



VRIJE
UNIVERSITEIT
BRUSSEL



Bachelorproef ingediend met het oog op het behalen van de graad van Bachelor in de
Industriële Wetenschappen

BACHELORPROEF: REALISATIE VAN EEN GROTE 3D-PRINTER

Atila Sen en Dursun Coşkuner

2020-2021

Promotor: Lieven Standaert
INGENIEURSWETENSCHAPPEN

Inhoudsopgave	i
1 Introductie	1
1.1 Motivatie	1
1.2 Doelstelling	1
2 Bewegingssysteem	2
2.1 Soorten	2
2.2 Cartesiaanse	2
2.3 CoreXY	4
2.4 H-bot	5
2.5 Keuze	5
3 Frame	6
3.1 Design	6
4 Extruder	8
4.1 Specificaties	8
4.1.1 Hot-end	8
4.1.2 Extruder	9
4.2 Bowden versus Direct drive extrusie systeem	10
4.2.1 Bowden extrusie	11
4.2.2 Direct drive extrusie	11
4.3 Besluit	11
4.4 Design	12
5 Printbed	13
5.1 Design	13
6 CoreXY	16
6.1 Algemeen	16
6.2 Werkingsprincipe	16
6.3 Design CoreXY	17
7 CAD-model eerste versie	21
8 Controller	22
8.1 Algemeen	22
8.2 8-bits vs 32-bits	22
8.3 Firmware	22
8.4 Pin-outs	22
8.5 Vergelijking	23
8.6 Besluit	23

8.7	Belangrijke parameters	23
9	Uitvoering	24
9.1	Bill of materials	24
9.2	Printbed	25
9.3	Extruder	27
9.4	CoreXY	29
10	Elektronica	32
10.1	CAD-tekening	32
10.2	Draadschema	32
11	CAD-model laatste versie	38
12	Testen	41
13	Conclusie	47
14	Nabespreking	48
A	Handleiding	49
A.1	Slicer instellingen	49
A.2	IP-instelling	51
A.2.1	Duet Web Control	52
	Bibliografie	55

1.1 MOTIVATIE

Voor onze bachelorproef hebben we gekozen om een grote 3D-printer te bouwen. Dit project werd als keuze aan de studenten voorgesteld. Het Fablab had eerder een grote 3D-printer, maar deze was niet robuust genoeg en werkte niet meer betrouwbaar. Momenteel kan er in het FabLab tot een printvolume 250x210x210 mm (Prusa MK-3) geprint worden. Spijtig genoeg is dit meestal te klein voor grote projecten. Het tweede bachelorjaar heeft bijvoorbeeld op dit moment een project om een windturbine te bouwen waarvoor ze bladen dienen te produceren van 40 cm lang. Om dezulke bladen te produceren zijn er twee opties die de studenten in het FabLab hebben. Oftewel kunnen ze een CNC-frees gebruiken om het in één geheel te produceren ofwel kunnen ze het blad in meerdere stukken 3D printen. De meeste studenten hebben liever om de parten te 3D-printen dan de CNC-frees te gebruiken. Dit is omdat 3D-printen minder tijd kost en vanwege het gebruiksgemak. Vervolgens zijn er verschillende bachelor- en master-projecten die grote parts nodig hebben en bovendien wil het FabLab ook grote NACA-profielen kunnen printen voor de projecten. Wij zijn twee Elektromechanica-studenten en vonden het project daardoor zeer interessant. We wilden de werking van 3D-printers beter begrijpen door er zelf één te ontwerpen. Doordat de printer ook een groot model zou moeten zijn, moesten we ook leren hoe je iets op grotere schaal moet bouwen en designen.

1.2 DOELSTELLING

Voor het project wordt van ons een grote 3D-printer verwacht met een printvolume van 600x600x1100 mm. Een robuust CoreXY met een precisie van ± 0.2 mm en in de z-richting een precisie van ± 0.5 mm. De elektronica moet ook compact zijn en in een behuizing zitten. Een gebruiksvriendelijke kabelmanagement moet voorzien zijn door alle kabels binnen kabelgoten en kabelrupsen te routeren. De printer zelf moet betrouwbaar zijn om langdurige prints te waar te maken. Ten slotte moet het printbed regelbaar zijn en voorzien zijn van een automatisch bedlevelling systeem.

2.1 SOORTEN

Een belangrijke keuze bij de conceptuele fase van een 3D-printer is de keuze van het bewegingssysteem. De manier waarop de printer in x-, y- en z-richting zal bewegen beïnvloedt het hele design. De meest bekende soorten bewegingssystemen voor FDM (Fused Deposition Modeling) 3D-printers zijn; cartesiaan, CoreXY, H-bot, en Delta. Technisch gezien zijn CoreXY en H-bot ook cartesiaans, aangezien deze in cartesisch coördinatenstelsel werken. Om toch het onderscheid te kunnen maken wordt er in de 3D-printer community gesproken van cartesisch, CoreXY en H-bot 3D-printers (O'CONNELL, [g.d.](#)).

Delta printers hebben een cirkelvormig printbed. Verder is het printvolume in x- en y-richting (relatief gezien tegen over de hoogte van de printer) klein, zie Figuur 2.1. Het doel van onze bachelorproef is om een rechthoekig bed te bouwen. Dus deze zullen we als keuze al afschaffen.



Figuur 2.1: Voorbeeld van een Delta printer, de Anet A4. (Bron: Amazon)

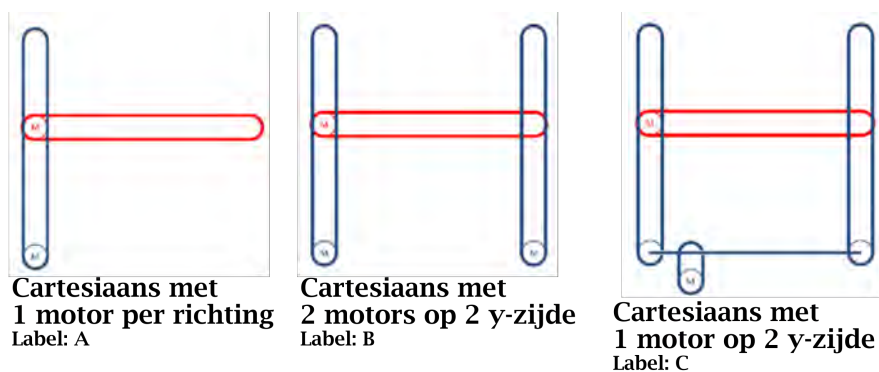
2.2 CARTESIAANSE

Cartesiaanse 3D-printers verplaatsen componenten lineair langs de x-, y- en z-richting om de printkop en het printbed in een driedimensionale ruimte te positioneren. We onderscheiden verder op basis van de beweging van het printbed. Het gantry-model: de extruder beweegt in x- en y-richting, printbed beweegt in z-richting. Bewegende printbed modellen (Prusa-stijl): printbed beweegt in y-richting, printkop beweegt in x- en z-richting. Bij beide modellen hebben elke richting zijn eigen stuurmotor(s). Het grootste nadeel bij de Prusa-stijl printers is het heen en weer bewegen van het printbed, zie Figuur 2.2. Het printbed moet tijdens het printen constant bewegen, dit heeft tot gevolg dat de printsnelheid lager is. Aangezien het printbed een groot en zwaar onderdeel is, moet de printer trager printen om de traagheid te kunnen overwinnen. Nadien zou de voetafdruk van de printer groter moeten zijn, want het bed zal 600 mm uit moeten steken.

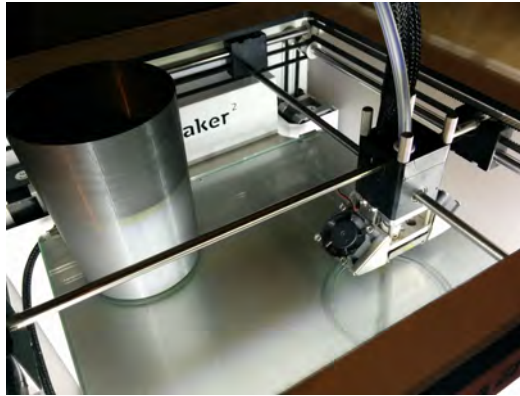


Figuur 2.2: De Prusa i3-MK3, het printbed beweegt heen en weer in de y-richting. (Bron: Prusa3d)

Bij de gantry-modellen beweegt het printbed op en neer, aan de bovenkant beweegt de printkop in x- en y-richting. Voor de beweging in het xy-vlak bestaan er meerdere technieken. In Figuur 2.3 zijn drie methodes weergegeven en een vierde methode "crossed gantry (gekruist brug)" is weergegeven op Figuur 2.4. Label A is de meest eenvoudige manier, maar is in de praktijk niet uitvoerbaar voor lange assen. Label B maakt gebruik van twee motors voor de y-richting en label C is hetzelfde, alleen is er een pulley in plaats van een tweede y-motor. Bij deze gantry-modellen ligt de x-richting motor op de y-as gantry (rode brug op Figuur 2.3). Dit design is vrij simpel te bouwen, maar het extra gewicht van de x-richting motor op de y-as is niet gewenst. Bij de Ultimakers (crossed gantry) zijn beide motors op de behuizing geplaatst. Daar maken ze gebruik van twee kruisende assen op de printkop die dankzij riemen verbonden zijn op de x- en y-richting motors. Elke motor stuurt zijn eigen richting, nadeel is dat je twee kruisende geleidingen nodig hebt en het complexer design.



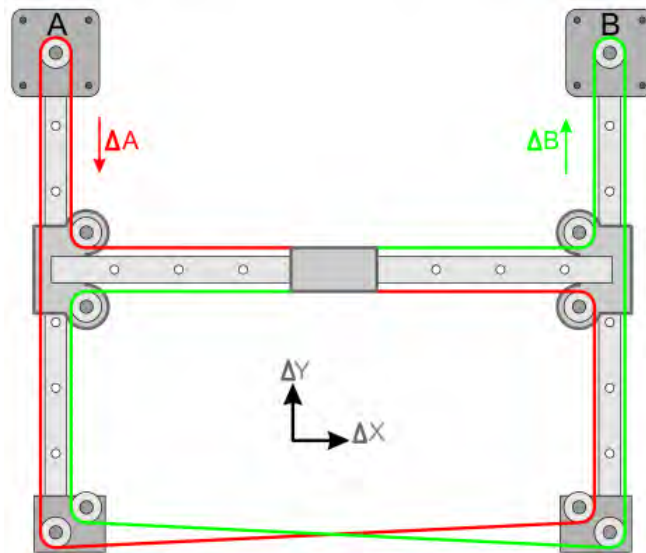
Figuur 2.3: Verschillende cartesiaanse bewegingssystemen in het xy-vlak. (Bron: RepRap forum)



Figuur 2.4: De Ultimaker 2, met zijn kruisende assen op de printkop. De motors zitten vast op de behuizing (Bron: RepRap forum).

2.3 COREXY

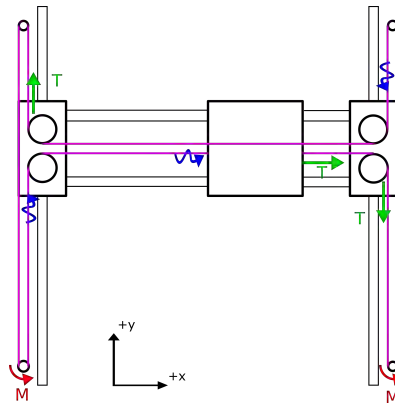
Bij een CoreXY werken de x- en y-richting motors samen, enkel de z-richting motor werkt onafhankelijk. De beweging in het xy-vlak gebeurt door twee motors. Beide motors worden met riemen op de printkop verbonden, zie Figuur 2.5. Het pad dat elke riem aflegt is zodanig dat elke motor enkel diagonale bewegingen kan veroorzaken. Met andere woorden is er een draaiing van 45° . Daardoor moeten beide motors samenwerken om de printkop recht te doen bewegen. Hierdoor kan de printkop sneller bewegen zonder dat het ten koste gaat van de precisie. Het is belangrijk dat de structuur exact recht en stijf blijft. Daarnaast dienen de riemen parallel en recht te blijven tijdens het printen, wat vrij uitdagend is (SOLIDCORE, 2021).



Figuur 2.5: Schema van een CoreXY bewegingssysteem.(Bron: RepRap forum)

2.4 H-BOT

De H-bot is vergelijkbaar in constructie en werking met de CoreXY. Een groot verschil onderscheidt deze twee methodes: een H-bot maakt gebruik van één grote riem in plaats van twee, zie Figuur 2.6. Dit heeft als voordeel dat de constructie simpeler is. Een CoreXY heeft meer pulleys nodig dan de H-bot. Het werkingsprincipe achter de H-bot is te zien op Figuur 2.6. Beide xy-richting motors blijven stabiel, één lange riem wordt gebruikt om de motors en de printkop te verbinden. Deze vereenvoudiging is niet probleemloos. De spanning op de riem veroorzaakt een moment rond de z-richting. Daardoor moet de structuur zeer stevig gebouwd worden. Dit verhoogt niet alleen de kans op fouten, maar vermindert ook de printkwaliteit (MARTIN, g.d.(a)).



Figuur 2.6: Schema van H-bot, beide motors zijn verbonden met één riem aan de printkop. Zoals CoreXY wordt dit bereikt met pulleys.(Bron: Smoothieware)

2.5 KEUZE

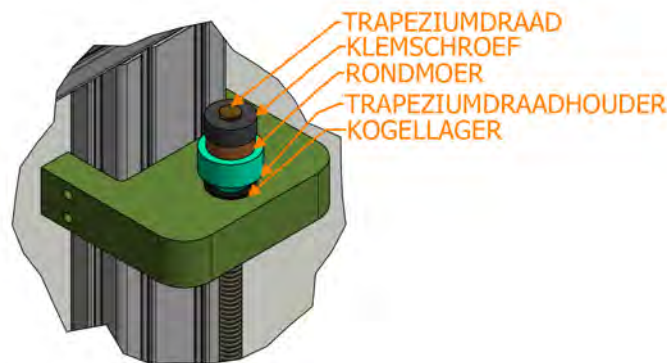
Het is vrij duidelijk dat elk bewegingssysteem zijn voor- en nadelen heeft. De dimensie van de printer speelt een rol bij de keuze. Hierboven werd Delta en bewegend bed systeem al als keuze afgeschaft. Het printbed zal dus enkel op en neer bewegen. Voor de xy-vlak zal de "crossed gantry" systeem te complex zijn om het in groot formaat te ontwerpen. Het zal ook meer kosten in vergelijking met de andere bewegingssytemen. Zes lineaire geleidingen zijn immers nodig voor dit systeem. De volgende keuzes blijven nog over: cartesische, H-bot en CoreXY. Het extra gewicht van de stepper motor op de y-brug op de cartesische systeem willen we vermijden. H-bot is theoretisch een zeer goed systeem, maar in de praktijk veroorzaakt het gebruik van één riem verschillende problemen (zie 2.4).

Uiteindelijk werd CoreXY als bewegingssysteem gekozen omwille van de volgende redenen; de motors blijven stabiel, printkop beweegt met twee motors, twee riemen, printbed beweegt op en neer. Wat wel een nadeel zal zijn, is de constructie van de CoreXY en de riemen behoorlijk kunnen spannen.

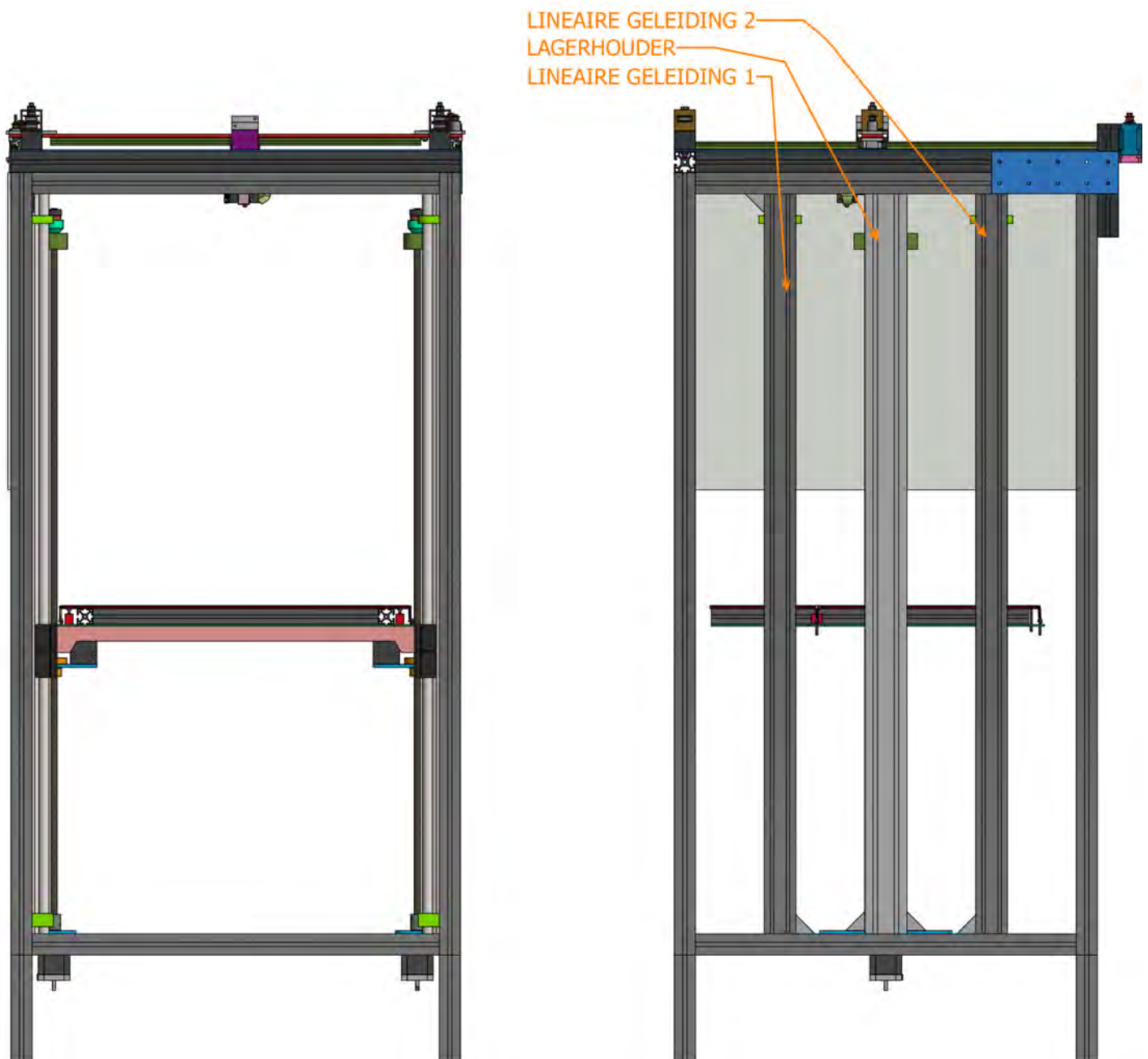
3.1 DESIGN

Voor het frame van de 3D-printer werden er vooral 40x40 mm I-profielen gebruikt. Vervolgens zijn er twee 40x80 mm I-profielen aanwezig. Deze dienen zowel voor extra steun als om de lagerhouder te kunnen monteren. Verder zijn er vier 30x60 mm I-profielen aanwezig om de lineaire geleidingen te kunnen bevestigen. Het type geleiding dat gebruikt werd, is 'SBS20'. In totaal zijn er vier geleidingen aanwezig met elk die twee lagers bezitten. Deze lagers zijn verbonden met het printbed om deze vloeiend en recht naar boven en beneden te laten bewegen. De lager is halfopen en het type is 'SBR20UU'. Het printbed wordt door twee steppers (Nema 23) via een trapeziumdraad en een flensmoer naar boven of naar beneden aangestuurd.

