circuits

48 **hcc! 3D** **hcc!**

Wil je zelf aan de slag met 3D-printen, 3D-scannen of 3D-CAD-ontwerpen, of meer weten van 3D, dan kun je bij HCC!3D terecht. Op veel plaatsen zijn er HCC!3D-bijeenkomsten waar HCC-leden met ervaring op 3D-gebied aanwezig zijn. Op veel HCC-locaties zijn ook mensen aanwezig die je wegwijs kunnen maken op 3D-gebied.

**Aanbieding Duplicator i3 Mini**

- ❶ Als HCC-lid kun je met korting de printer kopen die op deze presentatie wordt getoond, de Wanhao Duplicator i3 Mini
- ❶ Adviesprijs van deze 3D-printer inclusief filament is € 199,-  
Als HCC-lid betaal je maar € 169,50
- ❶ Je vindt de aanbieding op [www.hcc.nl/ledenvoordeel](http://www.hcc.nl/ledenvoordeel)
- ❶ Ben je nog geen HCC-lid, profiteer dan meteen van deze aanbieding door HCC-lid te worden!



49 **hcc! 3D** **hcc!**

HCC-leden aanbieding: bij deze printer krijg je dan ook meteen een extra rol filament PLA, wit van 750 gram en die kan je goed gebruiken, want de standaard meegeleverde 3 meter PLA-filament is niet toereikend.