De massa van het printbed ligt op de kogellager door middel van een trapeziumdraadhouder. De rondmoer heeft tanden en grijpt in op de trapeziumdraad. Verder is de rondmoer ook verbonden met de trapeziumdraadhouder waardoor de volledige massa op de binnendiameter van de kogellager gesteund wordt. De rondmoer is boven geblokkeerd door een klemschroef, omdat deze niet naar boven mag gaan en op zijn plaats moet blijven. Dit systeem is ontworpen omdat de stepper niet bedoeld is om de massa van het printbed te dragen, maar om het printbed alleen naar boven en beneden te laten bewegen, zie Figuur 3.1



Figuur 3.1: Mechanisme van het printbed



Figuur 3.2: Het eerste design van het frame

4.1 SPECIFICATIES

4.1.1 HOT-END



Figuur 4.1: De warmteblok van SuperVolcano (Bron: Google-afbeeldingen)

De naam van de hot-end die gebruikt werd voor dit project is ‘SuperVolcano’, zie Figuur 4.1. De voornaamste onderdelen van deze hot-end zijn het mondstuk, het warmteblok en het koellichaam. Deze hot-end beschikt een hoge volumetrische doorvoer, een zeer lange warmtezone en extra krachtige verwarming. SuperVolcano geeft als voordeel dat er een betere hechting is tussen de printlagen en het printbed. Vervolgens worden er bredere en hogere lagen afgeleverd door de hoge stroomsnelheid. Daardoor hechten de lagen onderling en met het printbed beter. Deze biedt sterkere prints met minder kromtrekken. SuperVolcano beschikt volgende mondstuk-diameters: 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, en 1.4. De kwaliteit en de snelheid van de print zal afhangen van de mondstuk-diameter. Wil men een hoge kwaliteit met veel details in de print dan moet men 0.6 mondstuk-diameter gebruiken. Als neveneffect zal de printtijd hierdoor helaas stijgen. Voor hogere mondstuk-diameters zal de printtijd dalen en verminderen in kwaliteit (E3D, 2020, WILLANS, 2021).

4.1.2 EXTRUDER

**Figuur 4.2:** De Titan extruder (Bron: Comgrow)

De naam van de extruder is ‘Titan extruder’. Deze omvat een motor, tandwiel en een filamentgeleider. De krachtige extruder is licht en compact, met een overbrengingsverhouding van 3:1. Hierdoor kan een kleinere stepper gebruikt worden, omdat er minder kracht nodig is om het filament in en uit te kunnen duwen of trekken. Titan werkt goed voor alle systemen namelijk bowden en direct drive extrusie systemen. Men kan 1.75 mm of 2.85 mm filament gebruiken. Om te wisselen tussen filamentdiameters moet men de filamentgeleider en de bowden adapter vervangen (E3D, 2020).

**Figuur 4.3:** De PTFE-tube (Bron: Google-afbeeldingen)**Figuur 4.4:** De push-fit connector (Bron: 123-3D)

Voor het bowden extrusie systeem wordt de PTFE-tube gebruikt. PTFE staat voor Polyte-trafluorethyleen, met als bekendste merknaam Teflon. De tube wordt met de extruder en de hot-end verbonden aan de hand van push-fit connectoren. Deze buis biedt een soepele verbinding tussen de extruder en de hot-end. Hierdoor wordt de beschadiging van het filament ook vermeden. Bij temperaturen van 260 °C gaat de tube beginnen vervormen en boven de 320 °C gaat het smelten. (CREALITY, 2020, AIRWOLF3D, 2020, WIKIPEDIA, 2021).



Figuur 4.5: De BLTouch (Bron: Amazon)



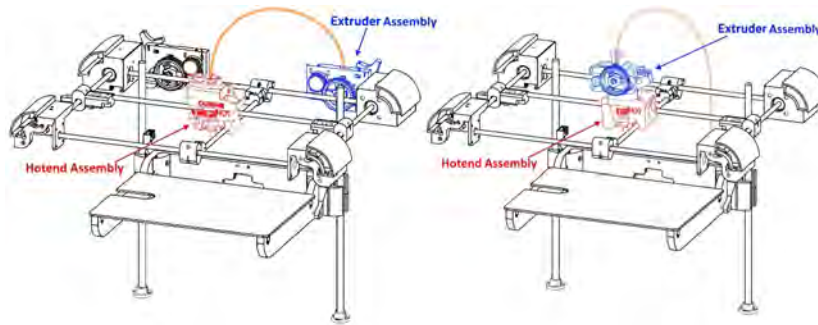
Figuur 4.6: De P.I.N.D.A. sensor (Bron: Prusa3d)

BLTouch is een mechanische sensor die voor de automatische bed-leveling dient. Deze sensor maakt contact met het printbed en is geschikt voor allerlei printbed oppervlaktes zoals glas, metaal, kaftan tape en polyetherimide-folie (PEI). De sensor heeft een eenvoudige werking en een hoge nauwkeurigheid. De push-pin wordt door een servomotor gecontroleerd. Wanneer de push-pin naar beneden moet gaan, wordt de servo-arm van de servomotor bestuurd. Wanneer de push-pin terug naar zijn rustpositie moet gaan dus naar boven, wordt door het printbed zachtjes naar boven gedrukt. Verder wordt de hall-sensor geactiveerd en wordt de push-pin ingetrokken. Deze push-pin dient om de hoogtes van het printbed te meten. De metingen worden uitgevoerd van een aantal punten (een matrix) van de print om te bepalen welke punten van het printbed hoog of laag zijn. Verder worden de metingen door de hall-effectsensor geregistreerd en wordt een bed meshing gemaakt met deze hoogtes voor het printbed. De software gaat deze hoogtes compenseren voor een vlakke print (ALL3DP, 2021, 3DMAKERENGINEERING, 2020, PRUSA3D, 2020).

De P.I.N.D.A. staat voor **P**rusa **I**NDuction **A**utoleveling. De probe sensor is een contactloze/inductieve sensor. Een inductorspoel in de sensor creëert een magnetisch veld. Het magnetisch veld zal veranderen wanneer er een metaal voorwerp in de detectieafstand van de sensor bevindt. De hoogtes worden tussen de metalen oppervlakten van het printbed gemeten. Niet-metalen oppervlakken hebben geen effect op het magnetisch veld daarom kan deze sensor alleen metalen oppervlakken detecteren. Deze sensor maakt een bed meshing met de gemeten hoogtes en vervolgens wordt het in de software geregistreerd en worden de hoogtes gecompenseerd (ALL3DP, 2021, 3DMAKERENGINEERING, 2020, PRUSA3D, 2020).

4.2 BOWDEN VERSUS DIRECT DRIVE EXTRUSIE SYSTEEM

Er bestaan twee soorten extrusie systemen, namelijk de bowden en direct drive extrusie systeem. Het filament ligt tussen het tandwiel en de filamentgeleider van de extruder en verder wordt het in het extrusie systeem getransporteerd. Op dit moment wordt het filament oftewel direct naar de hot-end (directe drive) oftewel door een PTFE-buis naar de hot-end (bowden) gedrukt. Beide systemen hebben voordelen en nadelen, maar men kan niet zeggen dat ene beter is dan het andere (AIRWOLF3D, 2020, CREALITY, 2020).



Figuur 4.7: Bowden en Direct drive extrusie (Bron: Airwolf3d)

4.2.1 BOWDEN EXTRUSIE

Bij het bowden systeem wordt het filament vanaf een vaste plek (op het frame) door een PTFE-tube naar de hot-end geleid. In het algemeen is dit in een boog tussen cold-end (waar het filament geduwd/getrokken wordt door een motor) en hot-end (waar het filament verwarmd wordt). Het voordeel van het bowden systeem is dat de motor aan het frame van de 3D-printer vastgemaakt wordt, waardoor het niet verplaatst hoeft te worden. Dit verbetert de printsnelheid en de reacties van de kop in de print. Verder wordt de massa van de extruder ook gereduceerd. Minder massa op de extruder betekent dat er minder trillingen kunnen ontstaan. Dit systeem heeft ook nadelen. Door de lengte van de tube is er meer filament en wrijving aanwezig. Dit betekent dat er meer druk op het mondstuk is waardoor het terugtrekproces van het filament vrij moeilijk is. Vervolgens is het ook moeilijker om flexibele filamenten te printen met bepaalde snelheden (AIRWOLF3D, 2020, CREALITY, 2020).

4.2.2 DIRECT DRIVE EXTRUSIE

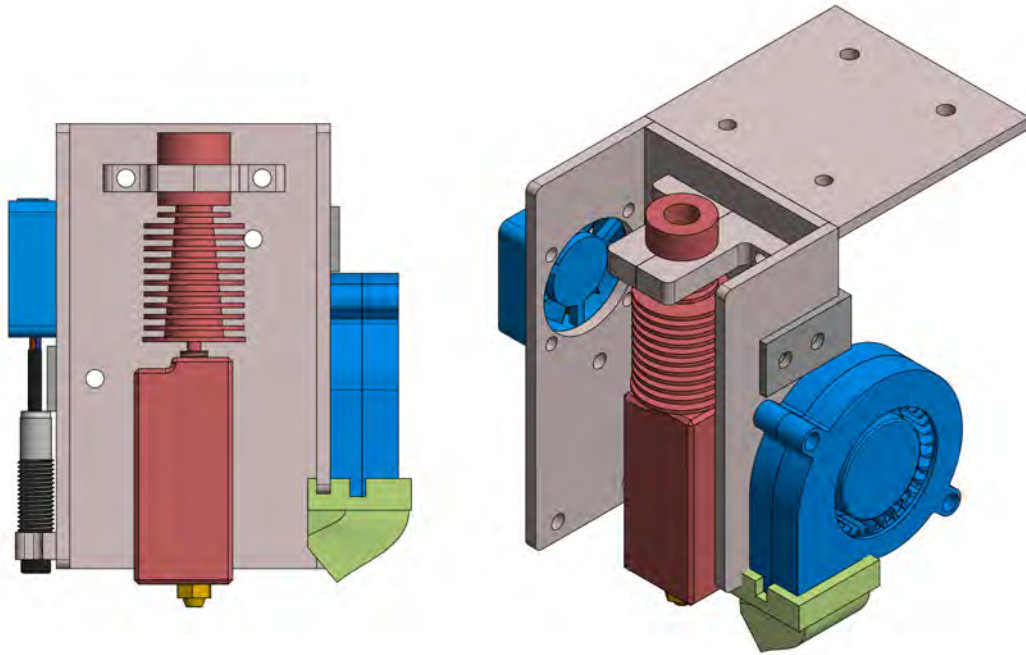
In een direct drive extrusie systeem wordt het filament direct (vlak boven) de hot-end doorge-duwd. Eén van de belangrijkste voordelen zijn de reacties met het filament. Wegens de afstand tussen het filament en de extruder zijn de extrusie-en terugtrekprocessen van het filament directer en sneller. Hierdoor is er een betere controle van het afvoeren van het filament en is er minder kans voor het vastlopen van het filament in de heatbreak. Door deze controle is er het voordeel dat men flexibele en andere soorten filamenten beter en makkelijk kan printen. Verder mag de kracht die door extruder wordt geleverd niet zo groot zijn. Dit is omwille van de kleine afstand tussen de extruder en de hot-end. Het nadeel van dit systeem is dat de massa van de extruder vrij hoog is. Dit kan voor meer trillingen en problemen zorgen bij hogere print-snelheden. De snelheid moet beperkt worden bij direct drive systemen (AIRWOLF3D, 2020, CREALITY, 2020).

4.3 BESLUIT

Voor dit project is het noodzakelijk dat de printen vrij snel en kwaliteitsvol kunnen gebeuren. Daarom wordt er een grote hot-end gebruikt die het filament snel en goed kan smelten. Bovendien moet de warmte constant blijven tijdens het printen. Verder moet de massa van de kop ook laag zijn om hoge snelheden te kunnen bereiken en om trillingen in de kop te vermijden. De bowden extrusie geeft het voordeel dat de massa van de kop gereduceerd wordt om sneller en nauwkeuriger te kunnen printen. Daarom wordt het 'bowden extrusie systeem' met een filamentdiameter van 2.85 mm gekozen voor dit project.

4.4 DESIGN

De hot-end wordt gemonteerd op de aluminiumplaat. De aluminium platen van drie millimeter worden met L-profielen vastgemaakt met elkaar. Links van de hot-end is er een kleine axiale ventilator aanwezig. Deze dient om het koellichaam af te koelen om de verstopping van het filament te vermijden en het filament koel te houden. Aan de rechterkant is er een radiale ventilator aanwezig die de print direct kan afkoelen. De richting van de luchtstroom wordt geleid met een 3D-stuk (fanduct), hiermee wordt de print effectiever en sneller afgekoeld. Verder is er ook een probe sensor aanwezig die voor de auto bed-levelling zorgt.



Figuur 4.8: Het eerste design van de kop

5.1 DESIGN

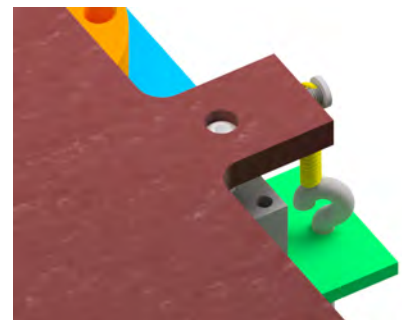
Een 3D-printer heeft een vlak printbed nodig om de lagen probleemloos mooi op elkaar te kunnen leggen. Een andere eigenschap die de printkwaliteit aanzienlijk beïnvloed is de hechting van de print op het printbed oppervlak. Als de eerste laag niet goed hecht op het printbed zal de hele print falen.

Bij een CoreXY printer beweegt het printbed enkel op en neer. De precisie van het printerbed bepaalt de kleinst mogelijk bereikbaar hoogte van de printlagen, hoe kleiner de printlaag hoogte, hoe mooier de oppervlakte van de print. Voor deze machine moeten er minstens stappen van 0.3 mm afgelegd kunnen worden. Voor het printbed wordt een aluminiumplaat gebruikt met een laag polyetherimide (PEI) folie op het oppervlak en een siliconen verwarmingsmat eronder geplakt (die minstens 0.4 W/cm^2 levert) (STORE, [g.d.](#)).

Een probleem bij grote printbedden is de expansie van het bed door opwarming. Bij het opwarmen van het printbed expandeert deze, als het bed geen vrije beweging heeft zal deze in het midden toe buigen. Het printbed oppervlak zal daardoor niet meer vlak blijven. Om dit te kunnen oplossen moet het bed in drie vrijheidsgraden (in x-, y-richting en in rotatie) bevestigd worden. Door gebruik te maken van veren en balkopschroeven wordt het printbed in drie vrijheidsgraden vastgezet. De gehele bedplaat wordt verankerd door veren die de plaat naar beneden trekken op de balkopschroeven. Twee van de schroeven, de referentie- en pitchschroef, zijn langs de x-richting van de printer geplaatst en de derde, de rolschroef, bevindt zich langs de y-richting. De referentieschroef zit in een chamfered (conisch) gat in de plaat (zie Figuur 5.1). Bij de referentieschroef is de plaat niet beweegbaar in x- of y-richting, het kan enkel rond de balkopschroef draaien. De pitchschroef zit in een chamfered sleuf parallel met de x-richting in de plaat (zie Figuur 5.2). De plaat kan niet in de y-richting bewegen, maar kan bij verhitting in de x-richting uitzetten. Deze twee schroeven, zorgen ervoor dat het bed om de x-richting kan rollen en kan uitzetten zonder dat er zijdelingse krachten op de schroeven komen te staan.

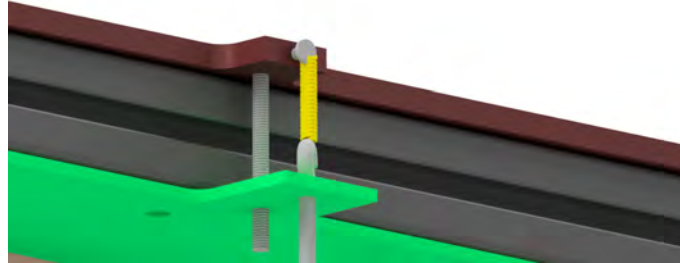


Figuur 5.1: De pitchschroef op de x-richting aan de linkerkant van het bed.



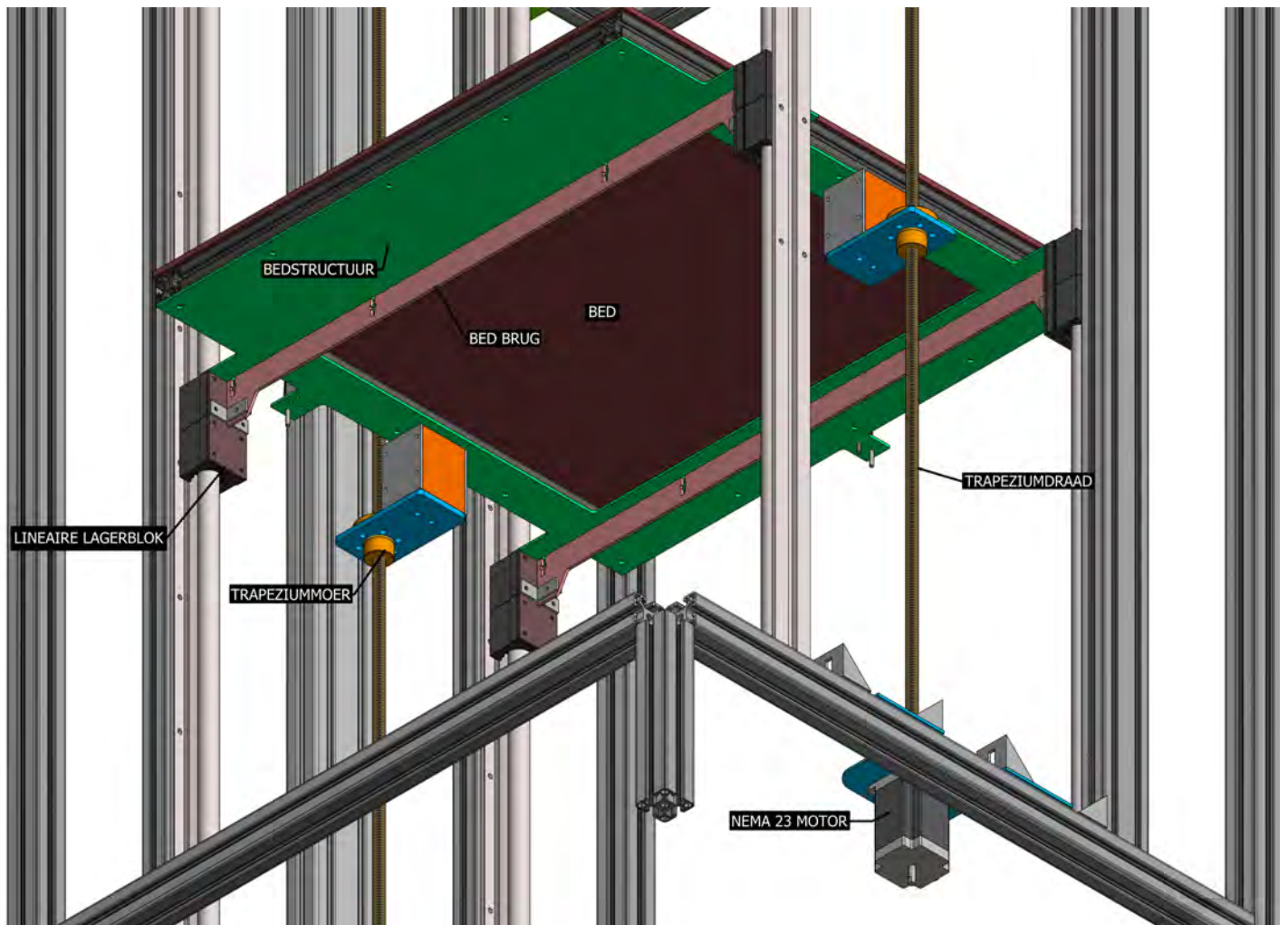
Figuur 5.2: De referentieschroef op de x-richting aan de rechterkant van het bed.

De rolschroef is slechts een vlakke schroef die de plaat steunt (zie Figuur 5.3). Hij laat het bed zowel in x- als y-richting uitzetten.



Figuur 5.3: De rolschroef op de y-richting aan de achterkant van het bed.

Het bed rust op een structuur die verbonden is via lagerblokken op de lineaire geleiders. Het bed wordt op en neer bewogen met twee Nema 23 motors. De draaiing van de motors wordt met trapezium draden doorgegeven aan trapezium moeren. De trapeziummoer zal dan op en neer bewegen. De moeren zitten vast aan het bedstructuur, zo kan het bed op en neer bewegen. Het CAD-model in Figuur 5.4 verduidelijkt verder het mechanisme.

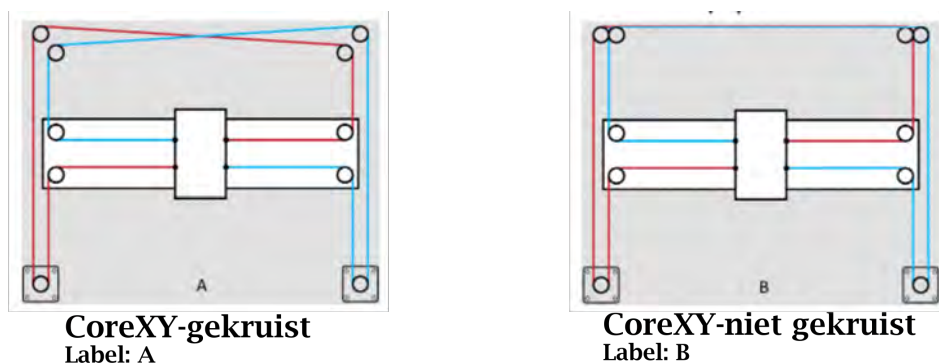


Figuur 5.4: Het bedstructuur en de lineaire lager blokken waarmee het bed vastgebonden is op de lineaire geleidingen. Trapeziummoer dient om het bed op en neer te kunnen bewegen. Het bed brug dient als structureel versterking en om de bed buiging te verminderen.

6.1 ALGEMEEN

CoreXY is een veel gebruikte methode bij cartesische coördinaten machines. Veel 3D printers maken gebruik van een CoreXY systeem om de printkop in de x-en y-richting te doen bewegen. Zoals het eerder vermeld werd in (2.3), heeft dit voordelen en nadelen. Een belangrijk voordeel is de hoge printsnelheid van een CoreXY printer. De printkop beweegt in de x- en y-richting door gebruik te maken van twee stationaire motoren die samen werken. Doordat geen motor mee beweegt op de y-brug (gantry), vermindert de hoeveelheid inertie tijdens het bewegen. Beide voordelen helpen om hoge print snelheden te behalen, zonder precisie te verliezen (REHORST, 2020b).

Een CoreXY bestaat uit twee riemen verbonden op de printkop door middel van idlers. De idlers kunnen naast elkaar gelegen worden, dan zullen de riemen kruisen, Label A gekruist. Anders kunnen de idlers op twee hoogte niveaus gelegen worden, Label B niet kruisend (Figuur 6.1).

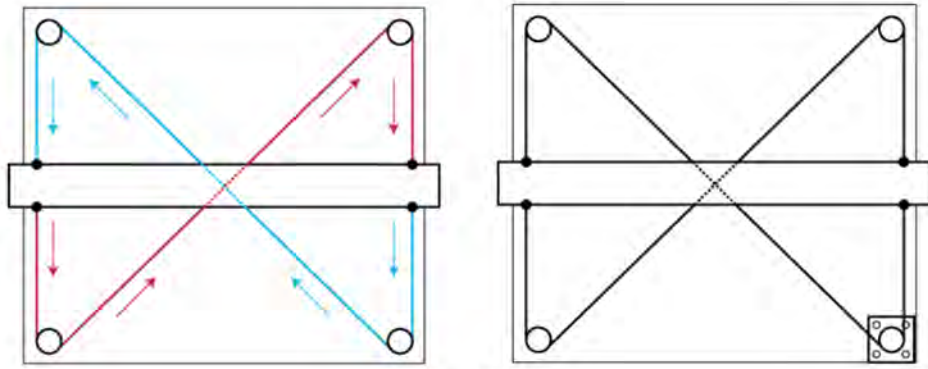


Figuur 6.1: Schema van een CoreXY. Label A toont de soort met kruisende riemen, Label B toont de niet-gekrust. (Bron: All3dp)

6.2 WERKINGSPRINCIPE

De werkingsprincipe van de CoreXY kunnen we best uitleggen door eerst een mechanisch systeem te bouwen die in één richting beweegt. Op Figuur 6.2 zien we het schema van het concept. We hebben een motor, drie idlers en in het midden bevindt zich de printkop. Deze zijn met een riem aan elkaar verbonden. Wanneer de motor in tegen-wijzerzin beweegt zal de printkop in het midden naar beneden bewegen. Bij wijzerzin zal het naar boven bewegen. Zo krijgen we een systeem dat beweegbaar is in de y-richting (MOYER, g.d.).

Om ook in de x-richting te kunnen bewegen voegen we het volgende toe; een tweede motor, drie idlers en een riem. Het schema ziet er nu zo uit, zie Figuur 6.3. De riemen zijn op de printkop gebonden die vrij kan bewegen in de x- en y-richting. De werking wordt het best geïllustreerd door verschillende omstandigheden te bestuderen.

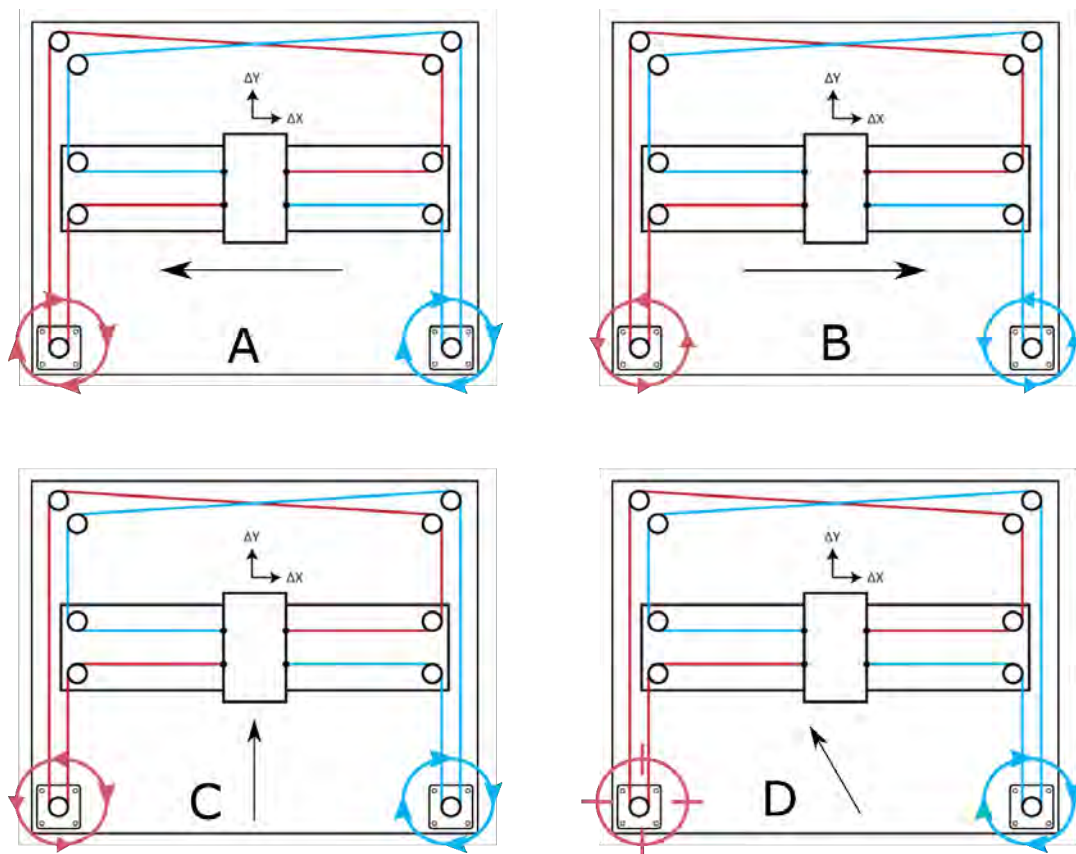


Figuur 6.2: Schema van een bewegingssysteem die enkel in de y-richting beweegt. (Bron: CoreXY)

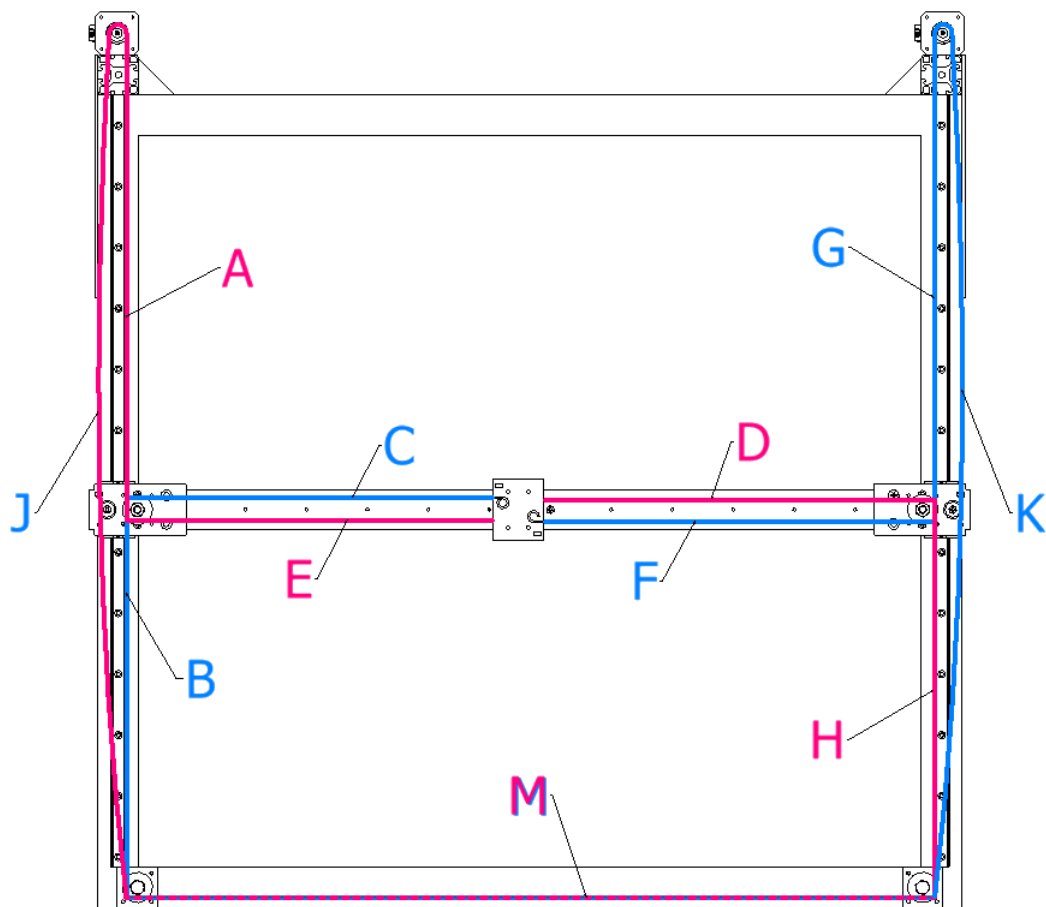
1. beide motoren draaien wijzerzin => structuur beweegt naar links, zie Figuur 6.3 Label A
2. beide motoren draaien tegen wijzerzin => structuur beweegt naar rechts, zie Figuur 6.3 Label B
3. motoren draaien in tegenovergestelde richtingen => structuur beweegt op en neer, zie Figuur 6.3 Label C
4. enkel rechter motor draait wijzerzin => structuur beweegt diagonaal naar links boven, zie Figuur 6.3 Label D

6.3 DESIGN COREXY

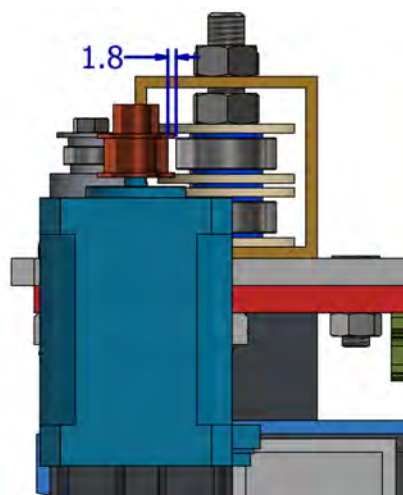
Bij het ontwerpen van een CoreXY systeem zijn er verschillende punten die van groot belang zijn. Een belangrijke relatie is tussen de riemen en de lineaire geleiders. De riem segmenten waarvan de lengtes variëren (op Figuur 6.4 aangeduid met A tot H) moeten parallel zijn aan hun respectievelijke lineaire geleiders. Daardoor werd er bij het ontwerpen rekening gehouden met de riemdikte. De idlers moesten zo gepositioneerd worden dat de riemen parallel blijven met de lineaire geleiders (zie Figuur 6.5). De segmenten J, K en M hoeven niet parallel te blijven.



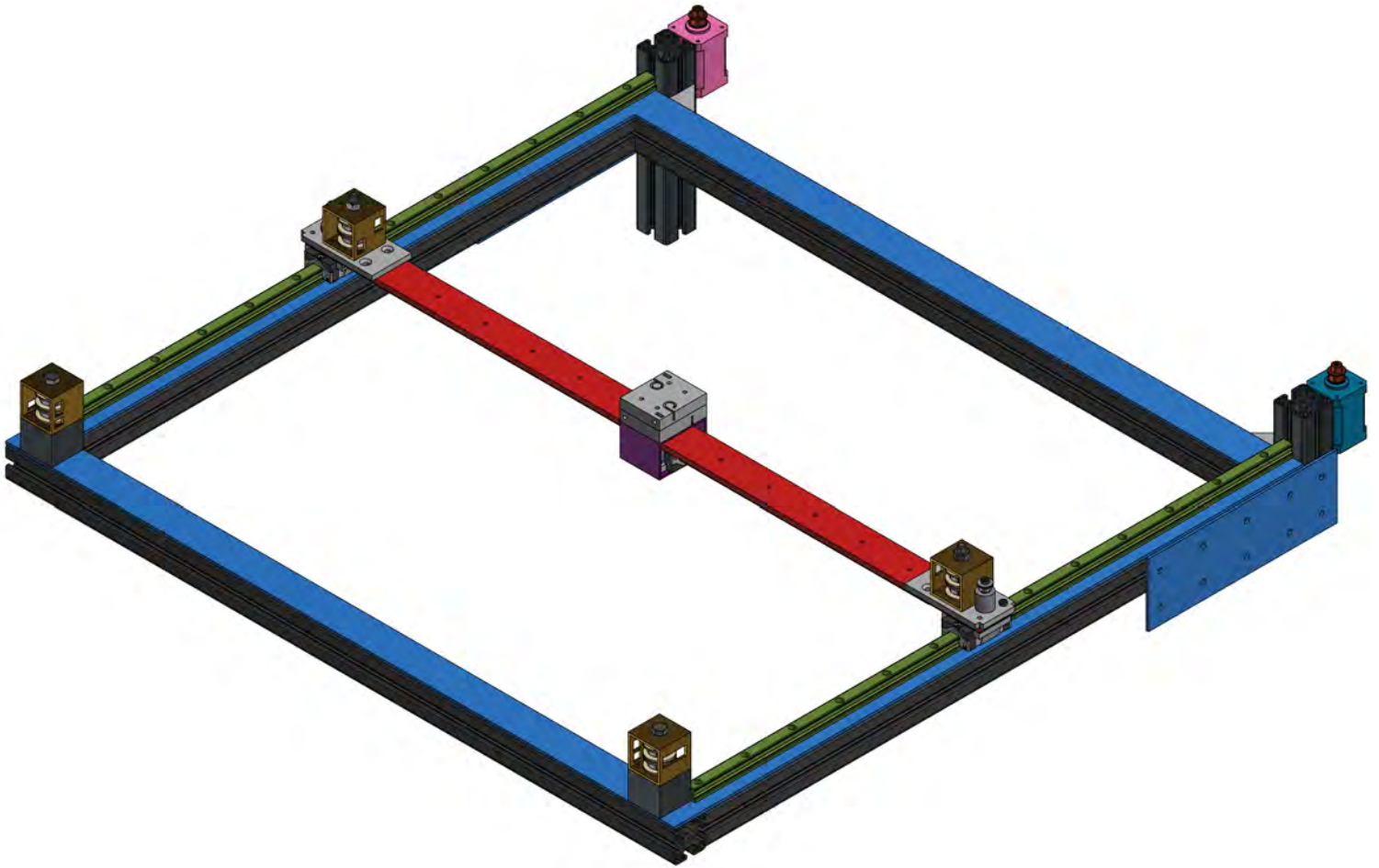
Figuur 6.3: Verschillende bewegingen van de CoreXY geïllustreerd met schema 's. De pijlen tonen de draairichting van de motors. De blauwe lijn is de riem die de blauwe motor verbindt met de printkop. De rode lijn is de riem die de rode motor verbindt met de printkop.



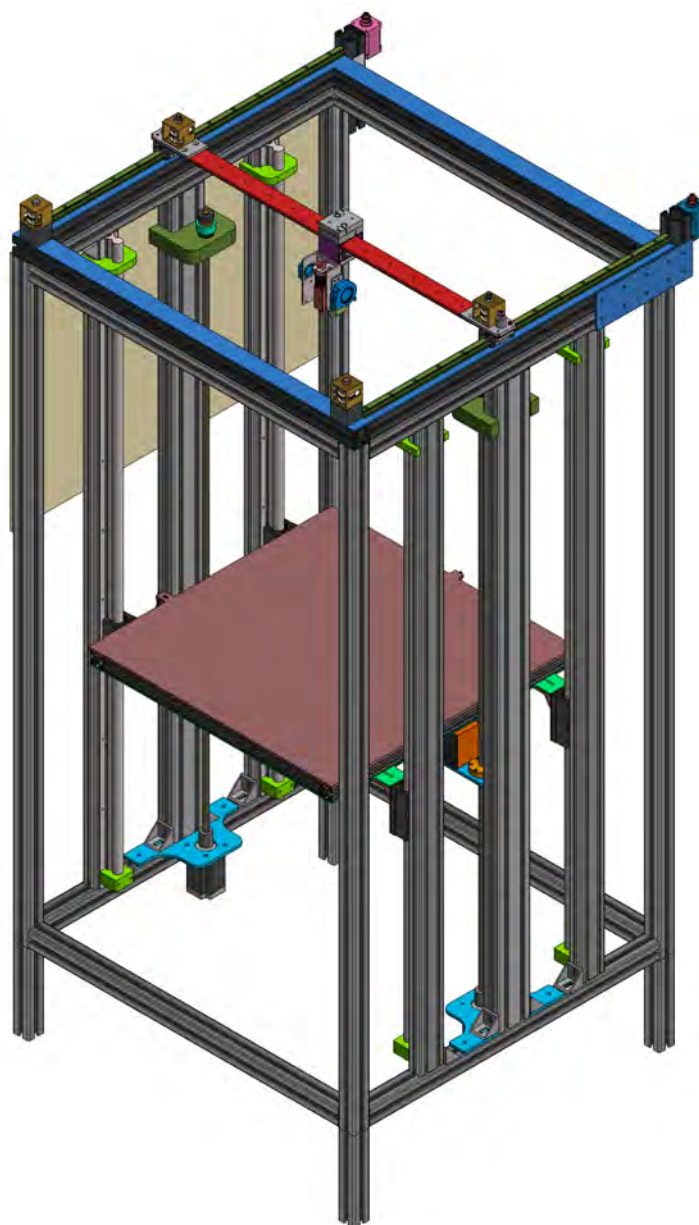
Figuur 6.4: De CoreXY met annotaties van de riem segmenten.



Figuur 6.5: De motor en de idler hebben een tussenafstand van 1.8 mm. Zo blijft de 1.8 mm dikke riem recht tussen de motor en idler.



Figuur 6.6: Eerste CoreXY design.



Figuur 7.1: De eerste versie van de volledige printer.

8.1 ALGEMEEN

De controller kaart is verantwoordelijk voor alle elektronische werkingen van een 3D-printer. Controller kaarten verwerken alle logica achter 3D-printen zoals; het parsen van de G-code, het regelen van de temperaturen en vooral de printer doen bewegen. Nu dat de eerste versie van het ontwerp klaar is, is het tijd om een keuze te maken tussen de verschillende controller kaarten (CAROLO, [g.d.](#)).

8.2 8-BITS VS 32-BITS

Controller kaarten komen in 8-bits of 32-bits. 8-Bits worden vandaag de dag minder gebruikt, want de processing time van een 8-bits controller zal trager zijn dan 32-bits. Complexe bewegingssystemen zoals Delta waar elke beweging een berekening omvat, zijn ook moeilijk (soms helemaal niet) te runnen met een 8-bits controller. Een CoreXY runnen met een 8-bits controller is nog doenbaar. LCD-schermen hebben ook processing kracht nodig. We zouden graag ook een LCD-scherm willen gebruiken. Het is vrij duidelijk dat een 32-bits controller veel beter zou zijn om de CoreXY betrouwbaar samen met de LCD-scherm te laten runnen.

8.3 FIRMWARE

De firmware dat de controller kaarten gebruiken is verschillend per merk, onder andere; Marlin-Firmware, Repetier-Firmware, RepRap Firmware en Smoothieware. Marlin is het meest bekende en wordt meestal gebruikt bij 8-bits controllers. De firmware wordt ingesteld dankzij Arduino IDE software. Repetier is meer compatibel met andere Arduino boarden, Repetier kan wel werken op 32-bits controllers. RepRap-firmware werd gemaakt voor 32-bits controllers en werkt enkel op; Duet, RADDs en SMART-RAMPS controller kaarten. RepRap heeft een grote community en een uitstekende documentatie over de instellingen en G-codes. Het belangrijkste kenmerk van RepRap zijn de Web-Controller en de Web-Configuration Tool (DUET3D, [g.d.\(b\)](#)). Met de Web-Configuration Tool is het zeer simpel om in enkele stappen de firmware ingesteld te krijgen voor een 3D-printer. Daarnaast is de Web-controller zeer gebruiksvriendelijk. De Web-controller dient om op afstand alles over de 3D-printer te kunnen sturen en aanpassen zoals; beweging, temperatuur, G-codes (sturen en schrijven), hoogtemap van het bed lezen, macro's, instellingsbestanden aanpassen, en nog meer. Smoothieware is ook een firmware enkel voor 32-bits controllers en werkt enkel op Smoothie kaarten. De community van Smoothieware is kleiner dan RepRap en beschikt niet over een Web-Controller.

8.4 PIN-OUTS

De pin-outs van de controller kaart hangt af van merk en model. In ons geval zou het goed zijn om een controller kaart te hebben die twee z-motor pin-outs heeft. Zo kunnen we elke z-motor apart of in serie sturen, zonder zelf de serie schakeling te maken. Verder zal ook de

aantal pin-outs voor limit switches een rol spelen bij de keuze van de controller kaart. Sommige kaarten hebben er helemaal geen (bv. Prusa mini controller).

8.5 VERGELIJKING

Om een keuze te maken over welke controller kaart het best past voor ons project, werd er een tabel gemaakt met de verschillende controllers en de criteria, zie Tabel 8.5.

Criteria	Ramps 1.4	EINSY RAMBO (Prusa MK3)	Buddy controller board (Prusa MINI)	Duet 2 (Ethernet/Wifi)
Bits	8	8	32	32
Aantal Z-pin	2	2	1	2
Aantal limit switches	6	2	geen	3
Firmware	Marlin	Marlin	Marlin	RepRap

Tabel 8.1: Vergelijking van controller kaarten met de volgende criteria; aantal Bits, aantal z-motor pin-outs, aantal pin-outs voor limit switches en welke Firmware de controller ondersteunt.

8.6 BESLUIT

Aangezien onze printer een CoreXY is en we wensen om een LCD-scherm te gebruiken, zal de twee 8-bits controller kaarten al als keuze buiten beschouwing gelaten worden. Uiteindelijk werd de Duet 2 Ethernet gekozen. De Duet 2 Ethernet voldoet aan alle criteria en de Web-Controller is ook een zeer handige feature. Met de Duet 2 kunnen we ook de z-motors apart of in serie sturen. Door de z-motors apart te kunnen sturen is het mogelijk om het printbed in de x-richting te laten levelen door de firmware. Duet 2 heeft ook genoeg limit switches, onze printer heeft er twee nodig.

8.7 BELANGRIJKE PARAMETERS

Er werden twee Nema 23 motoren gebruikt voor het printbed. De steps per milimeters zijn 1066.67 en werken elk op 2200 mA. De stroom en de steps per milimeters werden op de datasheet van de fabrikant gevonden. Vervolgens zijn er twee Nema 17 motoren voor de CoreXY. De steps per milimeters van deze steppers zijn 80 en werken elk op 750 mA deze werden eveneens op de datasheet van de fabrikant gevonden. Als laatste is er ook een stepper (Nema 17) voor de extruder aanwezig die een step per milimeter heeft van 837 en een stroom van 800 mA. Deze gegevens werden op de datasheet van de fabrikant gevonden. Elke stepper motor werkt op 16 microstepping. De heaters van het printbed en hot-end werden met PID getuned. Men moet de thermistor juist kiezen. Voor de hot-end was de thermistor: "Semitec 104 GT2 (E3D)" en van het printbed was: "100K". Met de PID werd alles gekalibreerd om ervoor te zorgen dat de heaters en gegevens correct zijn.

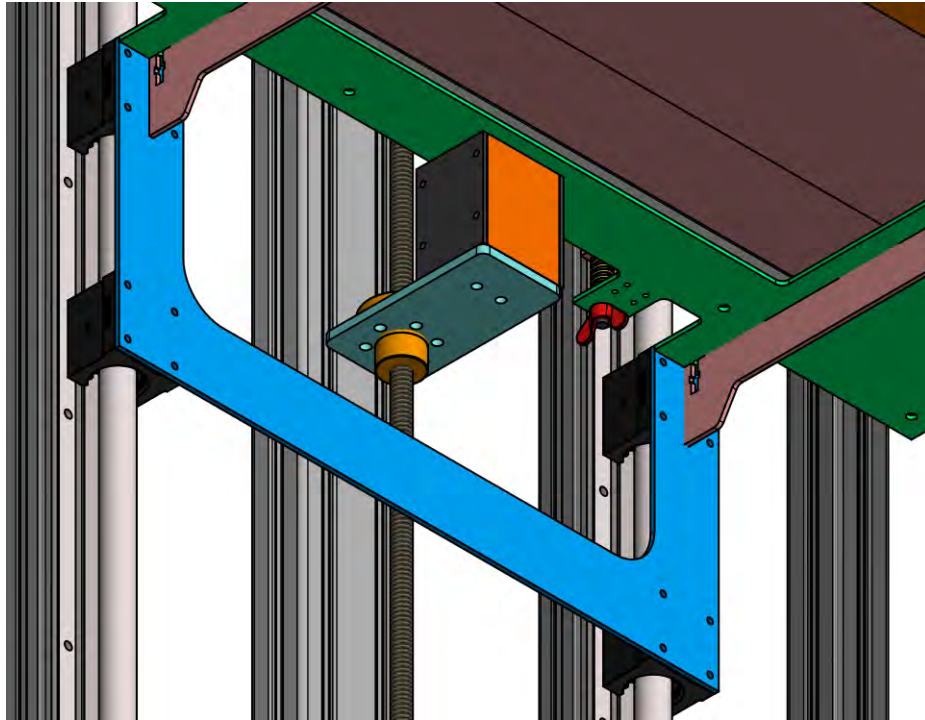
9.1 BILL OF MATERIALS

Component	Aantal	Prijs excl. BTW
I-type profiel 40x40 mm	4x 1980 mm en 12x 1000 mm	213.04
I-type profiel 40x80 mm	3x 1980 mm	109.93
I-type profiel 30x60 mm	4x 1000 mm	39.20
I-type profiel 30x30 mm	4x 1980 mm	114.68
PEI-folie	1x (600x600 mm)	90.50
Solid state relay	1	20.25
Verwarmingsmat	1x (400x400 mm)	49.17
Glasplaat 4 mm	1x (605x605 mm)	21.60
BLTouch	1	28.51
Duet 2 Ethernet	1	146.28
PanelDue i5	1	83.88
Hiwin rail	3	158.94
Hiwin blok	3	93.47
Titan extruder	1	81.40
PTFE tube	1x 2000 mm	20.25
SuperVolcano	1	63.22
Mondstuk	1x (2.85x0.6 mm)	11.92
Axiale fan (24V)	1	2.89
Radiale fan (24V)	1	5.37
Heatsink v6 bowden	1	13.64
Nema 17	2	28.56
Nema 23	2	64.99
Collar	2	9.93
Trapezium schroefmoer	2	26.51
Trapeziumdraad 12x3	2	35.42
Spindel 12x3	2	52.77
Lineaire geleiding (SBS20)	4x 1500 mm	216.04
Halfopen lager (SBR20UU)	8	63.44
Flexibele koppeling	2	33.93
Totaal		€1899.73

Tabel 9.1: Bill of materials

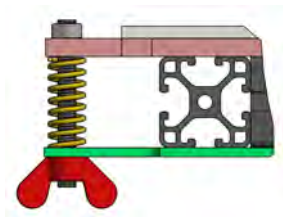
9.2 PRINTBED

Tijdens het op en neer bewegen van het printbed werd er gezien dat het bed wiebelde. Het probleem was dat de zijlingse lagers niet met elkaar verbonden zijn en daardoor wiebelde het bed. De lagers worden 10 cm van elkaar uitgezet en met een aluminium U-structuur met de zijlingse lagers verbonden, zie Figuur 9.1. Door deze aanpassing werd het wiebelen opgelost.



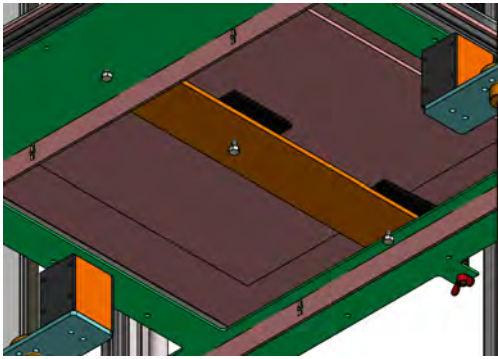
Figuur 9.1: De aluminium U-structuur voor de zijlingse lagers

Voor het printbed werd er zes millimeter aluminiumplaat gebruikt en aangezien de plaat nooit perfect vlak is, werden er drie punten van het printbed instelbaar gemaakt. Met behulp van die drie punten wordt het bed ingesteld in hoogte. Het instelmechanisme bestaat uit een bout, een veer en een vleugelmoer. Door het inkrimpen en uitrekken van de veer wordt het printbed handmatig ingesteld, zie Figuur 9.2

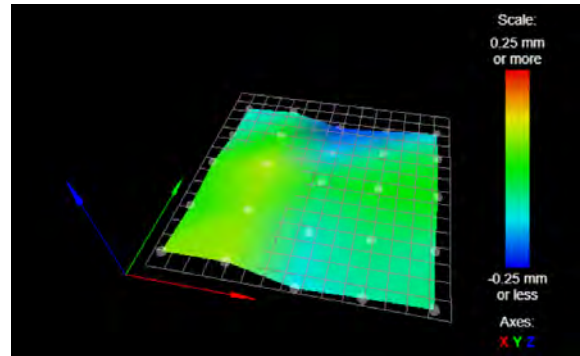


Figuur 9.2: Het instelmechanisme voor de zijkanten van het printbed

Door bed meshing met behulp van BLTouch wordt de buiging in het midden van de plaat gemeten. Hierdoor werd er in het midden nog drie extra instelbare punten toegevoegd, dit is te zien op Figuur 9.3. De punten maken geen puntcontact met het bed, het zijn vlakke contacten. Hiermee wordt het centrum van het bed ook geregeld. Door middel van de hoogtemap werd duidelijk gemeten dat het printbed binnen de toleranties van 0.25 mm zit, zie Figuur 9.4.

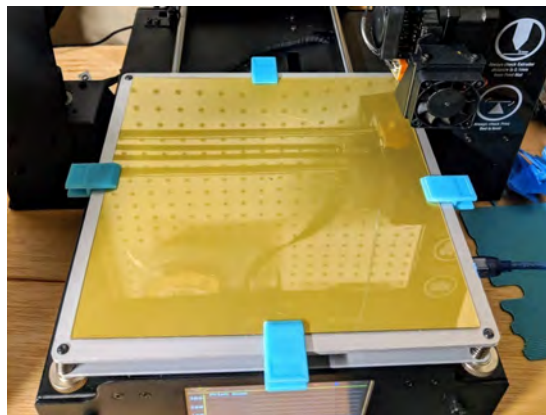


Figuur 9.3: Instelmechanisme voor het centrum van het printbed



Figuur 9.4: De hoogtemap van het printbed

Vervolgens werd er vier millimeter glas gebruikt om een glad oppervlak te verkrijgen. Door polyetherimide (PEI) folie op het glas te plakken werd de bedhechting van het printbed verbeterd, zie Figuur 9.5. Dit geeft als voordeel dat het volledig printbed niet gelijmd moet worden en de hechting van de 3D-part op het printbed vergemakkelijkt wordt.



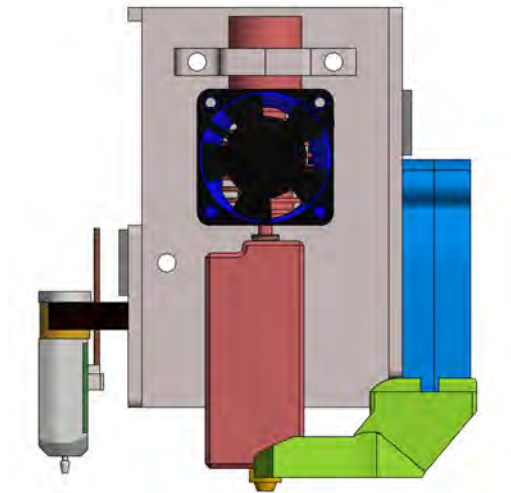
Figuur 9.5: PEI-folie (Bron: Google-afbeeldingen)

9.3 EXTRUDER

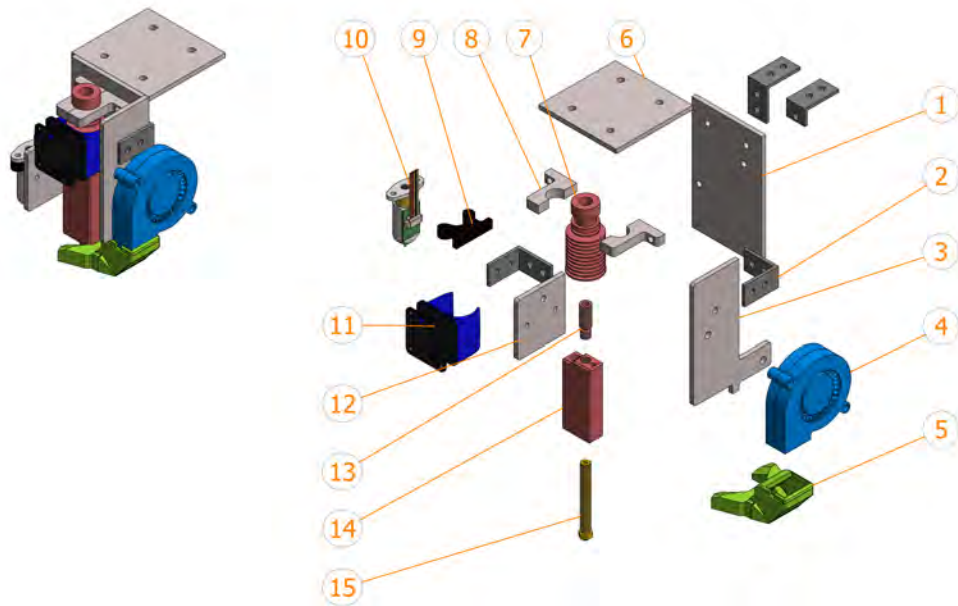
In het eerste design was de axiale ventilator links van het koellichaam. De ventilator was te ver van het koellichaam en was niet effectief. Na het testen werd er gezien dat de ventilator die rechtstreeks verbonden was met het koellichaam veel effectiever was. Hierdoor werd de zijplaat ook afgekort en gaf dit als voordeel een gereduceerde massa van de kop.

De koeling van de radiale ventilator was niet ideaal, dit was duidelijk merkbaar tijdens het printen. De lagen waren niet recht en vervormden door de warmte. Hierdoor werd het design van de fanduct aangepast tot een betere positionering van de luchtstroom van de radiale ventilator. De printen kregen nu betere afkoeling en betere resultaten met de lagen.

Door de aanpassing van het printbed werd de bedleveling sensor ook veranderd. Het printbed werd van een aluminiumplaat naar een glasplaat veranderd. Aangezien de P.I.N.D.A. sensor enkel met metalen oppervlakte werkte, werd de bedleveling sensor veranderd naar een BLTouch sensor.



Figuur 9.6: Het laatste design van de kop

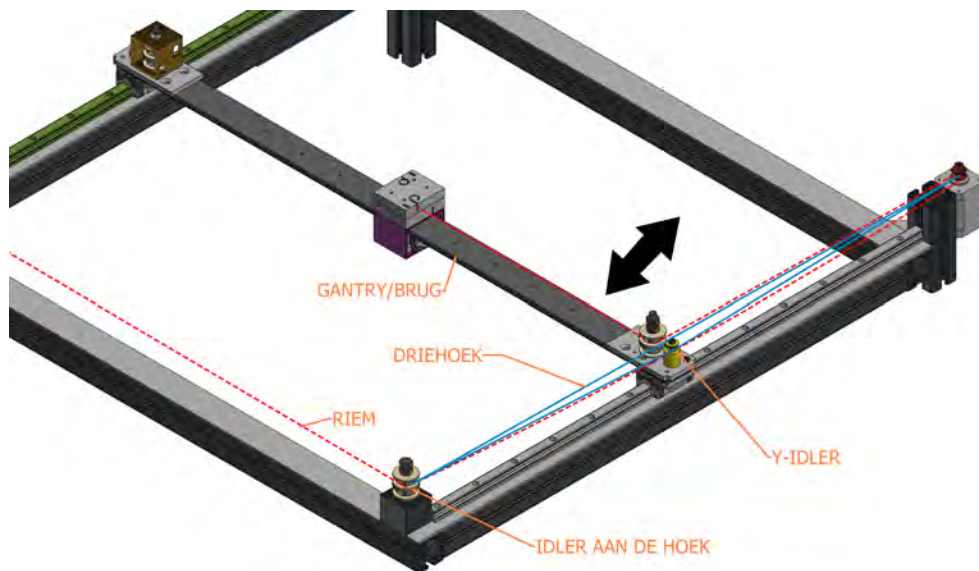
**Figuur 9.7:** Exploded view van de kop

Part nummer	Beschrijving
1	Achterplaat
2	L-profiel
3	Rechterplaat
4	Radiale fan (24V)
5	Fanduct
6	Bovenplaat
7	Koellichaam
8	Koellichaam-houder
9	BLTouch-houder
10	BLTouch
11	Axiale fan (24V)
12	Linkerplaat
13	Heatbreak
14	Warmteblok (SuperVolcano)
15	Mondstuk

Tabel 9.2: De onderdelen van de kop

9.4 COREXY

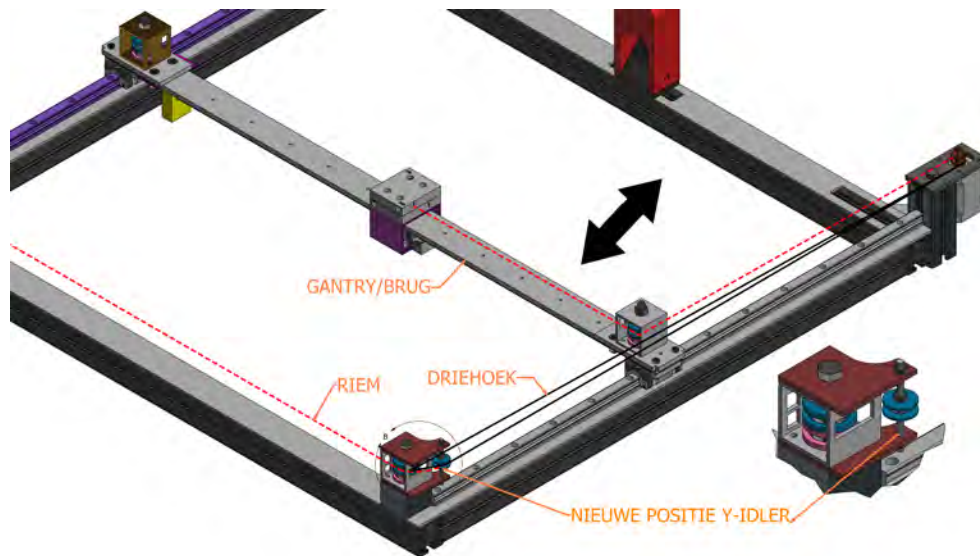
De volgende fouten werden ondervonden na de bouw en gebruik van de CoreXY. Het eerste ontwerpfout is de y-idler op de y-gantry (brug), zie Figuur 9.8. Het doel van deze idler is om de riem zodanig te buigen dat deze de koker niet aanraakt. De riem (onderbroken lijn op Figuur 9.8) maakt een driehoek tussen de motor, de y-idler en de idler aan de hoek. Doordat de brug constant beweegt veranderen de lengtes van de riemsegmenten en de zijden van de driehoek. Dit veroorzaakt een veranderende strakheid van de riem. Om deze op te lossen werd de idler van de y-gantry weggehaald. Deze werd aan de hoek verplaatst waar het niet meer zal bewegen, zie Figuur 9.9. Nu zal de gemaakte driehoek constant blijven, en de strakheid van de riem ook.



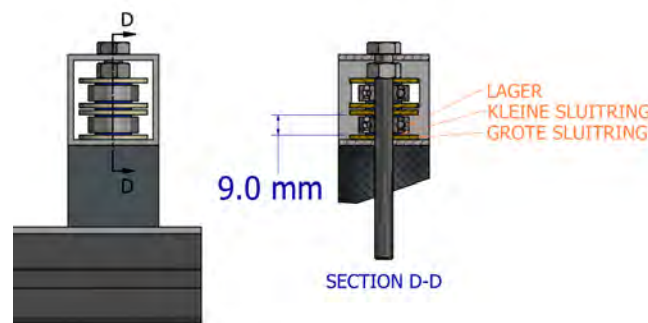
Figuur 9.8: De driehoek dat de riem maakt tussen de motor, de y-idler en de idler aan de hoek. De onderbroken lijn in het rood visualiseert de riem. De zwarte volle lijn visualiseert de gemaakte driehoek.

De riem kan nooit perfect overal parallel gehouden worden of perfect parallel gebonden worden met de printkop. Deze kleine deviaties zorgen ervoor dat de riem op en neer kan bewegen. Met het op en neer bewegen van de riemen blijft de afstand tussen de riemsegmenten niet constant. De strakheid zal weer constant variëren. De riemen zouden dus parallel gehouden moeten worden. Om de riemen parallel te begeleiden moeten we het design van de idlers aanpassen. De originele idler ontwerp maakt gebruik van kogellagers met kleine en grote sluitringen er op en eronder, zie Figuur 9.10. De afstand tussen de sluitringen is negen millimeter, deze is groter dan de riemdikte (deze bedraagt vijf millimeter). Hierdoor kon de riem op en neer bewegen binnen de idler.

In plaats van sluitringen werd er gebruikgemaakt van geprinte schuiven om de gleufgrootte van de idlers te verkleinen tot de riemdikte, zie Figuur 9.11. Zo kan de riem niet meer op en neer bewegen. De variaties worden nu wel via trillingen doorgegeven aan de CoreXY.



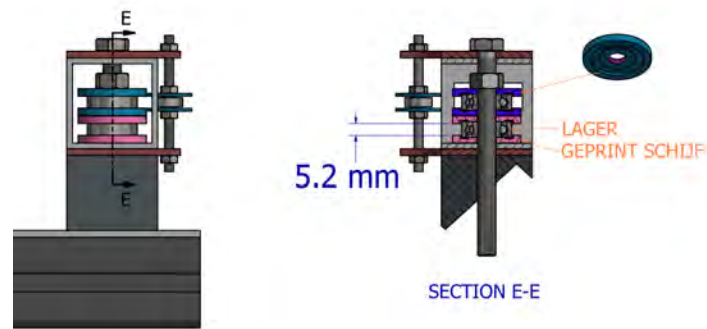
Figuur 9.9: Verbeterde y-idler positie. De idler zit nu vast aan de koker en zal niet meer mee bewegen met de gantry. Zo blijft de gemaakte driehoek tussen de motor, de y-idler en de idler aan de hoek constant. De riem spanning blijft constant.



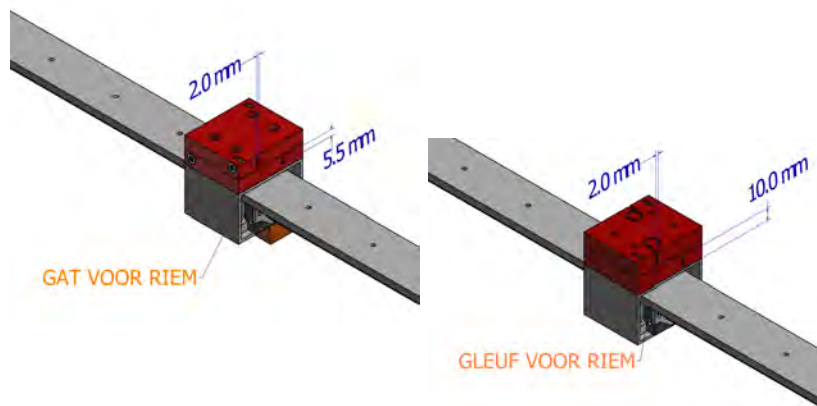
Figuur 9.10: Om geen idlers te kopen, werden ze zelfgemaakt door kleine en grote sluitringen en kogellagers te gebruiken. Het idee erachter is als volgt: de kleine ringen zullen de binnenoppervlakte van de lager aanraken. De grote sluitring komt naast de kleine sluitring. Zo raakt de grote sluitring de kogellager niet aan en kan de buitenkant van de kogellager vrij draaien. Het probleem is dat de afstand tussen de grote sluitringen groter is dan de riemdikte. Sectie D-D is een doorsnede van twee idlers, om de afstand en de mechanisme achter de idlers te verduidelijken.

Om de riemen vast te maken op de printkop wordt gebruikgemaakt van twee geprinte onderdelen met gleuven waar de riemen in passen. Verder worden ze vastgeklemd met moeren en bouten. Oorspronkelijk waren dit gleuven en was het moeilijk om de riemen recht (parallel met de structuur) erin vast te kunnen schroeven. Door de gleuven te veranderen naar gaten verminderde de deviatie van de riem en was het meer parallel met de structuur, zie Figuur 9.12.

De riemstrakheid van een CoreXY speelt een belangrijk rol, hoe strakker de riemen, hoe sneller en preciezer de CoreXY kan werken. Wanneer de riem strak genoeg is kan de CoreXY de printkop snel van richting doen veranderen zonder dat deze onder- of overschiet. De stepper houders zijn aluminiumplaten die vastgeschroefd worden aan aluminium profielen. Door de gaten voor de stepper motors ovaal te maken kunnen de riemen gespannen worden door aan de motors te trekken, zie Figuur 9.13.



Figuur 9.11: Door de sluitringen te veranderen met geprinte onderdelen die de gleufopening verkleint, is het mogelijk om de gleufgrootte aan te passen. De geprinte schijven werken met het zelfde principe als de oorspronkelijke idlers. De part bestaat uit een binnenschijf die het binnenoppervlak van de kogellager aanraakt. De verandering ligt aan de grote schijf, aan het uiteinde van de grote schijf extrudeert er een klein deeltje om de opening te verkleinen. Dit is duidelijk te zien op de kleine blauwe part. Sectie E-E is een doorsnede van twee idlers, om de afstand en de mechanisme achter de idlers te verduidelijken.

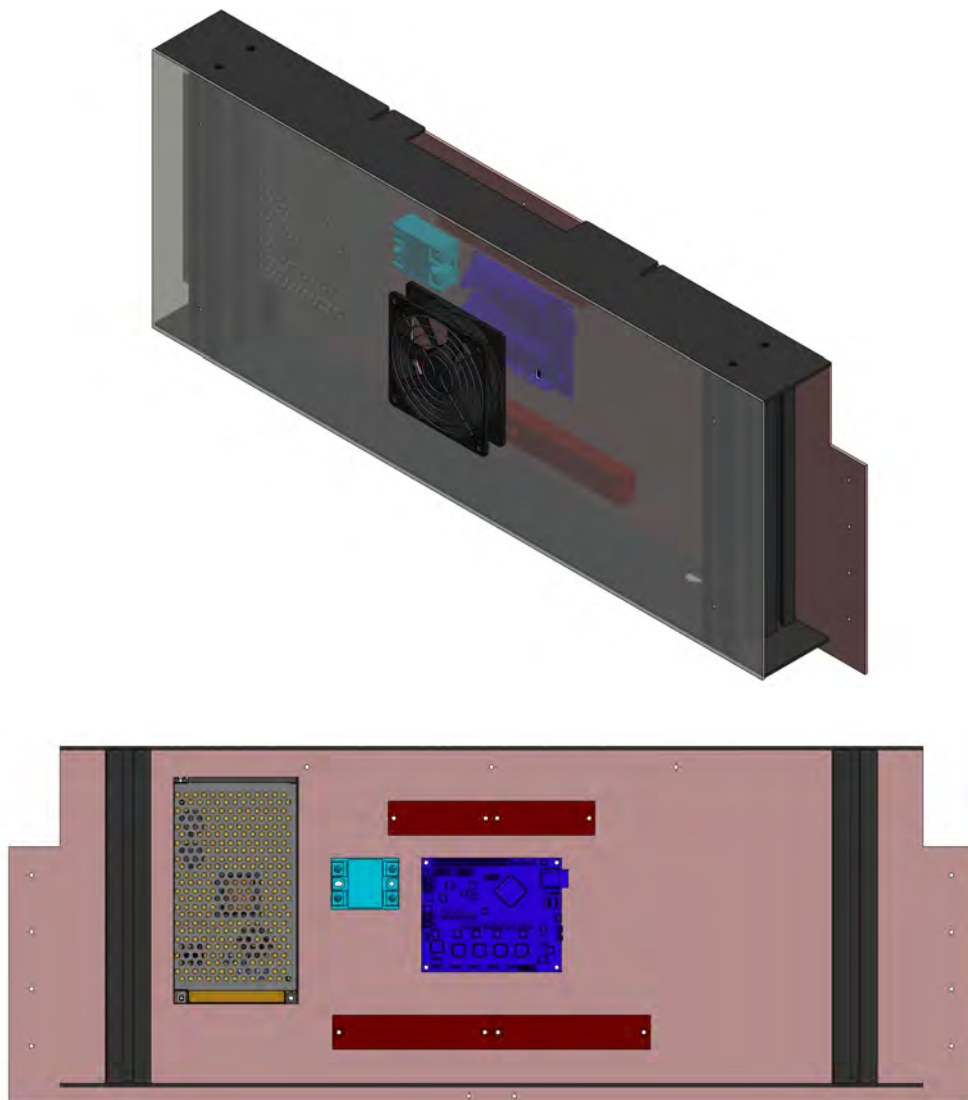


Figuur 9.12: Links is de verbeterde en laatste versie van de riemhouder, rechts het oorspronkelijk ontwerp ervan. Oorspronkelijk was de opening een gleuf van tien millimeter, de riem is vijf millimeter breed. Dus de riem recht vastschroeven is moeilijk omwille van de grote opening. Om dit op te lossen werd de gleuf veranderd naar een gat van 5.5 mm.



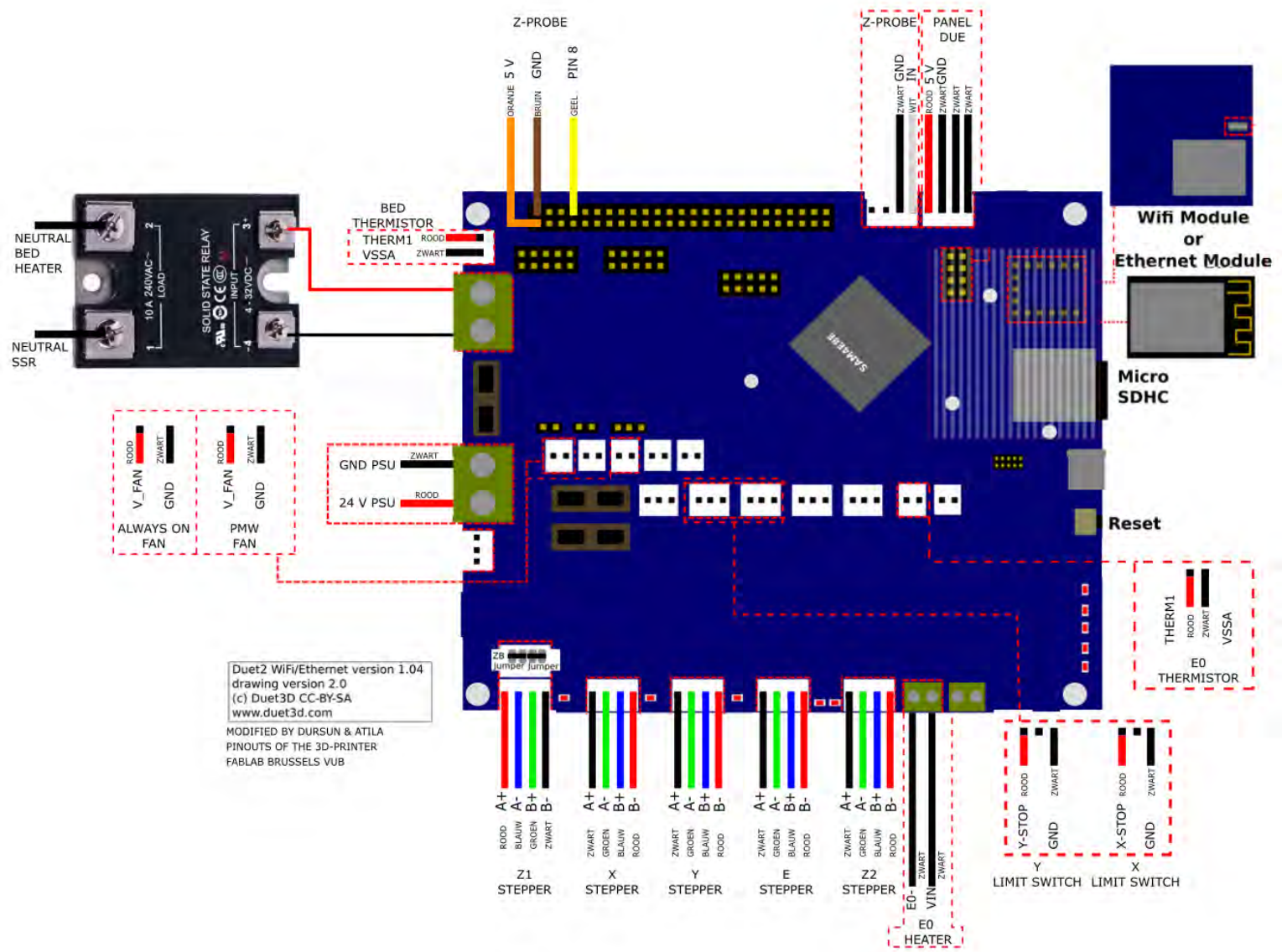
Figuur 9.13: Links is de verbeterde en laatste versie van de stepper houder, rechts het oorspronkelijk ontwerp ervan. Oorspronkelijk was de opening een gat van drie millimeter. Door de gat te veranderen in een ovaalgat is het mogelijk om aan de motor te trekken, de riem op te spannen en vervolgens vast te schroeven.

10.1 CAD-TEKENING

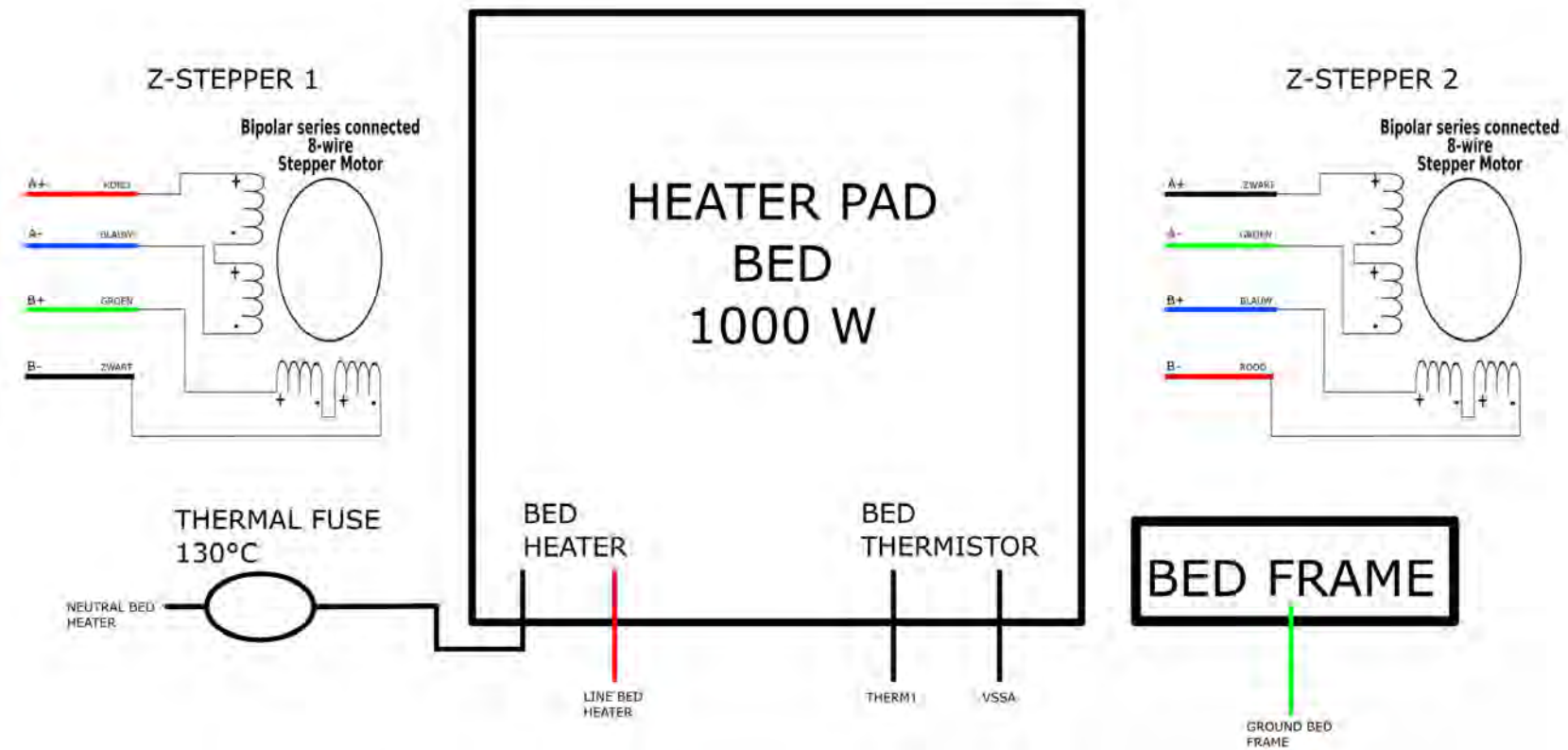
**Figuur 10.1:** De elektronica-box

10.2 DRAADSCHEMA

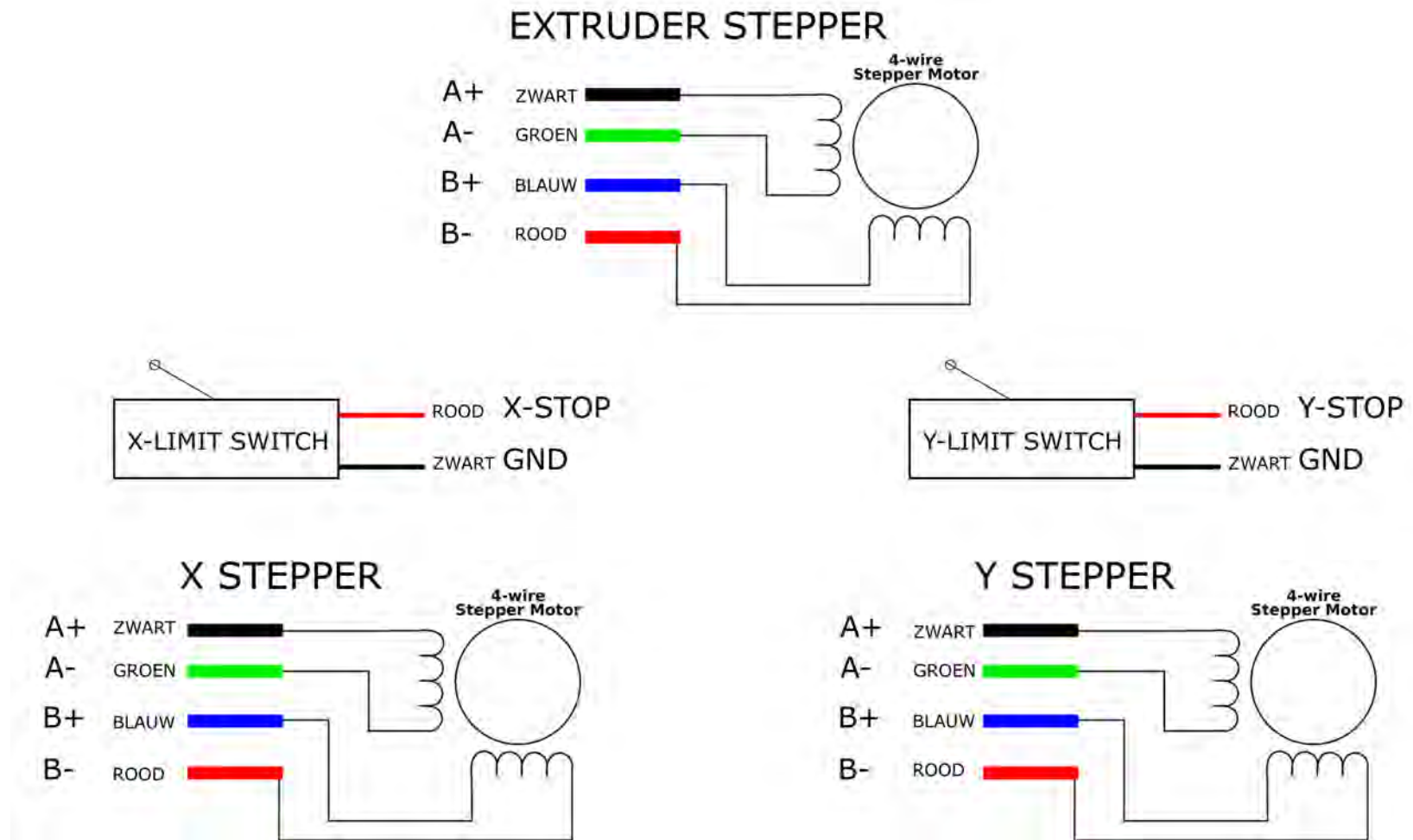
Het draadschema van de 3D-printer, ingedeeld in vijf stukken namelijk; Duet controller, printbed, CoreXY, extruder/hot-end en PSU. Elke kabel heeft een label. Elke label dient om de connecties tussen de componenten te tonen (DUET3D, [g.d.\(a\)](#)).



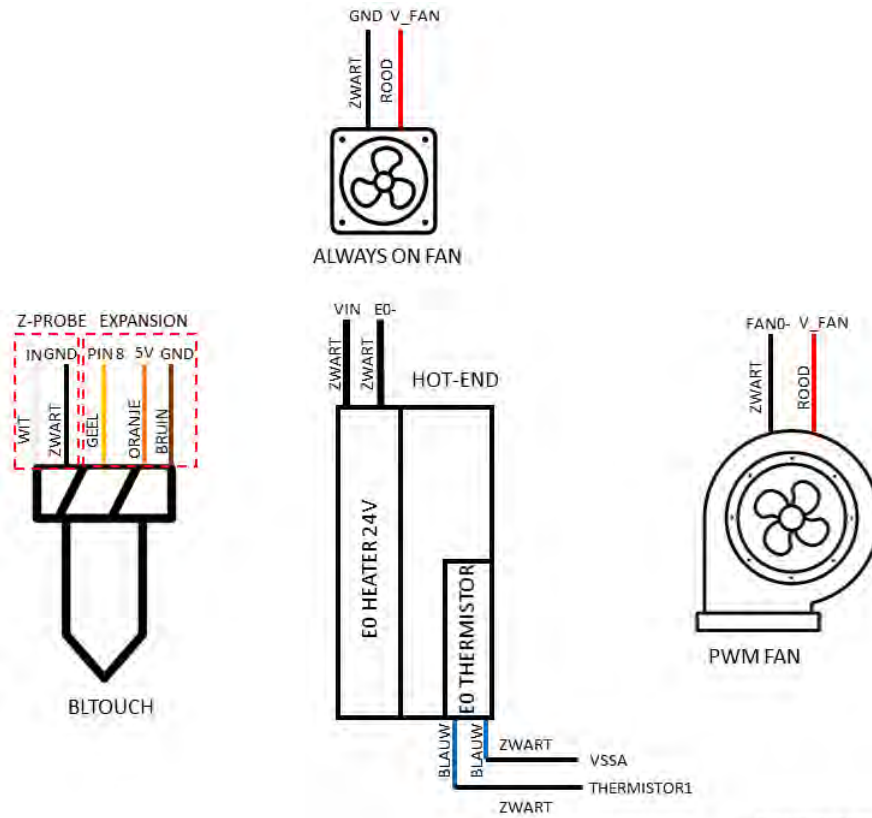
Figuur 10.2: Draadschema van de Duet controller kaart met de Solid State Relay.



Figuur 10.3: Draadschema van het printbed met de twee stepper motors voor de z-richting.

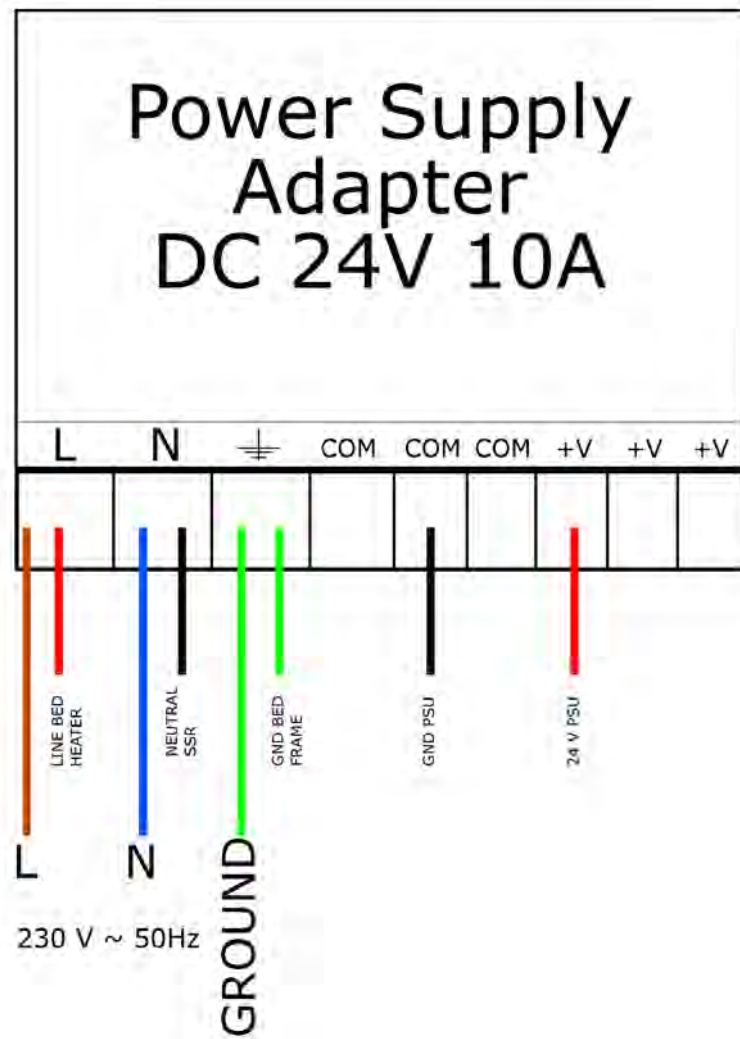


Figuur 10.4: Draadschema van de CoreXY en de extruder motor.

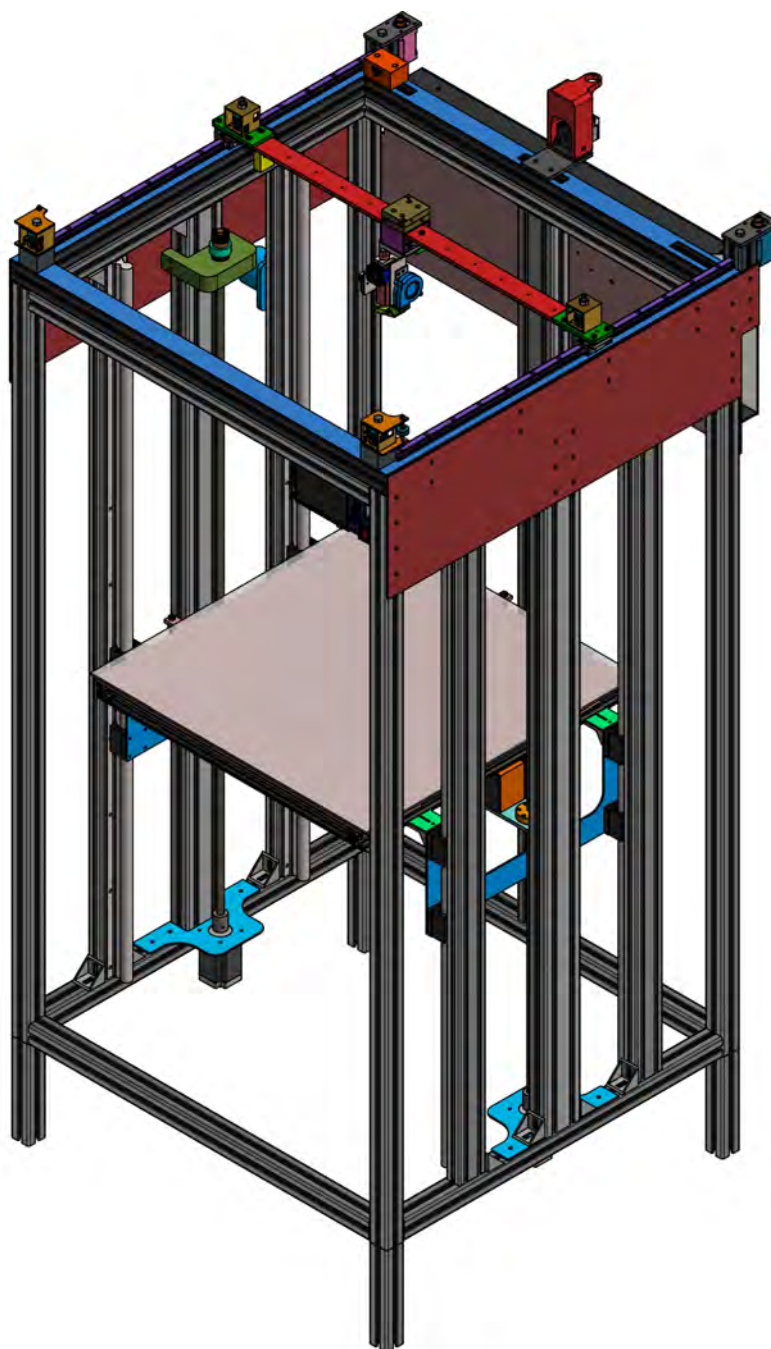


Drawn by DURSUN & ATILA

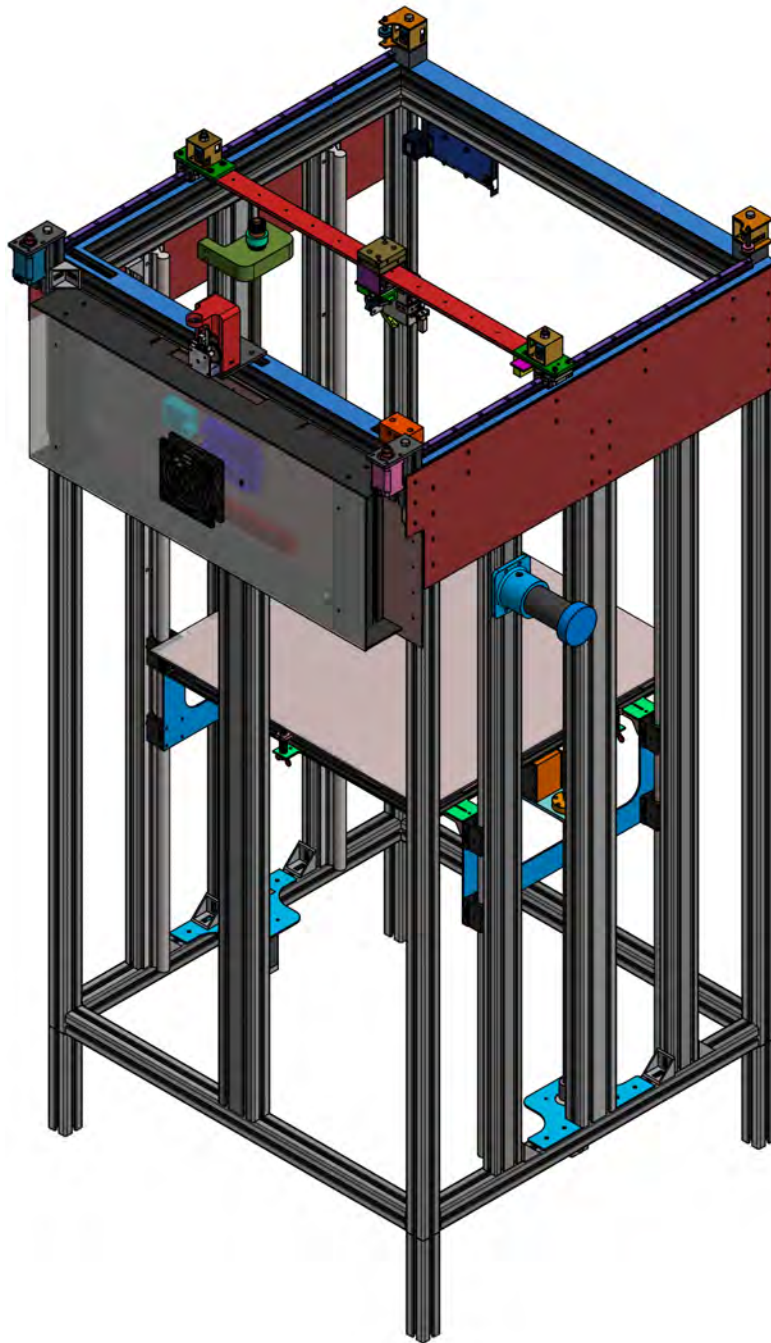
Figuur 10.5: Draadschema van de hot-end.



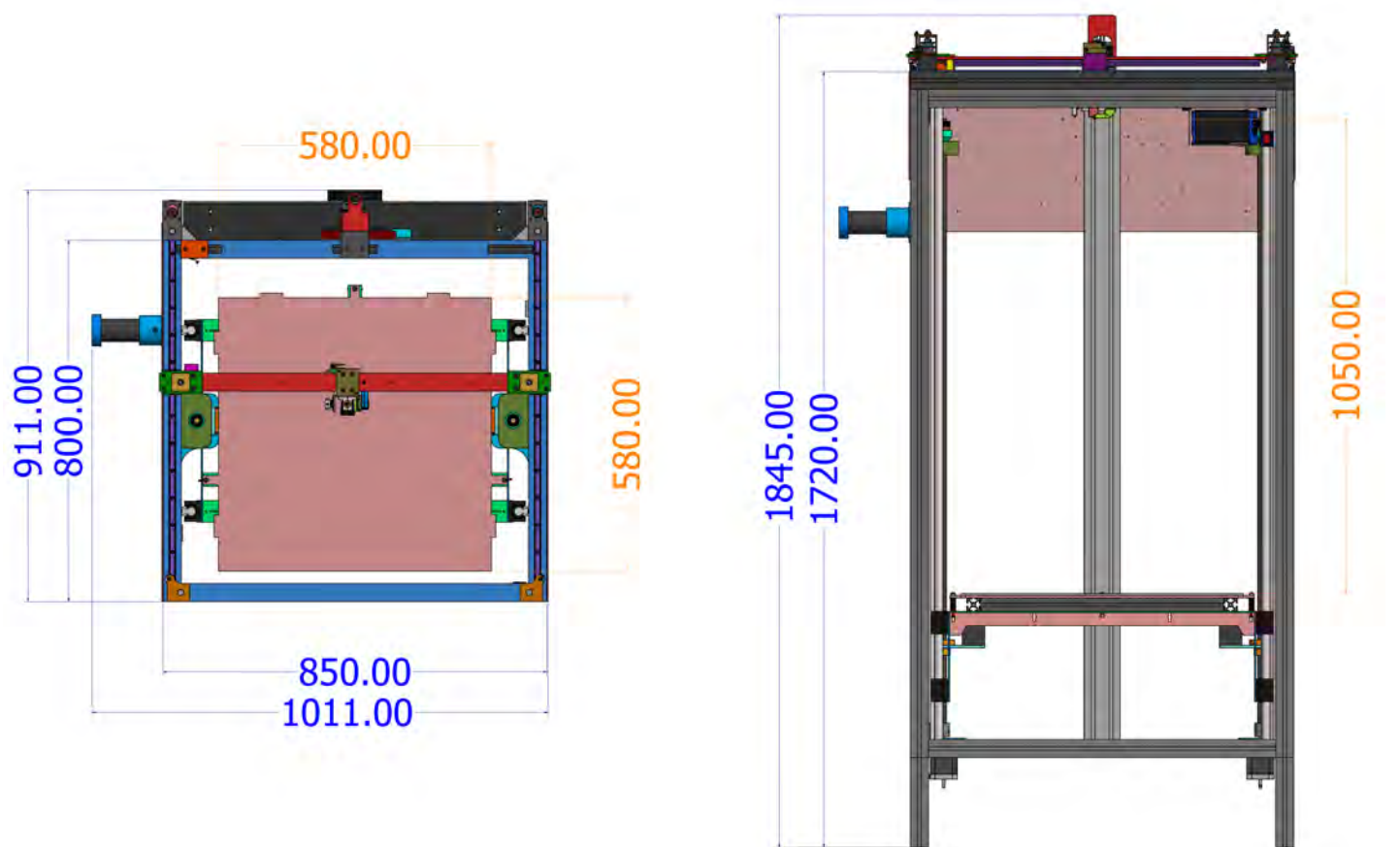
Figuur 10.6: Draadschema van de PSU.



Figuur 11.1: Isometrisch perspectief aanzicht van de laatste versie van de 3D-printer



Figuur 11.2: Isometrisch perspectief aanzicht van de achterzijde van de laatste versie van de 3D-printer.



Figuur 11.3: De dimensies van de machine. Blauw: buiten afmetingen, Oranje: printvolume

Om een 3D printer uit te testen, is het best om testprinten te sturen. Deze testprinten zijn zodanig ontworpen om eventuele problemen van de printer te kunnen ondervinden en om de printer en slicer verder te kunnen tunen. De testprinten werden gesliced op Cura 4.9. Er werden twee mondstuk-diameters gebruikt, een 0.6 mm en een 1.0 mm mondstuk. De mondstuk-diameter beïnvloedt de dikte en hoogte van de printlijnen. De laaghoogte is best 30 à 80% van de mondstuk-diameter. Bij grotere mondstuks kunnen we dus sneller printen door meer materiaal te extruderen. Een nadeel is dat de printresolutie daalt met grotere mondstukken waardoor het niet meer mogelijk is om hoge details te kunnen printen. Anders moeten ook de temperatuur en de printsnelheden (en andere parameters) aangepast worden bij elk mondstuk-diameter. Bij een groter mondstuk moet de printkop trager bewegen om tijd te hebben om de hoge hoeveelheid materiaal te smelten en afkoelen. De hoge laaghoogtes compenseren wel voor de tragere printkop snelheid (tegenover een kleiner mondstuk). Uiteindelijk is de print wel sneller bij een groter mondstuk (HULLETTE, [g.d.](#)).



Figuur 12.1: Kalibratie kubus

Eerste testprint was de “XYZ 20 mm kalibratie kubus”. Het doel van deze print is om te weten hoe precies de printer print in dimensie. De kubus is exact 20 mm in de drie richtingen (x, y en z). Ons doel was om in de x- en y-richting binnen ± 0.2 mm en voor de z-richting ± 0.5 mm te printen. De geprinte part op [Figuur 12.1](#) heeft de volgende afmetingen; x= 19.95 mm, y= 20.09 mm en z= 20.1 mm dus we zitten binnen de toegewezen toleranties.

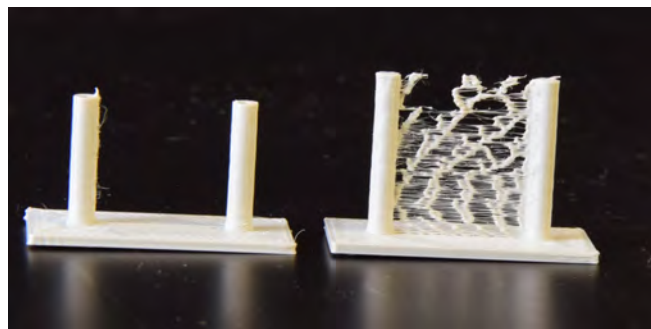
**Figuur 12.2:** Temperatuur toren

De thermoplasten (zoals PLA) moeten eerst gesmolten worden naar een viskeuze substantie die geëxtrudeerd kan worden als vloeïend materiaal om te kunnen printen. Als de temperatuur van de hot-end te heet is, zal de printer niet kunnen bridgen (d.w.z. horizontaal twee verhoogde delen van een model met elkaar verbinden). Dit kan betekenen dat het filament zo heet is dat het niet genoeg afkoelt. Het verlagen van de hot-end temperatuur kan hierbij helpen. Als de temperatuur te laag is dan zal de print niet goed hechten. De printtemperatuur hangt af van de verschillende factoren zoals; het soort thermoplast, merk van de thermoplast, kleur van de thermoplast, de mondstuk diameter en de omgeving van de printer. De test print “Temperatuur toren” , zie Figuur 12.2, heeft als doel de beste printtemperatuur te vinden om kwalitatief te kunnen printen. De toren zal om de 15 mm van printtemperatuur veranderen en aan het uiteinde maakt de part ook een driehoek. De driehoek dient om de overhang uit te testen, aangezien deze sterk van de temperatuur afhangt. Een overhang is een deel van een print dat zich naar buiten uitsteekt, zonder enige directe ondersteuning. We kozen om te printen met een temperatuur rond de 195 °C, de printkwaliteit en de overhang zijn daar het best.

**Figuur 12.3:** NACA-profiel met zits-problemen

Een doelstelling van dit project is om NACA-profielen te kunnen printen. Hierboven een foto van de eerste geprinte NACA-profiel, zie Figuur 12.3. De zijwanden zitten vol met zits (kleine bollotjes). Deze zits zijn seams (naden). Een seam is waar elke laag van het print begint en terug op dezelfde plaats stopt. De seam krijg je nooit weg in FDM-printers (Fused Deposition Modeling). Wat wel mogelijk is, is de seams zo klein mogelijk maken zodat het onmerkbaar wordt. Er bestaan verschillende methoden in de slicer om de seam te verbergen. De meest voorkomende hiervan zijn; coasting, retraction, vase mode en printtemperatuur (SUPPORT, g.d., MARTIN, g.d.(b)).

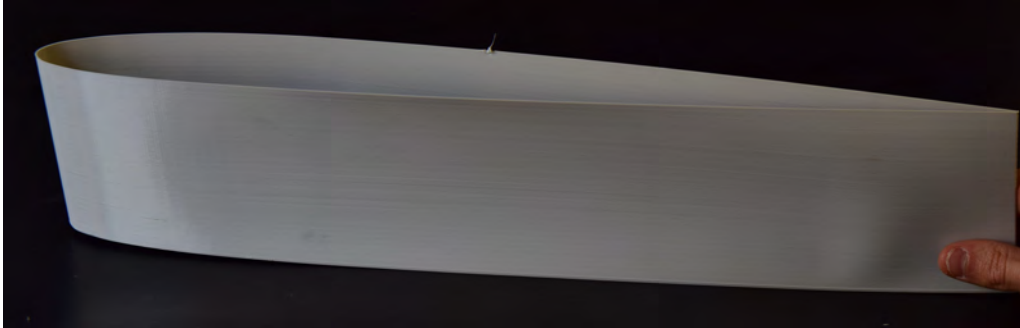
Retraction is het terugtrekken van het filament wanneer de printer klaar is met een printlaag (layer). Door het filament terug te trekken kunnen we voorkomen dat het filament uit het mondstuk lekt. De belangrijkste instellingen bij retraction zijn de terugtrekafstand en de terugtreksnelheid. Als uw intrekeafstand niet groot genoeg is, zal dit ertoe leiden dat er filament uit uw spuitmond lekt wanneer de printer beëindigd met zijn laag. Aan de andere kant is het belangrijk om deze waarde niet te hoog te hebben, omdat dit de kans op verstopping van je hot-end kan vergroten (als gesmolten filament te ver naar de heatbreak getrokken wordt). De terugtreksnelheid is ook belangrijk op dezelfde manier, alsof de terugtreksnelheid te laag is, zal het weer uit de mondstuk lekken. Net als bij de intrekeafstand is het echter mogelijk om te hoog te gaan. Als de snelheid te hoog is ingesteld, kan het aandrijftandwiel van de extrudermotor filament beschadigen of kan de extrudermotor stappen overslaan. De extruder stepper werd gekalibreerd om geen onder- of overextrusie te hebben. De retraction hadden we wel getuned met een andere testprint, zie Figuur 12.4.



Figuur 12.4: Stringing

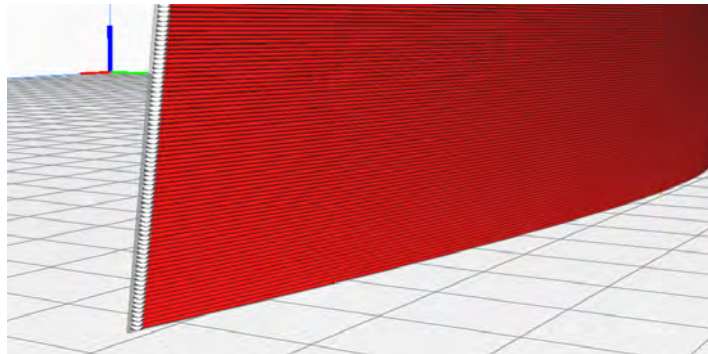
“Coasting” is een setting in Cura om de seam te verminderen. Aan het einde van elke buitencontour wordt een kort deel afgelegd zonder extrusie. De druk in het mondstuk en de zwaartekracht zal dan het laatste resterende stukje filament naar buiten duwen en zo de laatste delen van de buitencontour printen. Deze setting is moeilijk om te tunen. Verschillende testprinten werden uitgevoerd met elke keer andere parameters, maar we kregen nooit een “betere” print. De zits waren nog altijd aanwezig.

Door in vaasmodus te printen hadden we het probleem wel opgelost. In vaasmodus wordt er het spiraalsgewijs omhoog geprint. Het model geleidelijk wordt opgebouwd door middel van vloeiende en continue bewegingen van de z-as zie Figuur 12.5. Probleem met vaasmodus is dat er geen infill is en bij grote prints zal de part inkrimpen (vervormen).



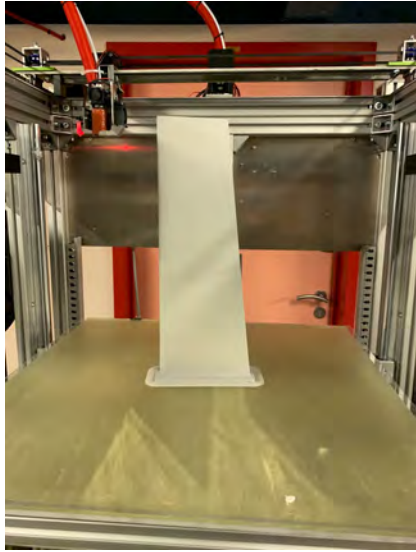
Figuur 12.5: Vaasmodus

Met de testprinten hebben we ondervonden dat bij de bowden systemen het moeilijk is om de seam klein te krijgen. Doordat de bowden tube zeer lang is en aangezien de motor aan de uiteinde zit onstaat er een zeer grote druk op het mondstuk. Verder is de SuperVolcano een relatief grote warmteblok en zit vol met bijna gesmolten filament. De combinatie van deze twee problemen zorgen ervoor dat het verminderen van seam moeilijker worden (HARRISON, [g.d.](#)). Om een gladde buitenwand te hebben worden de positie van de seam aangepast door middel van de slicer (Cura). Door de seam op dezelfde plek te krijgen zal de rest van de printwand glad zijn. In Cura is het mogelijk om de seam-positie te kiezen. Door de seam van de NACA-profiel op de trailing edge te zetten. In Cura 4.9 wordt er in de “preview” de seam van de part gevisualiseerd in een witte kleur zie Figuur 12.6.

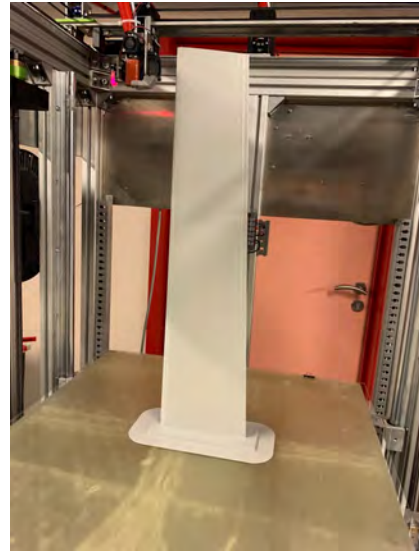


Figuur 12.6: De seam

De twee NACA profielen met verschillende hoogtes zie Figuur 12.7 en Figuur 12.8 of Figuur 12.9



Figuur 12.7: NACA 1412 met een twist van 10° en een hoogte van 405 mm, Mondstuk-diameter: 0.6, Printsnelheid: 30 mm/s, Infill: 3%, Printtijd: 10u



Figuur 12.8: NACA 1412 met een twist van 10° en een hoogte van 605 mm, Mondstuk-diameter: 1.0, Printsnelheid: 15 mm/s, Infill: 3%, Printtijd: 12u



Figuur 12.9: NACA 1412 met verschillende hoogtes

Het printen van een Benchy is een goede manier om te controleren hoe goed de printer gekalibreerd is, zie Figuur 12.10. De Benchy test de volgende zaken: details in de print, overhang, bridging, uitlijning van lagen en stringing. We hebben de Benchy met een 0.6 mm en een 1.0 mm mondstuk geprint. De 0.6 mm mondstuk was een pak beter dan de 1.0 mm. De 1.0 mm mondstuk was wel sneller. Bij de Benchy die met de 0.6 mm mondstuk geprint was, was er geen stringing aanwezig. De overhang is goed en de teksten op de Benchy zijn leesbaar. Bij de 1.0 mm hebben we enkel een plek waar de printer een probleem heeft gehad met de extrusie.



Figuur 12.10: Benchy, Mondstuk-diameter: 0.6, Printsnelheid: 30 mm/s, Infill: 10%, Schaalfactor: 400%, Printtijd: 14u

Met de testprinten kunnen we het volgende concluderen. De gemaakte printer heeft de doelstellingen van het project behaald. De printer kan lange overnacht printen betrouwbaar uitvoeren. De slicer is goed getuned voor de 0.6 mm mondstuk, bij de 1.0 mm hebben we nog problemen. Namelijk de infill zijn merkbaar door de buitencountour en de printkwaliteit blijft niet constant. De gebruiker moet de instellingen op de slicer aanpassen om met de 1.0 mm mondstuk-diameter te kunnen printen. Persoonlijk vinden we dat de 0.6 mm mondstuk algemeen beter is dan de 1.0 mm. De printkwaliteit is veel beter en indien er geen nood is om iets snel te printen verkiezen we om de printer langer te laten werken zodat de kwaliteit van de print gegarandeerd wordt. De keuze hangt echter af van de gebruiker en van de doelen.

Conclusie

Het doel van het project was om een grote 3D-printer te bouwen met een printvolume van 600x600x1100 mm. Bovendien was het de bedoeling om een precisie van ± 0.2 mm in x- en y-richting en ± 0.5 mm in z-richting te behalen. De elektronica moet in een behuizing zitten en alle kabels dienen afgeschermd te worden door kabelgoten en kabelrupsen. Het actuele printvolume is 580x580x1050 mm met een precisie van ± 0.1 mm in x en y-richting en ± 0.1 mm in z-richting. De kabels zitten in kabelgoten en kabelrupsen en de elektronica in een deftige behuizing. De CoreXY is goed genoeg en robuust. Doordat er geen echte idlers gebruikt werden, maar zelfgemaakte onderdelen, zijn er wat trillingen in de CoreXY. Het voordeel hiervan zijn de bespaarde kosten. Voor de rest print de CoreXY kwalitatief genoeg. De printer is heel stevig en werkt betrouwbaar met weinig verlies in de printkwaliteit. Bovendien zijn de zijwanden van de print ook glad. De mogelijke problemen die een print doet falen of de kwaliteit doet dalen werden geregeld met de slicer (Cura 4.9.0).

De voornamelijk nadelen van het bowden extrusie systeem zijn de seams van de part. Vervolgens kan ook niet elk soort filament (bv ABS en flexibele filamenten) geprint worden met het bowden extrusie systeem. Het terugtrekproces van het filament is ook een probleem. De terugtreksnelheid en terugtrekafstand van het filament moeten goed ingesteld zijn. Daarom zouden we volgende keer direct drive extrusie willen gebruiken om de bovenstaande problemen te voorkomen. Vervolgens wensen we ook de massa van hot-end doen verlagen door weinig aluminium en meer lichtere materialen te gebruiken.

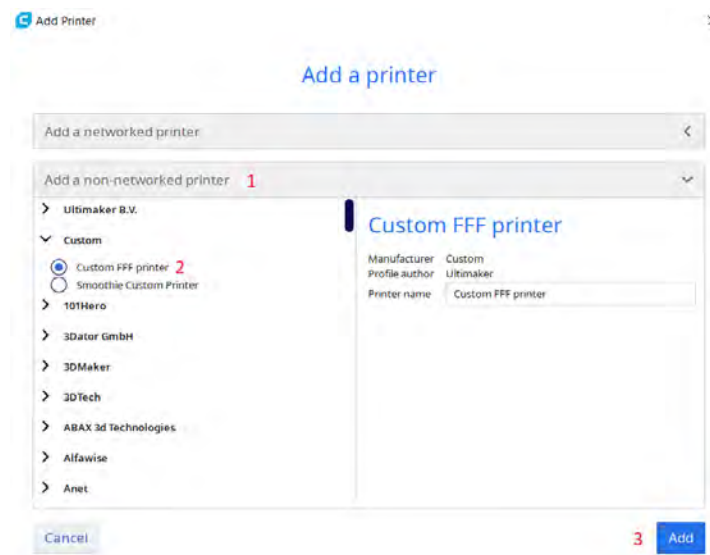
Voor het printbed zouden we een derde stepper monteren en die onafhankelijk aansturen, zo kunnen we de bedleveling van het printbed oplossen zonder een instelmechanisme. Een andere mogelijkheid is het maken van een betere structuurmechanisme (wafelstructuur) onder het printbed om iedere punt van het bed instelbaar te maken.

De CoreXY zou beter geweest zijn als echte idlers gekocht en gebruikt werden in plaats van lagers. In het oorspronkelijk ontwerp werd er niet aan gedacht om een systeem te bouwen om mechanisch de riem op te spannen. Momenteel wordt er aan de motors getrokken om de riemen op te spannen. Dit veroorzaakt een gelimiteerde hoeveelheid spankracht door de gebruiker. Verder is het dan ook onmogelijk om beide riemen even hard te spannen. Beiden zijn belangrijk voor een perfecte werking van een CoreXY. Het gebruikmaken van aluminium kokers was ook niet het beste idee. Door de coronamaatregelen konden we de beschikbaarheid van de CNC-frees niet goed voorspellen. Er werd dus gekozen om met aluminium kokers te werken. Het probleem met aluminium kokers is echter de stijfheid. Het kan makkelijk buigen als de moeren te hard worden geschroefd.

A.1 SLICER INSTELLINGEN

Stap 1: Installeer Cura 4.9

Via deze link: <https://ultimaker.com/nl/software/ultimaker-cura> kan je de software installeren. Vervolgens moet je de printer in de slicer (Cura 4.9) toevoegen. Dit doe je door "Add a non-networked printer" (1) te klikken. Vervolgens selecteer je "Custom" en "Custom FFF printer" (2) en Add (3) te klikken, zie Figuur A.1.



Figuur A.1: Stap 1

Stap 2: Printer en extruder instellingen

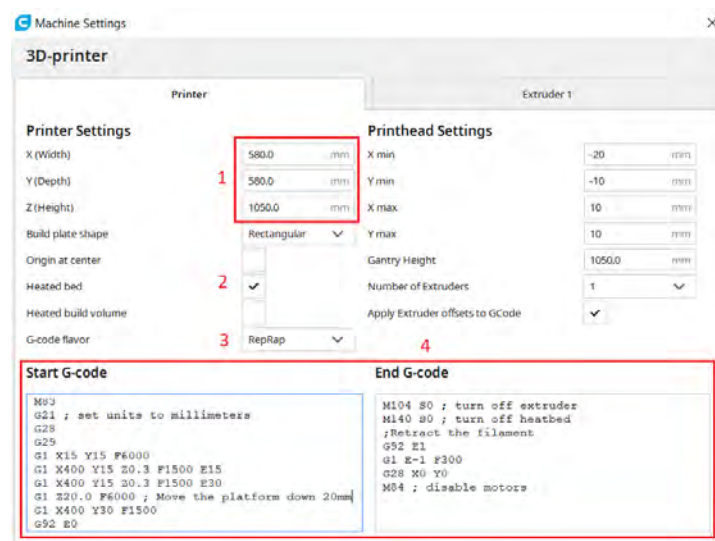
Hieronder zie Figuur A.2 vind je de instellingen van de 3D-printer. Deze dimensies (1) moet je kopiëren naar de slicer. Vink de "Heated bed" aan (2) en vervolgens selecteer "RepRap" bij G-code flavor (3). Pas op voor de "Start G-code" en "End-G-code" (4). Hieronder de G-code die je moet kopiëren.

Start G-code:

```
M83 G21 ; set units to millimeters
G28 ; Home-all axes
G29 ; Bed-meshing
G1 X15 Y15 F6000
G1 X400 Y15 Z0.3 F1500 E15
G1 X400 Y15 Z0.3 F1500 E30
G1 Z20.0 F6000 ; Move the platform down 20mm
;Prime the extruder
G1 X400 Y30 F1500
G92 E0
```

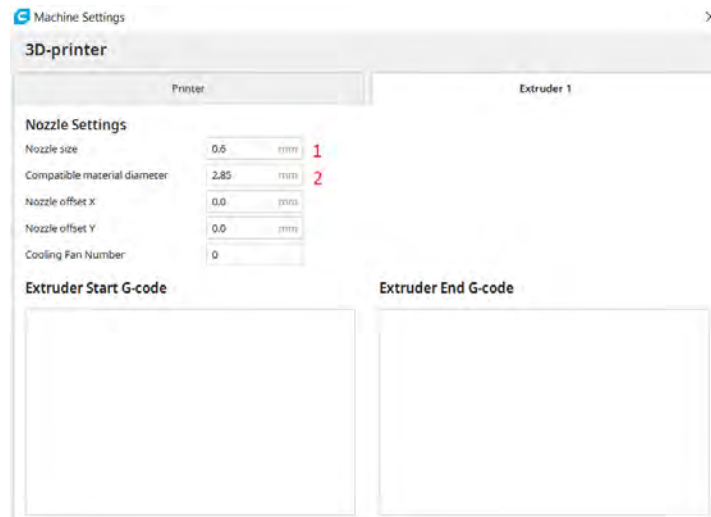
End G-code:

```
M104 S0 ; turn off extruder
M140 S0 ; turn off heatbed
;Retract the filament
G92 E1
G1 E-1 F300
G28 X0 Y0
M84 ; disable motors
```



Figuur A.2: Stap 2 voor de printer

Bij de extruder moet je twee parameters aanpassen. De mondstuk-diameter moet 0.6 mm (1) en materiaal-diameter moet 2.85 mm (2) zijn. Hieronder vind je de schermafbeelding, zie [Figuur A.3](#). Kies voor de mondstuk-temperatuur niet hoger dan 250 °C!

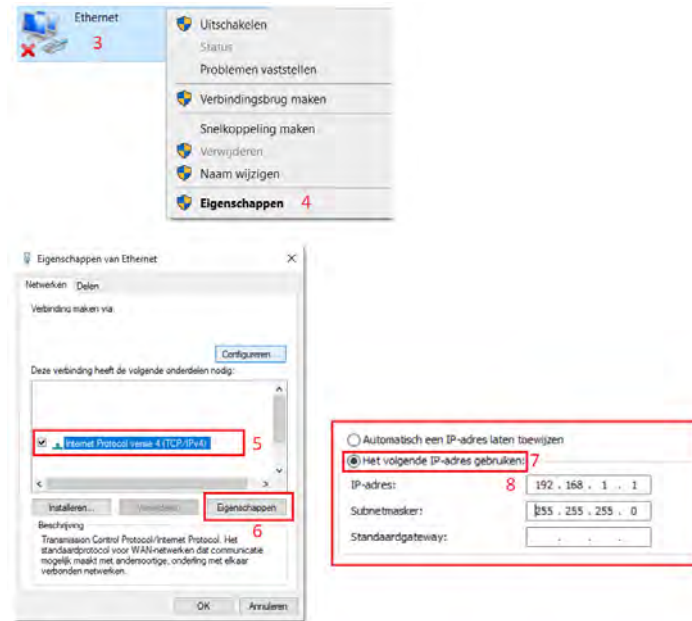


Figuur A.3: Stap 2 voor de extruder

A.2 IP-INSTELLING

Steek de ethernet-kabel in je ethernet-poort van je laptop. Vervolgens ga naar de netwerk en internetinstellingen van je laptop. Selecteer "Ethernet" (1) en daarna "Adapteropties wijzigen" (2). Verder rechtermuisknop op "Ethernet" (3) en klik op "Eigenschappen" (4). Vervolgens selecteer je "Internet Protocol versie 4 (TCP/IPv4)" (5) en verder "Eigenschappen" (6). Dan moet je "Het volgende IP-adres gebruiken" (7) kiezen en vul je het volgende IP-adres (8) in: **192.168.1.1**. De subnetmasker wordt automatisch ingevuld, zie Figuur A.4.



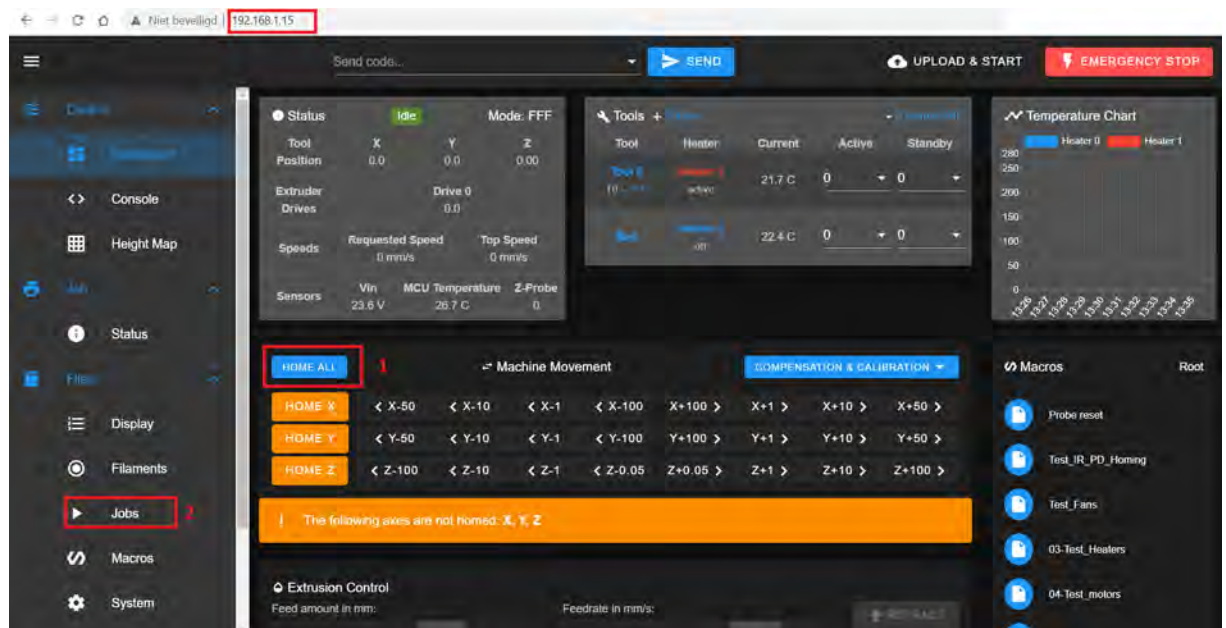


Figuur A.4: IP-instellingen

A.2.1 DUET WEB CONTROL

Ga naar je internet browser en bij url typ je het volgende: **192.168.1.15**.

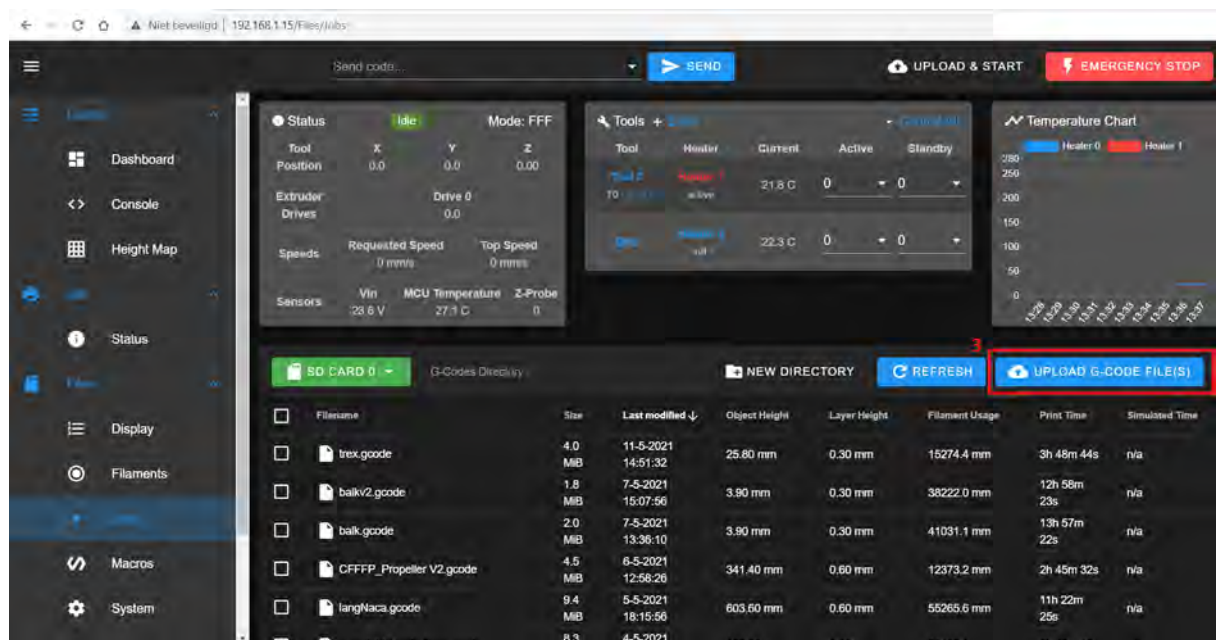
Vervolgens gaat de Duet Web Control openen. Wanneer je de assen wilt bewegen moet je eerst op "HOME ALL" (1) klikken. De machine zal homen en kan je de hot-end en het printbed bewegen, zie Figuur A.5.



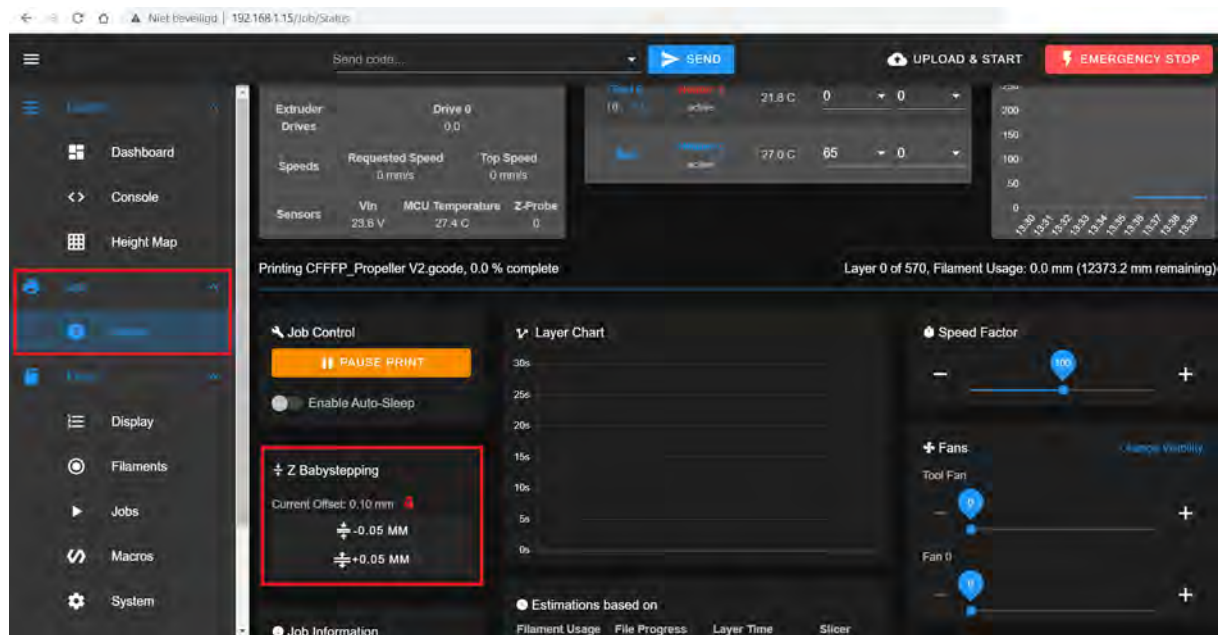
Figuur A.5: Duet Web Control

Printen:

Zorg dat het printbed leeg is en dat er geen oude print aanwezig is! De genereerde G-code van de slicer zal je bij "Jobs" (2) zie Figuur A.5 uploaden. Dit doe je door op "Jobs" te klikken en vervolgens "Upload G-code File" (3) te klikken zie Figuur A.6. Je selecteert uw G-code en dan uploaden. Wanneer je uw G-code in de lijst helemaal boven ziet, klik er op en dan klik je "Start File". De printer zal eerst het printbed verwarmen en dan de hot-end. Tijdens deze periode mag je de "Z Babystepping" (4) zie Figuur A.7 verhogen naar 0.10 mm. Hiermee zal het printbed zich 0.10 mm naar beneden verplaatsen. Wanneer het printbed en hot-end verwarmd zijn, gaat de machine zich homen en bed-meshing doen. Vervolgens zal de print gestart worden. Na het starten van de print mag je de ethernet-kabel van je laptop aftrekken. De printer zal niet stoppen en zal verder printen!



Figuur A.6: Jobs bij Duet Web Control



Figuur A.7: Z Babystepping

Wanneer de print klaar is, neem uw print en kuis het printbed met alcohol!

- 123-3D (2020). URL: <https://www.123-3d.nl/> (bezocht op 15-10-2020).
- 3DMAKERENGINEERING (2020). *Auto Bed Leveling (ABL) Sensor Comparison*. URL: <https://www.3dmakerengineering.com/blogs/3d-printing/auto-bed-leveling-sensor-comparison> (bezocht op 26-11-2020).
- AIRWOLF3D (2020). *BOWDEN VS DIRECT DRIVE | COMPARING 3D PRINTER CONFIGURATIONS*. URL: <https://airwolf3d.com/comparing-bowden-vs-direct-drive-3d-printer/> (bezocht op 15-11-2020).
- ALL3DP (2021). URL: <https://all3dp.com/2/bltouch-sensors-guide/> (bezocht op 26-03-2021).
- CAROLO, L. (g.d.). *2021 Best 3D Printer Controller Boards*. URL: <https://all3dp.com/2/3d-printer-controller-boards/>.
- CREALITY (2020). *Direct Drive VS Bowden Extruder*. URL: <https://www.creality.com/blog-detail/3d-printer-direct-drive-vs-bowden-extruder> (bezocht op 15-11-2020).
- DUET3D (g.d.[a]). *Duet Wiring Diagrams*. URL: https://duet3d.dozuki.com/Wiki/Duet_Wiring_Diagrams.
- (g.d.[b]). *Duet3D Guidebook*. URL: <https://duet3d.dozuki.com/>.
- E3D (2020). URL: <https://e3d-online.com/> (bezocht op 20-10-2020).
- HARRISON, M. (g.d.). *All about "layer seams"*. URL: <https://mattshub.com/blogs/blog/layer-seams>.
- HULLETTE, T. (g.d.). *2021 Best 3D Printer Test Models*. URL: <https://all3dp.com/2/3d-printer-test-print-10-best-3d-models-to-torture-your-3d-printer/>.
- MARTIN (g.d.[a]). *CoreXY vs. H-Bot: Which System is Better for a 3D Printer?* URL: <https://the3dprinterbee.com/corexy-vs-hbot/>.
- (g.d.[b]). *Cura Coasting – What is it for and should I use it?* URL: <https://the3dprinterbee.com/cura-coasting-guide/>.
- MOYER, I. E. (g.d.). *Core(X,Y)*. URL: <https://corexy.com/>.
- O'CONNELL, J. (g.d.). *FDM 3D Printers Explained: Cartesian, Delta, CoreXY, More*. URL: <https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/>.
- PRUSA3D (2020). *Auto leveling sensor BL Touch*. URL: <https://www.prusa3d.nl/product/auto-leveling-sensor-bl-touch/> (bezocht op 26-11-2020).
- PRUSA3D (2020). *P.I.N.D.A./SuperPINDA Sensor testing*. URL: https://help.prusa3d.com/en/article/p-i-n-d-a-superpinda-sensor-testing_2091 (bezocht op 26-11-2020).
- REHORST, M. (2020a). *Mark Rehorst's Tech Topics*. URL: <https://drmrehorst.blogspot.com/2017/07/> (bezocht op 09-11-2020).
- (2020b). *UMMD 3D Printer CoreXY Mechanism*. URL: <https://drmrehorst.blogspot.com/2017/07/ummd-corexy-mechanism.html> (bezocht op 10-11-2020).
- SOLIDCORE (2021). *SolidCore CoreXY 3D Printer*. URL: <https://3ddistributed.com/corexy-3d-printer/?nab=0> (bezocht op 25-10-2021).
- STORE, K. O. (g.d.). *How to wire a Keenovo heater pad to your 3D printer via an SSR*. URL: <https://keenovo.store/blogs/how-to/how-to-wire-a-keenovo-heater-pad-to-your-3d-printer-via-an-ssr>.

- SUPPORT, U. (g.d.). *Print settings*. URL: <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/sections/360003548619-Print-settings>.
- WIKIPEDIA (2021). *Teflon*. URL: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Teflon> (bezoekt op 15-05-2021).
- WILLANS, G. (2021). *Finish your print quicker than ever before, the SuperVolcano has erupted...* URL: <https://e3d-online.com/blogs/news/finish-your-print-quicker-than-ever-before-the-supervolcano-has-erupted> (bezoekt op 15-04-2021).